

DEPARTAMENT DE ESTOMATOLOGIA

ESTUDIO SOBRE LA CAPACIDAD DE SELLADO DEL MTA
EN PERFORACIONES DE FURCA.

MARTA PEYDRO HERRERO

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
Servei de Publicacions
2009

Aquesta Tesi Doctoral va ser presentada a València el dia 14 de maig de 2009 davant un tribunal format per:

- Dr. José Vicente Bagán Sebastián
- Dr. Luis Giner Tarrida
- Dr. Francisco Boix Zabalegui Angonegui
- Dr. Santiago González López
- Dr. Javier José Boix Ferrero

Va ser dirigida per:

Dr. Leopoldo Forner Navarro

©Copyright: Servei de Publicacions
Marta Peydro Herrero

Dipòsit legal: V-4173-2010

I.S.B.N.: 978-84-370-7651-5

Edita: Universitat de València

Servei de Publicacions

C/ Arts Gràfiques, 13 baix

46010 València

Spain

Telèfon:(0034)963864115

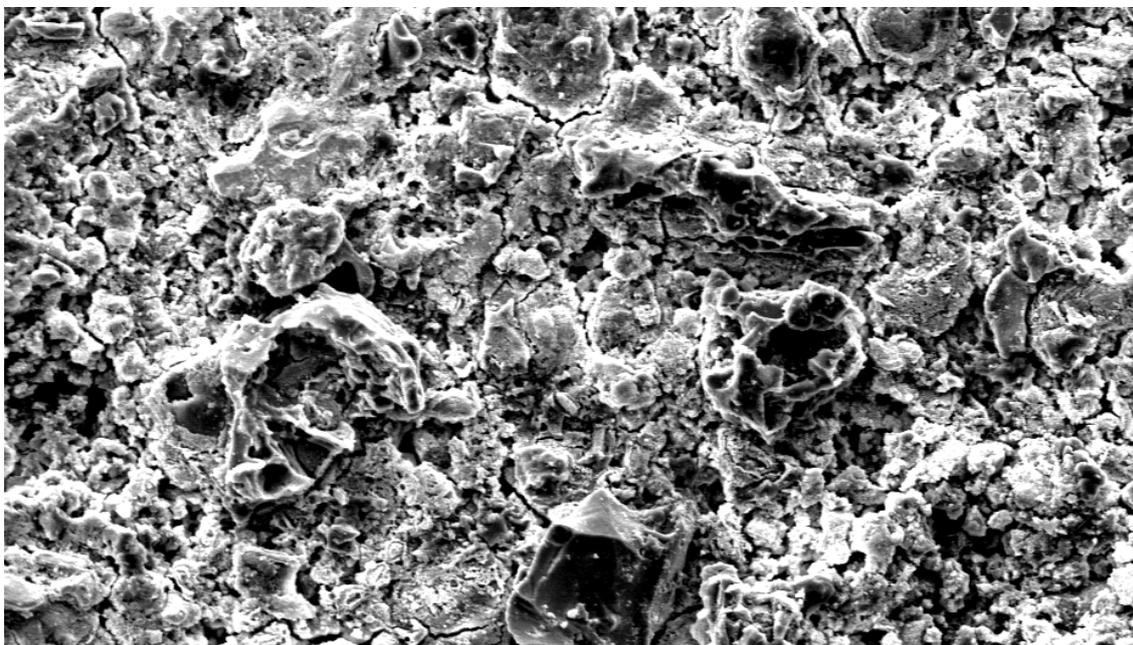


UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
Departament d'Estomatologia

Facultad de Medicina y Odontología

Tesis Doctoral

ESTUDIO SOBRE LA CAPACIDAD DE SELLADO DEL MTA
EN PERFORACIONES DE FURCA



Presentada por: D^a. Marta Peydro Herrero
Dirigida por: Prof. Dr. D. Leopoldo Forner Navarro
Valencia, 2008

**ESTUDIO SOBRE LA CAPACIDAD DE SELLADO DEL MTA
EN PERFORACIONES DE FURCA**

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR LA LICENCIADA:

D^a. MARTA PEYDRO HERRERO

DIRIGIDA POR:

PROF. DR. D. LEOPOLDO FORNER NAVARRO

VALENCIA, 2008

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica:
la voluntad”

Albert Einstein

Gracias al Dr. Leopoldo Forner por su ayuda y
dedicación. Por estar siempre disponible y
dispuesto a ayudarme. Por ser un ejemplo de
esfuerzo y trabajo.
Muchísimas gracias por todo.

Dedicado a mis padres por su inagotable paciencia y amor.

Gracias por la educación que me habéis dado.

A mi hermano, mi compañero y amigo en la vida.

A David, por su ayuda y comprensión y cariño.

Por ser mi mano derecha...

Índice

1- INTRODUCCIÓN	1
1.1- CAUSAS DEL FRACASO EN EL TRATAMIENTO ENDODÓNCICO	3
1.2- PERFORACIONES RADICULARES	9
1.2.1- DEFINICIÓN	9
1.2.2- ASPECTOS QUE INFLUYEN EN LA REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES	18
1.2.3- MATERIALES UTILIZADOS EN LA REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES	22
1.2.3.1- Amalgama de plata	
1.2.3.2- Cemento de óxido de cinc-eugenol (EBA)	
1.2.3.3- Hueso congelado desecado-descalcificado	
1.2.3.4- Ionómero de vidrio	
1.2.3.5- Fosfato de calcio	
1.2.3.6- Cavit	
1.2.3.7- Hemostáticos	
1.2.3.8- Materiales barrera	
1.2.3.8.1- Materiales barrera resorbibles:	
A- Materiales similares al colágeno	
B- Sulfato de calcio	
1.2.3.8.2- Materiales barrera no resorbibles	
1.2.3.9- Agregado de trióxido mineral (MTA)	
2- MTA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	41
2.1- PROPIEDADES QUÍMICAS	43
2.2- PROPIEDADES FÍSICAS	50
2.2.1- FRAGUADO	
2.2.2- PH	
2.2.3- RADIOOPACIDAD	
2.2.4- SOLUBILIDAD	
2.2.5- SUPERFICIE Y ESTRUCTURA CRISTALINA	
2.2.6- ESTUDIOS DE FUERZA	
2.2.7- CAMBIO DIMENSIONAL	

2.2.8- CAPACIDAD DE SELLADO Y ESTUDIOS DE FILTRACIÓN	
2.2.8.1- Estudios sobre microfiltración utilizando colorantes	
2.2.8.2- Estudios sobre microfiltración utilizando un método de filtración de fluidos	
2.2.8.3- Estudios sobre microfiltración de bacterias	
2.2.9- ADAPTACIÓN MARGINAL	
2.3- PROPIEDADES BIOLÓGICAS	78
2.3.1- ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DEL MTA	
2.3.2- CITOTOXICIDAD	
2.3.3- BIOCMPATIBILIDAD	
2.4- PAUTAS A SEGUIR EN LA MANIPULACIÓN DEL MTA	107
2.5- APLICACIONES CLÍNICAS DEL MTA	109
2.5.1- APICOFORMACIÓN	
2.5.2- TRATAMIENTO DE LA PULPA VITAL	
2.5.3- OBTURACIÓN APICAL RETRÓGRADA	
2.5.4- TRATAMIENTO DE TRAUMATISMOS DENTALES	
2.5.4.1- Tratamiento de fracturas verticales	
2.5.4.2- Tratamiento de fracturas horizontales	
2.5.4.3- Tratamiento de resorciones	
2.5.4.4- Tratamiento de dientes avulsionados	
2.5.5- OTRAS INDICACIONES	
2.5.5.1- Barrera para blanqueamiento interno	
2.5.5.2- Sellado intracoronal	
2.5.5.3- Obturación de canales radiculares	
2.5.5.4- Cementado de postes prefabricados	
2.5.5.5- Tratamiento de <i>dens evaginatus/dens invaginatus</i>	
2.5.6- REPARACIÓN DE PERFORACIONES RADICULARES	
3- TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES RADICULARES	155
3.1- TRATAMIENTO DE LAS PERFORACIONES DEL TERCIO CORONAL Y DE LA FURCA	157
3.2- TRATAMIENTO DE LAS PERFORACIONES DEL TERCIO MEDIO	161
3.3- TRATAMIENTO DE LAS PERFORACIONES DEL TERCIO APICAL	165

4- OBJETIVOS	167
4.1- OBJETIVO GENERAL	169
4.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	169
5- MATERIALES Y MÉTODOS	171
5.1- PLANTEAMIENTO GENERAL	173
5.2- MUESTRA	173
5.3- INSTRUMENTAL	174
5.4- MATERIALES DE OBTURACIÓN	176
5.4.1- MINERAL TRIOXIDO AGREGADO (MTA)	
5.4.1.1- Presentación	
5.4.1.2- Composición	
5.4.1.3_ Manipulación.	
5.4.2- IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE	
5.4.2.1- Presentación	
5.4.2.2- Composición	
5.4.2.3- Manipulación	
5.4.3- IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE	
5.4.3.1- Presentación	
5.4.3.2- Composición	
5.4.3.3- Manipulación	
5.4.4- COMPOSITE FLUIDO	
5.4.4.1- Presentación	
5.4.4.2- Composición	
5.4.4.3- Manipulación	
5.4.5- COMPOSITE CONVENCIONAL	
5.4.5.1- Presentación	
5.4.5.2- Composición	
5.4.5.3- Manipulación	

5.5- MATERIALES COMPLEMENTARIOS	184
5.5.1- LÁMPARA DE POLIMERIZACIÓN	
5.5.2- ÁCIDO ORTOFOSFÓRICO	
5.5.2.1- Presentación	
5.5.2.2- Composición	
5.5.2.3- Manipulación	
5.5.3- ADHESIVO DENTINARIO	
5.5.3.1- Presentación	
5.5.3.2- Composición	
5.5.3.3- Manipulación	
5.6- PROCEDIMIENTO	187
5.6.1- MANIOBRAS PREVIAS	
5.6.2- REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES RADICULARES	
5.6.2.1- Grupo 1: MTA	
5.6.2.2- Grupo 2: ionómero de vidrio fotopolimerizable	
5.6.2.3- Grupo 3: ionómero de vidrio autopolimerizable	
5.6.2.4- Grupo 4: composite fluido	
5.6.2.5- Grupo 5: composite convencional	
5.6.3- SISTEMA DE FILTRACIÓN	
5.6.4- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	
5.6.5- OBSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS	
5.6.6- CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
5.6.6.1- Criterio de filtración de colorante	
5.6.6.2- Criterio de filtración de colorante en el interior del material reparador	
5.6.6.3- Criterio de adaptación a las paredes de dentina	
5.7- ANÁLISIS ESTADÍSTICO	194

6- RESULTADOS	195
6.1- MTA	197
6.1.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES	
6.1.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS	
6.2- IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE	205
6.2.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES	
6.2.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS	
6.3- IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE	213
6.3.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES	
6.3.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS	
6.4- COMPOSITE FLUIDO	221
6.4.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES	
6.4.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS	
6.5- COMPOSITE CONVENCIONAL	227
6.5.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES	
6.5.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS	
6.6- CONTROL POSITIVO	235
6.7- CONTROL NEGATIVO	237
6.8- DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	239

7- DISCUSIÓN	249
7.1- DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	251
7.2- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	257
8- CONCLUSIONES	263
9- SITUACIÓN ACTUAL	267
10- BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	271
11- BIBLIOGRAFÍA	275

1

Introducción

1.1- CAUSAS DEL FRACASO EN EL TRATAMIENTO ENDODÓNCICO

La Endodoncia es la especialidad odontoestomatológica que se encarga del estudio de la morfología, fisiología y patología de la pulpa dental y de los tejidos perirradiculares, así como del diagnóstico diferencial y del tratamiento de dichas enfermedades pulpares y perirradiculares. Incluye, por tanto, el diagnóstico y el tratamiento del dolor orofacial de origen pulpar y periapical, el tratamiento de los conductos radiculares indicado cuando la pulpa, inflamada o necrótica, tenga que ser extraída de los mismos, los tratamientos para mantener la vitalidad pulpar y la cirugía periapical. También entran dentro de esta especialidad los blanqueamientos de los dientes desvitalizados con alteraciones del color, el tratamiento de las resorciones radiculares, el manejo de la pulpa afectada en los traumatismos dentales y los retratamientos de conductos en aquellos casos que han fracasado previamente [Glossary AAE, 1998; Rodríguez, 2003].

La Endodoncia ha sufrido una intensa evolución tanto en el campo biológico como en los procedimientos técnicos y los índices de éxito han aumentado permitiendo a las estructuras dentarias mantenerse en armonía con el resto del sistema estomatognático [Glickman y cols., 2000]. Así por ejemplo, la aparición del microscopio clínico ha ampliado enormemente la posibilidad de resolver casos difíciles con éxito [Martínez, 2002; Castellucci, 2003]. Un tratamiento endodóncico correcto necesita una buena preparación biomecánica, control microbiano y una adecuada obturación de los conductos. La preparación biomecánica o instrumentación con limas, sistemas rotatorios o ultrasonidos [Orts y cols., 1989] pretende conseguir un completo desbridamiento y la remoción de los tejidos pulpares vivos o necróticos y de la dentina infectada de los conductos radiculares, así como una conformación adecuada de los mismos para facilitar su obturación.

La instrumentación debe limitarse al propio conducto, evitando que la lima o los restos pulpares atraviesen el foramen apical para no lesionar los tejidos periapicales que ayudan al cierre biológico del ápice. La mayoría de los autores están de acuerdo en que muchos de los fracasos endodóncicos se deben a la limpieza superficial de los conductos y a la falta de remoción total de la pulpa. El tejido pulpar remanente tiene la capacidad de permitir el desarrollo microbiano. Incluso si el contenido no está infectado, los productos de degradación de los tejidos necróticos residuales pueden crear una inflamación persistente en el hueso periapical circundante [Pacheco y cols., 1989; Walton y cols., 1991; Ingle, 2002; Weine y cols., 2004].

El pronóstico de los conductos radiculares tratados depende de una serie de factores como son [Walton y cols., 1991]:

- Factores anatómicos:
La presencia de curvaturas muy pronunciadas, bloqueos (conductos calcificados o pulpólitos), conductos muy delgados o estrechos o cualquier otra anomalía morfológica tiene repercusión en el grado de dificultad del tratamiento [Arens y cols., 1998].
- Estados patológicos:
El estado periapical tiene efecto en cuanto a que cuanto más grande y más desarrollada es la lesión (granulomas, quistes), menor será la posibilidad de su resolución [Arens y cols., 1998; Lin y cols., 2005].
- Factores de tratamiento:
La longitud del espacio de trabajo para la preparación u obturación influye en el pronóstico. De 1 a 2 mm antes del ápice radiográfico es óptimo. Las posibilidades de fracaso aumentan cuando la obturación de los conductos queda demasiado corta, ya que los restos de sustancias lesivas causan irritación periapical continua, y también con una mayor longitud de trabajo, porque aumenta la irritación causada por los materiales y se favorece un pobre sellado apical [Neaverth, 1989].
- Accidentes en los procedimientos:
Escalones y perforaciones laterales, instrumentos fracturados [Spili y cols., 2005; Barjau y cols., 2006; Rodríguez y cols., 2007], ...

Se establecen tres criterios fundamentales para valorar si el tratamiento endodóncico ha sido un éxito [Pacheco, 1993]:

1- El criterio histológico consiste en la reparación completa de las estructuras periapicales y la ausencia de células inflamatorias.

2- En la práctica clínica es suficiente la evaluación de los hallazgos clínicos y radiográficos. Según el autor, el criterio clínico que se suele utilizar es el establecido por Bender y cols. en 1966:

Ausencia de dolor e inflamación
Desaparición de la fístula
Recuperación de la función
Ausencia de destrucción de tejidos blandos

3- El criterio radiológico de éxito consiste en que desaparezca o no se desarrolle un área de rarefacción tras el tratamiento en uno a cuatro años o en observar una evolución favorable de áreas periapicales preexistentes. Si el tratamiento fracasa, la lesión radiolúcida aumenta de tamaño, persiste durante un determinado tiempo o se desarrolla, aun cuando originalmente no estaba presente. Es importante saber que la completa regeneración radiográfica de las estructuras periapicales no siempre ocurre, aun en los casos en que el tratamiento no ha fracasado. En los dientes que presentan áreas periapicales previas se puede conocer generalmente si la evolución es favorable mediante un control radiográfico a los seis meses. En algunos casos en que la lesión es de gran tamaño es necesario un seguimiento de hasta cinco años para comprobar una cicatrización completa. En los dientes sin lesiones óseas previas no se puede descartar un fracaso hasta transcurridos dos años del tratamiento.

La terapia endodóncica es el último paso que puede realizarse para mantener la integridad de los dientes naturales y su fracaso produce desórdenes estéticos y funcionales. El éxito de un tratamiento endodóncico depende de la limpieza y la conformación adecuada de los conductos radiculares que permita la obturación y el sellado perfecto de los mismos. La importancia de la obturación del canal radicular radica en que es necesario conseguir la reducción del espacio disponible para la colonización bacteriana, prevenir la contaminación del ápice con bacterias después de eliminar el tejido pulpar y prevenir la circulación de las mismas a lo largo del canal radicular [Pitt Ford, 1983; Lin y cols, 2005]. Es imprescindible una obturación total del espacio del conducto y esta condición no puede ser lograda a menos que las paredes del canal sean limadas hasta la dentina mineralizada y todos los restos sean eliminados del conducto [Orts y cols., 1989]. La práctica de colocar hidróxido de calcio como medicación intraconducto entre las sesiones de tratamiento inhibe el crecimiento bacteriano y elimina todos los microorganismos en los canales infectados si se mantiene al menos durante 4 semanas [Simcock y cols., 2006]. Pero además, es necesaria una restauración que proporcione un buen sellado coronal y que impida la filtración de bacterias [Barrieshi-Nusair y cols., 2005].

Los estudios demuestran un 95% de éxito de los tratamientos endodóncicos [Ingle, 1961; Pekruhn, 1986] y éste es totalmente dependiente del estado periapical previo al tratamiento. Así, Sjögren y cols. (1990) observaron después de 8 a 10 años de tratamiento un 96% de éxito en dientes sin patología periapical previa frente a un 86% de éxito en dientes que presentaban lesiones periapicales.

Imura y cols. (2007) realizaron un estudio para determinar el resultado de 2000 tratamientos endodóncicos realizados por un especialista en endodoncia en su clínica privada. Los resultados fueron los siguientes:

n	TRATAMIENTO	ÉXITO
1376	ENDODONCIA	94%
624	RETRATAMIENTO NO QUIRÚRGICO	85,9%

La tasa de éxito fue superior en los dientes sin patología periapical previa y con restauración coronal definitiva. Para los dientes sometidos a retratamiento, el éxito fue superior en los premolares y dientes anteriores y en los pacientes con un rango de edad comprendido entre 50-59 años.

A pesar de la aparición de nuevas técnicas y materiales, los dientes están sujetos a accidentes y complicaciones que afectan al pronóstico del tratamiento. La mayoría de los casos que fracasan lo hacen en los dos años siguientes al tratamiento, algunos antes de los diez y muy pocos después. Se ha comprobado que los fracasos se deben más frecuentemente a fallos en la restauración o problemas periodontales que a motivos endodóncicos propiamente dichos. El hallazgo de las causas del fracaso del tratamiento de conductos permite normalmente realizar un nuevo tratamiento conservador o quirúrgico [Pacheco, 1993].

Algunas causas de fracaso son:

- Filtración apical por obturación incompleta o por conductos sin obturar.
Ingle (1961) considera que un 58,65% de fracasos endodóncicos se produce por una obturación inadecuada de los conductos y una instrumentación incorrecta, según datos obtenidos en su estudio. Una correcta obturación radicular abarca desde la selección del caso hasta la preparación de la cavidad coronal y radicular correcta y el adecuado uso de los materiales de obturación.
- Errores durante el tratamiento:
 - * Perforaciones radiculares laterales [Weisman, 1959; Lee y cols., 1993; Soluti y cols., 1993; Holland y cols., 2001a, 2005; Bargholz, 2005; Moldauer, 2005]

- * Perforaciones de furca [Nicholls, 1962; ElDeeb y cols., 1982; Benenati y cols., 1986; Sinai y cols., 1989; Alhadainy y cols., 1993a-b, 1994b, 1998; Hartwelly cols., 1993; Goon y cols., 1995; Pitt Ford y cols., 1995b; Arens y cols., 1996; Welch y cols., 1996; Chau y cols., 1997; Peix, 1998; Nakata y cols., 1997, 1998; Jeeraphat y cols., 1999; Mittal y cols., 1999; Fuss y cols., 2000; Daoudi y cols., 2002; Weldon y cols., 2002; Silva-Neto y cols., 2003; Ferris y cols., 2004; Hardy y cols., 2004; Main y cols., 2004]
 - * Sobreextensión del material de obturación radicular [Neaverth, 1989]
 - * Fractura de instrumentos [Fox y cols., 2004; Spili y cols., 2005].
 - * Resorciones externas tras tratamientos de blanqueamiento interno [Al-Nazhan, 1991]
- Errores de diagnóstico (tumores, enfermedad periodontal [Simon y cols., 1972], enfermedad pulpar de otro diente, traumatismo constante y fractura vertical [Fabra y cols., 2001]).
 - Recontaminación.

Los dientes endodonciados pueden recontaminarse por varias causas [Saunders y cols., 1994]:

1- Retraso en la colocación de una obturación coronal definitiva. A pesar de que los materiales de restauración provisional como Cavit G o IRM proporcionan un buen sellado, tienen tendencia a disolverse en presencia de saliva y el sellado puede fallar, sobre todo si no presenta el espesor adecuado (al menos 3,5 mm). La restauración definitiva debe ser colocada cuanto antes.

La microfiltración coronal de bacterias y sus subproductos puede causar el fracaso de un tratamiento endodóncico. Así, Hamad y cols. (2006) demostraron en su estudio que la penetración de colorante fue mayor por vía ortógrada que por vía retrógrada.

2- Fractura de la restauración coronal o del diente.

3- Preparación para la colocación de un poste cuando la obturación apical remanente presenta una densidad o longitud inadecuada [Milot y cols., 1992].

4- Presencia de barrillo dentinario en las paredes de la dentina. Para eliminarlo es necesario el tratamiento con ácidos, como ácido cítrico, o quelantes como EDTA (ácido etilendiamino-tetracético). También con limas activadas con ultrasonidos e hipoclorito sódico [Pacheco y cols., 1989; Orts y cols., 1989] o mediante el uso de cementos que se adhieran químicamente a la pared de dentina de los conductos (cementos de ionómero de vidrio).

En el caso de molares, el suelo de la cámara pulpar debería cubrirse con ionómero de vidrio después de eliminar los restos de cemento y gutapercha para evitar la contaminación por la existencia de canales accesorios en el suelo de la cámara pulpar.

Lin y cols. (1991, 1992) investigaron los factores relacionados con los fracasos de los tratamientos endodóncicos. Estudiaron dientes endodonciados clínica, radiográfica e histopatológicamente y hallaron como causa principal de fracaso la persistencia de bacterias en el conducto radicular o en el área perirradicular y la presencia de área periapical previa al tratamiento de conductos. Concluyeron que las bacterias juegan un papel principal en el mantenimiento o comienzo de la inflamación perirradicular. Los dientes con rarefacción periapical previa presentaban mayor número de bacterias y además comprobaron que existía relación entre el tamaño del área y el número de bacterias. Asimismo concluyeron que no todas las lesiones periapicales se ven en la radiografía y un alto porcentaje de ellas son asintomáticas. No hallaron relación entre tratamientos fracasados y conductos sobre o infraobturados. Según los autores (2005), sólo existen 2 factores que tienen un impacto directo en el éxito de la terapia endodóncica:

- a. La permanencia de gérmenes en el canal radicular cuando se está realizando la obturación del mismo.
- b. Lesión periapical previa.

El resto de accidentes en si mismos (infraobturación, sobreobturación, instrumentos fracturados y perforaciones radiculares) no son la causa directa del fracaso del tratamiento endodóncico, si no la presencia de bacterias dentro de los conductos radiculares. Así, Kakehashi y cols. (1965) realizaron un estudio sobre pulpas expuestas de ratas de laboratorio. Las pulpas de los dientes que estuvieron en contacto con los microorganismos orales desarrollaron necrosis y patología periapical, mientras que las que estuvieron expuestas sin gérmenes, aún en contacto con trazas de alimento esterilizado, se mantuvieron sin patología.

Ramachandran y cols. (1990) realizaron un estudio que evidencia la presencia de microorganismos intrarradiculares (bacterias y hongos) en la mayoría de las raíces obturadas que muestran lesiones periapicales, reafirmando que las bacterias juegan el rol más importante en el fracaso endodóncico. Los dientes con patología periapical asintomática contienen una mezcla de bacterias derivadas de organismos que colonizan la raíz antes o durante el tratamiento endodóncico, que no provienen de la necrosis y presentan el potencial de progresar hacia una patología periapical sintomática [Fukushima y cols., 1990].

La pérdida de sellado coronal es una causa importante de fracaso endodóncico que puede ser debida a la filtración de la obturación temporal o la fractura del material restaurador [Barrieshi-Nusair y cols., 2005].

Los estudios de Ingle (1961) mostraron como causa principal de fracasos en endodoncia una incorrecta instrumentación y obturación de los conductos (58,65%) y como segunda causa de fracaso las perforaciones, lo cual representa cerca de un 9,6% en los tratamientos endodóncicos.

1.2- PERFORACIONES RADICULARES

1.2.1- DEFINICIÓN

Las perforaciones radiculares son comunicaciones patológicas o iatrogénicas entre el sistema de conductos radiculares y la superficie radicular externa [American Association of Endodontists (AAEs) Glossary of Endodontic Terms]. Se trata de lesiones artificiales e involuntarias que producen una comunicación con la cavidad pulpar o el ligamento periodontal. Las causas de las perforaciones son [Cohen y cols., 2002]:

- Resorciones idiopáticas [Hsien y cols., 2003; Sari y cols., 2006]
- Caries
- Episodios iatrogénicos que ocurren durante y después del tratamiento endodóncico.
- Más raramente, las perforaciones radiculares se pueden producir durante [Kosti y cols., 2008]:
 - Realización de una cirugía periapical
 - Extracción quirúrgica de un diente retenido adyacente
 - Colocación de un implante o un mini-implante
 - Aplicación de miniplacas para osteosíntesis
 - En los diferentes procesos de tratamiento de fracturas mandibulares

Una perforación constituye una invasión de las estructuras de sostén, que inicialmente puede provocar tan sólo aparición de inflamación con pérdida de la inserción. El problema es que puede llegar a poner en peligro al diente. De hecho, las perforaciones a nivel de la cresta ósea o por debajo de la misma constituyen una amenaza grave que puede cambiar un pronóstico, en principio favorable, por la formación de un defecto periodontal crónico [Jew y cols., 1982].

Stromberg y cols. (1972) proponen la siguiente clasificación según la localización de la perforación:

1. Porción coronal de la raíz bajo el hueso marginal

2. Área de la furca y 2 mm apicales a la misma
3. Parte media radicular
4. Porción apical.

El tipo de tratamiento dependerá de la localización de la perforación:

- Conservador, hallándose la perforación en cualquier localización, realizando el tratamiento endodóncico convencional, sellando la perforación a través del conducto radicular con el material de obturación, o colocando previamente un material barrera que impida la extrusión de material a través de la zona perforada [Kosti y cols., 2008].
- Apicectomía, si la perforación se encuentra cerca del ápice [Bigg y cols., 1988; Donado y cols., 2001a], amputación radicular [Lin y cols., 2008] o hemisección [Schmitz y cols., 2008].
- Acceso quirúrgico si está localizada en el tercio medio [Oswald, 1979].
- Para las perforaciones en el tercio coronal o en la furca, los autores proponen diferentes métodos de tratamiento [Jew y cols., 1982; Sinai y cols., 1989; Martin y cols., 1982; Trope y cols., 1999; Himel y cols., 1993]

Las perforaciones son una causa común de fracasos endodóncicos y el resultado de su tratamiento es totalmente dependiente de la prevención o tratamiento de la infección bacteriana en la zona de la perforación [Daoudi y cols., 2002; Lin y cols., 2005]. Cuando se produce una perforación aparecen una cascada de complicaciones, como inflamación severa, destrucción del ligamento periodontal, resorción de hueso, cemento o dentina, lo que lleva al crecimiento de epitelio en el área perforada desde el surco gingival [Meister y cols., 1979]. La migración apical del epitelio sulcular hacia el defecto crea la barrera más importante de la curación de una perforación radicular [Jew y cols., 1982].

A veces las perforaciones son consecuencias de esfuerzos demasiado enérgicos para pasar una saliente o porque la instrumentación no se realizó de la manera indicada para mantener la curvatura del conducto en un diente con un conducto curvado o bien porque se cometió un error de apreciación al establecer el tamaño de los instrumentos finales que serían convenientes para una forma radicular dada. Puesto que los instrumentos suelen perforar la superficie radicular en ángulo oblicuo, la abertura en la superficie de la raíz es de forma ovalada [Oswald, 1979].

Algunas perforaciones iatrogénicas se producen porque los dientes presentan variaciones anatómicas internas que no son consideradas durante el tratamiento. Es importante

familiarizarse con la anatomía común y con las variables anatómicas menos comunes de las raíces para llevar a cabo un tratamiento endodóncico con éxito [Metzger y cols., 1981].

Así, la perforación de la cámara pulpar puede ocurrir durante el acceso y localización de los orificios cuando la cámara está casi totalmente calcificada como consecuencia de la edad o como reacción a un trauma o a un irritante. Sobre todo es importante saber que, cuando se buscan conductos en molares, la mayor parte de las perforaciones ocurren en la furca [Walton y cols., 1991; Chau y cols. 1997].

Si el techo y el suelo de la cámara pulpar están muy próximos, la perforación se produce por no tener cuidado con la fresa al realizar la apertura de acceso. También se puede producir como resultado de la dirección inadecuada de la fresa durante la remoción del techo de la cámara pulpar al realizar dicha apertura. Sobre todo en los dientes que no se encuentran bien alineados, es importante la colocación de la fresa siguiendo del eje axial del diente [Bortoluzzi y cols., 2007a]. Al hacer la cavidad de apertura, se debe llevar la fresa hacia el canal con el orificio de entrada más ancho: distal en los molares inferiores y palatino en los molares superiores [Nicholls, 1962].

Las perforaciones a nivel cervical o justo apical a la inserción epitelial intacta pueden ser una amenaza para el desenlace favorable del tratamiento ya que existe la posibilidad de que provoquen trastornos periodontales. El objetivo ideal del tratamiento en este caso es realizar la reparación de la perforación sin impedir u obstaculizar el restablecimiento de la inserción epitelial [Oswald, 1979].

El área de la furca del tercio coronal en una raíz estrecha y curva se conoce como zona de peligro [Lin y cols., 2005]. En esta área hay menos estructura dental en comparación con la pared externa del canal. La tendencia de eliminar dentina de esta zona aumenta la frecuencia de perforaciones, especialmente en preparaciones que no siguen una línea recta de acceso; es lo que se conoce como estrechamientos en forma de ocho, de forma que la instrumentación termina de adelgazar la zona más estrecha y se produce la fractura, como por ejemplo en la raíz mesial de un molar mandibular o en la mesiobucal de un molar maxilar [Jew y cols., 1982]. En los premolares inferiores, el estrecho diámetro mesiodistal del cuello y la inclinación lingual de sus raíces incrementa la frecuencia de perforaciones coronales en estos dientes [Alhadainy, 1994a].

Las perforaciones en el tercio medio son resultado de la falta de cuidado en la preparación de un canal que presenta una calcificación o del intento de sobrepasar un instrumento fracturado. Un instrumento mal orientado durante la búsqueda de un conducto radicular puede crear un falso

canal, especialmente en raíces curvas. Otra causa de fracturas del tercio medio es el uso de instrumentos rotatorios para preparar el alojamiento de un poste [ElDeeb, 1982; Tanalp y cols., 2006] o la restauración final de dientes endodonciados con coronas que no siguen el eje axial del diente [Metzger y cols., 1981].

La sobreinstrumentación de canales curvos causa “stripping”, que se produce porque conforme va aumentando el diámetro de la lima en la conformación del canal, ésta no sigue la curvatura radicular y finalmente se produce la fractura. Por eso es importante conocer la forma del conducto y la capacidad de la lima para doblarse para saber hasta que tamaño podemos instrumentar el canal [Meister y cols., 1979].

Las perforaciones apicales se pueden producir como resultado de la instrumentación del canal más allá del foramen apical. La importancia del tamaño de la perforación reside en el hecho de que, cuanto más grande sea la abertura tanto mayor será la superficie expuesta a los líquidos tisulares, lo cual aumenta las probabilidades de eliminación del sellador y la consiguiente percolación o filtración de todos los detritos residuales del conducto. La cantidad de material de obturación empujado más allá de los límites del conducto así como el tipo de material también puede afectar la reparación [Augsburger y cols., 1990].

El transporte de la región apical se produce porque el instrumento se endereza en canales con el ápice curvado, por trabajar la pared externa de la curvatura más que la interna. Las perforaciones que se producen cerca del ápice del diente pueden crear una falsa vía, sobre todo en dientes con curvatura apical o dilaceración y el falso canal aparece tangencial al canal principal [Walton y cols., 1991].

Pucci (1946) fue el primero que apuntó la importancia de una preparación intracoronal meticulosa como base para el éxito de la preparación intrarradicular y obturación de los conductos radiculares [Ingle, 1961]. La mayor parte de las perforaciones son debidas a una deficiente apertura de la cavidad de acceso. La rectificación en la dirección de la apertura y el curvado de las limas ayuda a reencontrar el camino hacia el ápice [Peix, 1998].

Nicholls (1962) y Martin y cols. (1982) describieron las precauciones que se deben tomar para evitar perforaciones traumáticas:

1. En la instrumentación manual, las limas deben usarse en rigurosa secuencia numérica sin aplicar presión excesiva.
2. Instrumentar canales curvos con instrumentos mecánicos puede producir perforación o rotura del instrumento por su inflexibilidad. Se debe tener precaución en los orificios de entrada con las fresas Gates-Glidden y cualquiera de los sistemas de instrumentación mecánica.
3. Al preparar un conducto para colocar un perno intrarradicular, el canal debe ser examinado y limpiado periódicamente para asegurarse que la acción de la fresa se está produciendo dentro de la raíz, porque el éxito de muchos casos endodóncicos bien ejecutados en ocasiones se ve comprometido por perforaciones que se producen durante la preparación del conducto destinado a recibir un perno intrarradicular. Antes de la colocación del mismo, hay que eliminar una porción de la gutapercha que obtura el conducto radicular con un instrumento caliente y así este espacio puede servir de arranque en la preparación para la inserción del mismo [Frank y cols., 1986].

La fractura radicular también puede producirse porque la colocación del poste intrarradicular debilita en exceso la raíz. Cuanta más cantidad de estructura dentaria se preserve, se incrementará la resistencia a la fractura.

Sorensen (1990) describió todos y cada uno de los factores que deben ser tomados en cuenta a la hora de reconstruir un diente con un perno-muñón con el fin de conseguir un efecto ferrule que permita que la corona rodee los 360° del perímetro de las paredes de dentina paralelas y se extienda cervicalmente hasta el hombro de la preparación [Ichim y cols., 2006] y cuyo propósito es incrementar la resistencia mecánica y la integridad estructural del diente endodonciado con una distribución adecuada de las fuerzas sobre la estructura dentaria remanente.

Para Milot y cols. (1992) cuando la mayor parte de la estructura dentaria está preservada supragingivalmente la selección de un poste tiene poca o ningún efecto en la resistencia a la fractura, aunque ésta sí se ve incrementada si la preparación dentaria para una corona de recubrimiento total se hace con una preparación del hombro en bisel en lugar de terminación en hombro recto. Sin embargo, en los estudios llevados a cabo por Barjau y cols. (2006) y Rodríguez y cols. (2007) concluyeron que los postes de fibra, al tener módulos de elasticidad similares a la dentina, presentan mejor comportamiento biomecánico.

Cuando existen caries, fracturas o restauraciones antiguas subgingivales y no tenemos efecto ferrule se debe someter al diente en cuestión a un alargamiento de corona, por medio de una cirugía preprotésica o por medio de una extrusión forzada con fibrectomía, con lo que se logrará

exponer la cantidad de tejido suficiente. Si aún así no se pudiera lograr dicho efecto, una alternativa sería ferulizar la pieza comprometida a una pieza vecina para distribuir entre ellas las cargas oclusales [Quiroga, 2006]. Es importante seleccionar el diente que va a llevar un perno radicular, puesto que no todos los dientes endodonciado requieren este tipo de restauración [Salameh y cols., 2006], así como estudiar bien el caso para elegir el tipo de material y diseño del poste más conveniente para el diente que va a ser tratado [Christensen, 1997; Faraco y cols., 2007].

El diagnóstico de una rotura de la pared dentinaria es difícil. La presencia de una perforación debe ser sospechada cuando los intentos para preparar el conducto hasta la longitud de trabajo producen dolor a distancia de la longitud prevista y aparece una hemorragia persistente en el conducto y, además, el dentista no siente la constricción apical ni el instrumento se detiene a nivel del ápice [Crump, 1979]. Un signo de posible perforación puede ser cuando al introducir una lima en un conducto ésta muestra menos ajuste del que se supone debería tener dentro del canal. También un sangrado continuo en el espacio pulpar puede ser la primera evidencia de una perforación iatrogénica, ya que las perforaciones de la cámara pulpar causan sangrado en tejidos blandos adyacentes o en el ligamento periodontal. El sangrado en el suelo de la cámara de un molar indica una posible perforación en el área de la furca. También puede aparecer como una inundación espontánea de sangre en un canal en que no estaba sangrando. Esto indica la aparición de un área de fractura lateral en la pared del conducto.

Las puntas de papel son muy útiles en la evaluación de una perforación. Cuando la sangre aparece a lo largo de la punta de papel y no al final significa que hay una franja de perforación en la pared. Se puede obtener una idea de la dimensión y ubicación de la perforación midiendo la distancia entre el extremo más alto de la superficie ensangrentada de la punta de papel y las pinzas. Si la sangre aparece al final de la punta de papel significa que la perforación es apical. Esto puede confirmarse irrigando el canal cuidadosamente de forma que el líquido irrigante no llegue a los tejidos circundantes y después secando el conducto con una punta de papel [Alhadainy, 1994a].

La forma más importante de obtener información sobre una perforación es mediante las radiografías. Si la perforación es mesial o distal puede verse sin problemas, mientras que si es bucal o lingual será necesario realizar radiografías en distintos ángulos y proyecciones para comparar y diagnosticar la perforación [Bender, 1982]. Con un localizador de ápice también es posible diagnosticar una perforación iatrogénica, puesto que éste marcará directamente la nueva apertura [Glickman, y cols., 2000].

Kaufman y cols. (1989) describen un método de reparación de una perforación radicular ayudándose para ello de un localizador de ápice. Esto permite la posibilidad de reparar el defecto de forma conservadora, puesto que el acceso a la perforación mediante una intervención quirúrgica potencia el posible daño de los tejidos perirradiculares y la aparición de defectos óseos.

La utilización de tomografía computerizada se convierte en un medio diagnóstico extremadamente preciso para localizar la perforación y poder establecer un plan de tratamiento que pueda ser llevado a cabo con éxito [Young, 2007].

Algunos signos más específicos de fractura son: bolsas periodontales profundas y estrechas, la visualización de la línea de fractura, la separación de fragmentos, una imagen radiográfica en gota o las lesiones de aspecto periodontal a ambos lados de la raíz [Pacheco, 1993].

Otro signo que muestra que se ha producido una perforación es la sensibilidad dolorosa repentina del/de la paciente que no presentaba ninguna molestia al introducir un instrumento [Oswald, 1979]. También la filtración de la solución irrigante a través de la perforación cervical o los márgenes de una corona agujereada.

El diagnóstico de la perforación implica dos consecuencias importantes: la perforación en sí impide lograr un resultado favorable del tratamiento a menos de poder ser reparada. Generalmente, hay una porción del conducto principal que no ha sido preparada u obturada [Crump, 1979]. Si el/la profesional no se da cuenta y el tratamiento se termina, el paciente tendrá una sensibilidad anormal al masticar y, posteriormente, aparecerá un área radiolúcida difusa adyacente al área de la perforación. Puede aparecer exudado seroso en la zona perforada o inflamación crónica de la encía, cuando la perforación ha penetrado en el hueso alveolar, así como la formación de una bolsa periodontal en la furca [Goon y cols., 1995].

Cualquier fractura o apertura en el diseño anatómico de la estructura dental produce una irritación de las estructuras de soporte. Así, cuando ocurre una perforación, el área adyacente a la misma (ligamento periodontal y hueso alveolar) se destruye en mayor o menor intensidad, dependiendo de la extensión de la penetración y del calibre del instrumento que la ocasiona. Destruído el hueso alveolar, se forma un tejido de granulación que podrá invaginar hacia el interior del diente por el trayecto de la perforación [Bargholz, 2005]. Dependiendo del nivel de la cresta ósea y del grado de destrucción de hueso, se puede formar una bolsa periodontal [Meister y cols., 1979]. El cemento y la dentina pueden empezar a presentar diferentes grados de resorción y la estimulación de los restos epiteliales de Malassez puede dar origen a un quiste. Realizando un

tratamiento rápido y correcto es posible recuperar el hueso destruido, sellar la perforación y reestablecer el ligamento periodontal [Sinai y cols., 1989]

Las perforaciones localizadas cerca del sulcus producen la destrucción progresiva del periodonto. Cualquier perforación, reparada o no, localizada cerca del sulcus gingival puede presentar proliferación del epitelio sulcular, lo cual impide cualquier posibilidad de reparación. Por tanto, las perforaciones alejadas del epitelio sulcular presentan una reparación más favorable aunque no se obturen. De hecho, las perforaciones localizadas en el tercio medio y apical presentan mejor pronóstico que las localizadas en el tercio cervical y la cámara pulpar [Seltzer y cols., 1970]. La resorción radicular y del cemento ocurre siempre y sólo se repara en las perforaciones perfectamente obturadas [Jew y cols., 1982].

El tratamiento de las perforaciones conlleva conseguir condiciones favorables para mantener la salud de los tejidos implicados, eliminando la inflamación y evitando una pérdida de soporte periodontal [Pitt Ford y cols., 1995b]. De hecho, los principios son los mismos que en todo tratamiento de conductos en cuanto al diagnóstico, limpieza, conformación y obturación tridimensional de los conductos. Este último es el objetivo más importante de la terapia endodóncica y de la reparación del área perforada, evitando una excesiva extrusión de material para evitar la organización de una lesión crónica en el sitio de la perforación [Peix, 1998]. El mayor número de dientes en los que fracasó el tratamiento de reparación de perforaciones en un estudio realizado por Benenati y cols. (1986) fueron aquellos casos en los que se produjo la extrusión del material de reparación por fuera de la superficie radicular. De hecho, los dientes que presentaron extrusión de material fueron sometidos a tratamiento quirúrgico y todos evolucionaron con éxito cuando el exceso de material fue eliminado, independientemente del material utilizado para el sellado de la perforación (amalgama o gutapercha). Asimismo, también concluyeron que el hecho de sellar la perforación no garantiza la regeneración alveolar, pero dejar una perforación sin sellar expone la zona a microorganismos, lo que estimula la proliferación del epitelio sulcular en dirección apical mientras el hueso se va destruyendo. Estos resultados coinciden con Biggs y cols. (1988), quienes también realizaron acceso quirúrgico para curetear las zonas donde se había producido extrusión de material y los casos evolucionaron con éxito.

Las posibilidades clínicas del tratamiento de las perforaciones endodóncicas varían mucho según los autores pero casi todos coinciden que cuanto antes se realice mejor será el pronóstico para el diente, aunque Benenati y cols. (1986) observaron en su estudio que la tasa de éxito de la reparación no se vio afectada por retrasar el tratamiento 60 días. Pero estos resultados no coinciden con Seltzer y cols. (1970) ni con Pitt Ford y cols. (1995b), quienes observaron que dejar la región perforada expuesta a la saliva y los microorganismos por un periodo de tiempo permite la proliferación del epitelio, que produce la destrucción del hueso adyacente a la perforación. En estos casos la regeneración de las fibras periodontales y del hueso alveolar sobre la zona de la perforación es imposible. Si la perforación puede ser tratada inmediatamente no intervienen ni los microorganismos ni la impactación de comida y existe la posibilidad de que el periodonto se regenere. De hecho, esta posibilidad se produce siempre que la parte del periodonto incisal y oclusal a la perforación permanezca intacta. Aún sellando la perforación inmediatamente, puede producirse la proliferación del epitelio y la formación de una bolsa periodontal. De hecho, el daño periodontal se da siempre y va de moderado a severo dependiendo en parte de lo rápido que se selle la perforación. Las reacciones más severas se producen cuando las regiones perforadas no se cierran inmediatamente.

El tratamiento puede ser conservador a través del defecto con un material reparador o con tracción ortodóncica, o quirúrgico con cirugía periodontal u odontosección, en el caso de perforaciones grandes localizadas en un nivel desfavorable, aunque siempre que se pueda hay que intentar primero los procedimientos intracoronarios [Ruiz, 2005].

Cuando con un tratamiento convencional no se logra el objetivo, es necesario llegar al tratamiento quirúrgico [Peix, 1998]. En algunos casos es necesario realizar la combinación de varias técnicas de tratamiento (quirúrgico-no quirúrgico, diferentes materiales) para que el diente afectado por una perforación cure [Hsien y cols., 2003]. Es recomendable una técnica meticulosa y la reparación con un material de baja solubilidad y si se produce una extrusión significativa del material de reparación es necesario curetear la zona para minimizar el desarrollo de un defecto óseo [Biggs y cols., 1988].

Kvinnsland y cols. (1989) realizaron un estudio sobre 55 perforaciones radiculares y llegaron a las siguientes conclusiones:

- 1- En este estudio los dientes maxilares presentaban 3 veces más perforaciones que los mandibulares.

- 2- El 47% de las perforaciones habían ocurrido por causas endodóncicas y el 53% por razones prostodóncicas.
- 3- Las zonas donde más frecuentemente se produjeron las perforaciones fueron en las paredes bucal y mesial y en el tercio medio radicular.
- 4- En el 25% de los casos se observaron cambios radiológicos directamente relacionados con las áreas perforadas.
- 5- El tratamiento más favorable resultó de una combinación de tratamiento por vía ortógrada y por vía quirúrgica, con un 92% de éxito.

Estos datos indican la importancia de la prevención de este tipo de accidentes.

1.2.2- ASPECTOS QUE INFLUYEN SOBRE LA REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES

El pronóstico de las perforaciones endodóncicas está relacionado con:

1. localización y tamaño del defecto
2. longitud radicular
3. facilidad de acceso
4. contaminación del área
5. presencia o ausencia de la comunicación periodontal con el defecto
6. capacidad de sellado
7. biocompatibilidad del material restaurador
8. tiempo transcurrido entre la perforación y su tratamiento: cuanto más precozmente se realice el tratamiento, mejor será el pronóstico para el diente [Seltzer, 1970; ElDeeb, 1982; Ruiz, 2005].

Para que el tratamiento sea un éxito se debe prevenir o eliminar la irritación de los tejidos periodontales puesto que el resultado del tratamiento de conductos depende de la respuesta de estas estructuras. El tratamiento de la perforación debe ser llevado a cabo bajo condiciones asépticas y debe incluir limpieza, medicación y obturación. La posibilidad de satisfacer estos requisitos depende de la posición de la perforación y del tiempo que pase desde que se produjo ésta hasta que se trate [Nicholls, 1962].

Según Cohen y cols. (2000) hay que tener en cuenta CINCO puntos:

PUNTO 1: LAS CUATRO DIMENSIONES DE UNA PERFORACIÓN

Ocurren siempre en combinación y el profesional que vaya a realizar el tratamiento de una perforación debe identificarlas y entender cómo afectan a la selección del tratamiento y el pronóstico. Para su identificación es útil la utilización de microscopios, puntas de papel o localizadores electrónicos de ápice.

1.1- Nivel:

Las perforaciones pueden aparecer en los tercios radiculares coronal, medio y apical, a parte de las perforaciones de furca, que se consideran similares a las coronales, y que amenazan la inserción en el surco e implican unos problemas de tratamiento distintos a los de las perforaciones más apicales. Todos los investigadores están de acuerdo en que el pronóstico es peor cuanto más cervical se encuentre la perforación, por la proximidad al surco gingival, o más cerca del suelo de la cámara pulpar y que es mejor cuanto más apical sea ésta [Nicholls, 1962; ElDeeb, 1982; Jew y cols., 1982; Himel y cols., 1993].

1.2- Localización:

Las perforaciones ocurren en las caras de las raíces mesial, distal, bucal y lingual. En el tratamiento no quirúrgico la localización de la perforación no es tan importante, pero sí lo es para el tratamiento quirúrgico, que dependiendo de su posición puede complicar mucho el acceso.

La localización de la perforación relativa a la circunferencia de la raíz puede ser determinada comparando la inclinación bucopalatina de la lima insertada en el defecto con la que se inserte en el canal principal. La inclinación similar de los dos instrumentos indica que la perforación está localizada en el aspecto mesial o distal de la raíz. La divergencia de los instrumentos localiza la perforación en las paredes bucal o palatina [Nicholls, 1962].

1.3- Tamaño:

El tamaño de la perforación modifica la capacidad del/de la odontólogo/a para establecer un sellado hermético. Nicholls (1962) declaró que las perforaciones pequeñas son más favorables a un sellado directo e inmediato y que presentan una decreciente probabilidad de daño periodontal. Cuando el tamaño del defecto decrece también lo hace del potencial de sobreobtusión y sellado inadecuado. Himel y cols. (1985) correlacionaron el tamaño de la perforación y el pronóstico de la reparación. En los casos de perforaciones con un tamaño standard la tendencia a que la furca quede implicada varía de forma inversamente proporcional al tamaño del diente.

1.4- Tiempo:

Una perforación debe sellarse lo antes posible para impedir una mayor pérdida de sostén y evitar la destrucción de la cresta gingival. Las perforaciones crónicas con pérdida de sostén en la cresta conllevan problemas de tratamiento que pueden implicar la necesidad de una corrección quirúrgica, así como tratamientos con regeneración tisular guiada [Goon y cols., 1995].

El tiempo es fundamental para la reparación de la perforación puesto que cuanto más tiempo está expuesta a la cavidad oral, mayor es la posibilidad de contaminación por restos de alimento y peor el pronóstico [Pitt Ford y cols., 1995b; Holland y cols., 2007].

A pesar de que el pronóstico más favorable para la curación de las perforaciones es identificarlas lo antes posible y evitar complicaciones periodontales, algunos dientes no se curan aunque la reparación sea inmediata [Seltzer y cols., 1969].

PUNTO 2: ESTADO PERIODONTAL

Los dientes con un estado periodontal cuestionable deben ser extraídos porque presentan un mal pronóstico [Walton y cols., 1991].

PUNTO 3: ESTÉTICA

Las perforaciones en el sector anterior pueden tener consecuencias estéticas muy evidentes, sobre todo los pacientes con línea labial alta por defectos que se creen en los tejidos blandos (hendiduras, recesiones o discrepancias de las dimensiones incisogingivales). Es importante escoger restauraciones del color de los dientes y seleccionar los mejores materiales de adhesión disponibles, ya que en ocasiones algunos materiales producen coloración de los dientes, tatuajes en los tejidos blandos y malos resultados estéticos globales.

PUNTO 4: VISIÓN

Las lentes de aumento, las lámparas frontales y los aparatos de transiluminación facilitan la visión y son muy útiles en el tratamiento de las perforaciones. El microscopio quirúrgico odontológico mejora la visión y predecibilidad de las reparaciones no quirúrgicas y ha disminuido la necesidad de las intervenciones quirúrgicas. Con la visibilidad mejorada que nos permite resulta más fácil realizar intervenciones en zonas de difícil acceso, como son las raíces de premolares y molares, extirpación de pulpolitos que dificulten la entrada a los conductos o la extracción de restos de instrumentos rotos que se localicen en la porción cameral de los conductos [Castellucci, 2003]. Aunque Daoudi y cols. (2002) estudiaron la reparación de

perforaciones de furca con dos materiales distintos, trabajando en unos casos con microscopio quirúrgico y en otros sin él, y llegaron a la conclusión que el tratamiento se realizaba con los mismos resultados con o sin la utilización del microscopio.

PUNTO 5: SECUENCIA DEL TRATAMIENTO

Si se produce una perforación en un conducto abierto en el que el remodelado no es óptimo, antes de proseguir con el tratamiento endodóncico definitivo debe repararse la perforación porque si no el/la odontólogo/a no podrá controlar la hemorragia en el interior del conducto, limitar la irrigación o conseguir una obturación adecuada. Por otra parte cualquier conducto perforado debe ser agrandado y preparado para mejorar el acceso al defecto, aumentar la visualización y minimizar la instrumentación posterior a la reparación. Al reparar una perforación es importante mantener la vía libre del conducto, puesto que las barreras y los materiales de restauración utilizados podrían causar un bloqueo inadvertido del mismo. Para prevenir el bloqueo del conducto puede colocarse apicalmente al defecto un segmento de gutapercha, una bolita de algodón o un tapón de colágeno. Durante las maniobras posteriores de retratamiento, preparación del conducto y obturación hay que tener cuidado y evitar que se rompa el tope de material usado para reparar la perforación.

Benenati y cols. (1986) citan en su estudio los criterios de Stromberg y cols. (1972) para determinar si la reparación de una perforación ha sido un éxito:

- 1- El diente tiene que estar libre de síntomas
- 2- No debe presentar dolor a la percusión, palpación o dolor espontáneo
- 3- No debe tener excesiva movilidad
- 4- No debe persistir comunicación entre el medio oral y la comunicación
- 5- Libre de fístulas orales
- 6- El diente debe preservar su función
- 7- No debe observarse en la radiografía desmineralización ósea próxima a la zona reparada
- 8- El ligamento periodontal de la zona reparada debe permanecer intacto y no más de dos veces más grueso que el que rodea al resto del diente

Asimismo, los autores indican que las complicaciones pueden presentarse en un período de evaluación de 12 a 24 meses. Una vez que existe comunicación con el periodonto la curación se detiene porque están entrando irritantes desde la bolsa periodontal. El desarrollo de complicaciones periodontales en dientes multirradiculares limita las opciones de tratamiento.

Cuando la altura de la cresta de hueso no está comprometida, la reposición apical del colgajo para exponer el defecto o la extrusión ortodóncica del molar o el acceso quirúrgico retrógrado para sellar el defecto pueden surtir efecto. Pero los dientes perforados con comunicación periodontal crónica están limitados a técnicas de regeneración de hueso [Goon y cols., 1995] y a menudo necesitan amputación radicular, hemisección o incluso la extracción del diente.

1.2.3- MATERIALES UTILIZADOS EN LA REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES

Para reparar las perforaciones han sido empleados diversos métodos quirúrgicos y no quirúrgicos. El acceso quirúrgico, si es posible, conduce a la formación de una bolsa periodontal crónica y además queda limitado a defectos que no pueden ser reparados de otra manera, es decir, mediante la colocación intraoral del material de reparación [Oswald, 1979].

ElDeeb (1982) y Balla (1991) correlacionaron el buen pronóstico de las perforaciones reparadas con un sellado adecuado del defecto.

Dado que el material empleado para reparar una perforación ha de estar en contacto íntimo con los tejidos perirradiculares debe presentar una serie de propiedades como son [Ruiz, 2005]:

Facilidad en su manipulación
Biocompatibilidad
Radioopacidad
Inducción a la osteogénesis y la cementogénesis
No contaminación con la hemorragia
No ser irritante
Proporción de un buen sellado marginal
Resorbible en caso de salir fuera de la estructura dentaria

Su biocompatibilidad es esencial para que se produzca el proceso de reparación en la región lesionada [Snyder y cols., 1996] así que debe presentar ciertas características físicas, químicas y biológicas para que no influya negativamente sobre las células que participan del proceso de reparación y que no actúe como un cuerpo extraño favoreciendo el daño [Aguirre y cols., 1986].

El objetivo del tratamiento de las perforaciones de furca es mantener la salud de los tejidos eliminando la inflamación y reestableciendo la pérdida de adhesión periodontal, lo cual es muy difícil de conseguir con los materiales disponibles [Pitt Ford y cols., 1995]. La capacidad de producir regeneración del sistema periodontal es una propiedad deseable para cualquier material que tenga que ser utilizado para obturación de los conductos, apexificación, sellado apical o reparación de perforaciones, es decir, para cualquier proceso en el que sea necesario sellar la comunicación entre el sistema de conductos y los tejidos perirradiculares. Idealmente, cualquier material utilizado en estas situaciones debería, no sólo regenerar hueso, sino también ligamento periodontal y cemento [Thomson y cols., 2003].

El material de reparación ideal debe servir como matriz o barrera contra la cual el material de obturación radicular o de restauración pueda ser colocado y que se resorba completamente durante el proceso de reparación para que sea sustituido por hueso nuevo y sano [Chau y cols., 1997]. El inconveniente de sellar una perforación mediante relleno radica en que no podemos controlar bien el flujo de material de sellado y si el relleno es excesivo, podemos desencadenar una severa inflamación del ligamento periodontal. Por otra parte, si el cemento no sella completamente el defecto, el hueco dejado puede albergar bacterias y productos de degradación tisular [Rodríguez, 2003].

Para el sellado de las perforaciones radiculares han sido utilizados una gran variedad de materiales como:

1. Amalgama [Weisman, 1959; Benson y cols., 1963; ElDeeb y cols., 1982; Benenati, 1986; Alhadainy y cols., 1993a, 1994b; Hong y cols., 1994; Holland y cols., 2005]
2. Gutapercha [Benenati, 1986; Kaufman y cols., 1989]
3. Cavit¹ [Alhadainy y cols., 1993a; ElDeeb y cols., 1982; Jew y cols., 1982; Sinai y cols., 1989; Fayos y cols., 2002]
4. Óxido de cinc-eugenol reforzado con ácido etoxibenzoico [Moloney y cols., 1993]
5. Resinas de composite [Zou y cols., 2006].
6. Ionómero de vidrio [Alhadainy y cols., 1993a, 1993b, 1994b, 1998; Goon y cols., 1995; Fuss y cols., 2000; Daoudi y cols., 2002; Holland y cols., 2005]
7. Fosfato tricálcico (Syntograft)² [Sinai y cols., 1989]

¹ Premier Dental Products Co., Norristown, EEUU

² Johnson and Johnson, East Windsor, EEUU

8. Fosfato de cinc y fosfato de calcio [Chau y cols., 1997]
9. Hojas de indio con amalgama [Aguirre y cols., 1986]
10. Hidróxido de calcio [EIDeeb y cols., 1982; Alhadainy y cols., 1993b; Holland y cols., 2005]
11. MTA (ProRoot MTA)³ [Lee y cols., 1993; Pitt Ford y cols., 1995; Arens y cols., 1996; Hong y cols., 1994; Holland y cols., 2001a, 2005; Daoudi y cols., 2002; Hsien y cols., 2003; Main y cols., 2004; Ferris, 2004; Hardy y cols., 2004; Bargholz, 2005; Ghoddsi y cols., 2007]
12. MBP-c (una resina epóxica con hidróxido de calcio) [Silva Neto, 2003; Cintra y cols., 2006]
13. Hueso congelado desecado-descalcificado [Hartwell y cols., 1993]

El tipo de material usado es probablemente menos importante que lo bien que se haya sellado la perforación para prevenir la filtración. De hecho, Peix (1998) muestra dos casos clínicos en los que dientes con perforaciones localizadas en el tercio medio son instrumentados y obturados convencionalmente con cemento AH 26 y gutapercha y los dientes se curan completamente.

1.2.3.1- Amalgama de plata

Durante muchos años la amalgama de plata ha sido utilizada como material de retroobtención [Delivanis y cols., 1978; Abdal y cols., 1982; Vertucci y cols., 1986; Safavi y cols., 1988; Bondra y cols, 1989; King y cols., 1990; Robinson y cols., 1993; Adamo y cols., 1999; Aqrabawi y cols., 2000; Aranguren y cols., 2003; Balto, 2003; Asrari y cols., 2003]. Presenta una excelente tolerancia tisular y son bien conocidas sus propiedades de sellado en odontología restauradora [Delivanis y cols., 1978]. También presenta una serie de desventajas como son [Johnson, 1999]:

- 1- Toxicidad, si no es debidamente manipulada
- 2- Expansión
- 3- Corrosión
- 4- Tinción de los tejidos
- 5- Filtración marginal

Otros autores [Torabinejad y cols., 1993; Torabinejad y cols., 1994; Howard y cols., 2001; Aranguren y cols., 2003] destacan además de las anteriores:

- 1- Filtración inicial
- 2- Contaminación por mercurio y estaño
- 3- Sensibilidad a la humedad

³ Denstplay Tulsa Dental, Tulsa, EEUU

4- Diseminación de partículas de amalgama por el hueso.

5- Necesidad de preparar retenciones en la preparación de la cavidad

A pesar de todos estos inconvenientes, presenta una biocompatibilidad aceptable [Maher y cols., 1992; Robinson y cols., 1993] y se ha demostrado que permite la adhesión celular una vez colocada en una cavidad retrógrada [Safavi y cols., 1988]. La tinción de tejidos se evita con una manipulación controlada [Johnson, 1999].

No se ha demostrado toxicidad local o sistémica. Así, Longos y cols. (1993) no hallaron destacable la cantidad de mercurio liberado en obturaciones apicales obturadas con amalgama. Sin embargo, un estudio llevado a cabo por Tai y cols. (2000) demostró que la amalgama, por la corrosión que produce y por los metales que contiene en su composición, es citotóxica para células derivadas del ligamento periodontal humano. Aunque los autores también concluyeron que esos efectos citotóxicos no muestran evidencias clínicas y el huésped normalmente se sobrepone a los efectos irritantes.

La amalgama de plata presenta en su composición plata, cobre, estaño y mercurio. La corrosión se ha definido como la tendencia natural de la mayoría de los metales a recuperar su forma natural mediante oxidación. Se trata de un proceso electroquímico que requiere una solución de electrólitos en un medio acuoso [Arens y cols., 1998].

Se ha demostrado que la capa de corrosión que se crea con el tiempo sobre su superficie aumenta el sellado de los márgenes de la preparación, de forma que el sellado que se obtiene con amalgama aumenta con el tiempo. La amalgama también presenta como ventaja el hecho de que no es reabsorbible. Sin embargo existen algunas contraindicaciones para su uso, ya que si es utilizada para reparar perforaciones labiales cerca del área gingival de la superficie radicular puede aparecer una discoloración oscura [Delivanis y cols., 1979].

Benenati y cols. (1982) compararon los resultados que se obtenían al reparar perforaciones radiculares iatrogénicas con amalgama o con gutapercha con técnica de condensación vertical y obtuvieron mejores resultados con amalgama, con la que se consiguió menor resorción ósea interradicular. Observaron que con gutapercha se producían más casos de extrusión de material (79% frente a 43% de casos con amalgama sobreobturada) y esto condujo a un mayor número de fracasos. Estos resultados coinciden con EIDeeb y cols. (1982), quienes también obtuvieron mejores resultados con amalgama en perforaciones de furca y difieren de los obtenidos por Alhadainy y cols. (1993a), quienes observaron que al reparar perforaciones de furca con

amalgama se obtuvieron muy malos resultados, puesto que los defectos de las raíces no presentan unas paredes donde pueda condensarse bien y apareció como una masa no homogénea y escasamente condensada. Se produjo sobreextensión de material en el espacio del hueso interradicular, lo cual creó un daño irreversible a pesar de que el material fuera biocompatible.

También en el estudio llevado a cabo por Nakata y cols. (1997, 1998) se obtuvieron peores resultados para la amalgama en comparación con el MTA en reparaciones de perforaciones de furca, puesto que en 8 de las 18 muestras obturadas con amalgama se observó filtración de *Fusobacterium nucleatum*.

La amalgama se ha utilizado sola o combinada con un barniz cavitario, como Copalite⁴. Muchos autores han demostrado cómo se mejora la capacidad de sellado de la amalgama colocando primero un barniz [Abdal y cols., 1982], aunque King y cols. (1990) observaron en su estudio que la amalgama con Copalite filtró menos durante las tres primeras semanas, pero después esto cambia y es la amalgama sola la que tiene una menor filtración, seguramente debido a la disolución del barniz. Ambas mostraron unos resultados adecuados.

También mejora los resultados de sellado si, antes de obturar el defecto, se coloca una matriz que impida la extrusión de la amalgama fuera de los límites de la zona a reparar [Rafter y cols., 1996].

1.2.3.2- Cemento de óxido de cinc-eugenol reforzado (EBA)

Moloney y cols. (1993) observaron los mejores resultados al reparar perforaciones radiculares laterales con EBA que con amalgama con barniz y con ionómero de vidrio reforzado con plata (Ketac Silver⁵), el cual mostró el peor resultado de los tres, posiblemente debido a la dificultad de condensar este material en la perforación. El estudio no duró suficiente tiempo como para permitir a la amalgama corroerse de forma que aumentara su capacidad de sellado [Delivanis y cols., 1978]. Estos resultados en cuanto a la capacidad de sellado del óxido de cinc reforzado coinciden con otros estudios en los que ha sido comparado con otros materiales. En el estudio de King y cols. (1990) superó también a la amalgama y al ionómero reforzado con plata en el sellado de obturaciones apicales. Szeremeta-Browar y cols. (1985) compararon las propiedades de sellado de diferentes técnicas de obturación retrógrada. En los resultados obtenidos: el mejor

⁴ Cooly & Cooly, Ltd., Houston, EEUU

⁵ 3M ESPE, Seefeld, Alemania

sellado apical se produce en el grupo obturado con óxido de cinc reforzado SuperEBA⁶, seguido por el grupo que únicamente presentaba la obturación del conducto radicular con gutapercha mediante la técnica de condensación lateral; el peor sellado se produjo con la gutapercha fría bruñida y con la amalgama libre de cinc. Bondra y cols. (1989), realizaron un estudio para determinar la filtración *in vitro* de la amalgama de plata con Copalite, óxido de cinc eugenol IRM⁷ y EBA, utilizando como marcador tinta india. EBA obtuvo 100% de casos aceptables.

El EBA es óxido de cinc-eugenol al que se le añade alúmina para aumentar la fuerza de compresión, disminuir el grosor de capa y ser menos soluble, y también contiene ácido ortoetoxibenzoico, que ayuda a reducir la cantidad de eugenol y lo hace más tolerable por los tejidos radiculares. Ejerce un efecto quelante sobre el calcio de la dentina para mejorar la adherencia a la estructura dentaria. Se adhiere bien a sí mismo, por lo que puede ser compactado capa sobre capa, no como el óxido de cinc eugenol que debe ser compactado en una sola masa y no en incrementos [Fitzpatrick, 1997; Fayos y cols., 2002].

La composición del EBA por envase es [Budairon, 1991; Anderson, 1988]:

POLVO	Óxido de cinc (reactivo principal)	60-74 gramos
	Cuarzo fundido (refuerza las cualidades mecánicas)	20-34 gramos
	Resina natural (hidrogenada: disminuye la solubilidad hasta el 0,04%)	6 gramos
LÍQUIDO	Eugenol (reactivo principal)	37,5 ml
	Ácido Ortoetoxibenzoico (reactivo principal)	62,5 gramos

⁶ Staident Internacional, Staines, Inglaterra

⁷ Dentsply International, York, EEUU

Presenta una toxicidad moderada cuando está en estado fresco, probablemente por la presencia del eugenol [Torabinejad y cols., 1995e]. Pero la citotoxicidad disminuye cuando empieza a fraguar y su potencial inflamatorio es mínimo. Ha sido ampliamente estudiado en tratamientos de retroobtusión [Bruce y cols., 1993; Pitt Ford y cols., 1995a; Trope y cols., 1996; Fayos y cols., 2002]. Presenta buenos resultados en estudios de filtración, estudios con animales y estudios retrospectivos en humanos [Olsen y cols., 1994; Testori y cols., 1999]. El SuperEBA proporciona un sellado óptimo, mínima toxicidad en los tejidos y buenas características de manipulación cuando se mezcla adecuadamente. Es difícil de mezclar, requiere más esfuerzo y práctica que muchos otros materiales de retroobtusión. Se comporta muy bien en cuanto al sellado y capacidad antibacteriana [Aranguren y cols., 2003] y como antiinflamatorio y analgésico suave de los tejidos periapicales gracias a cierto efecto anestésico local que posee el eugenol [Markowitz y cols., 1992].

1.2.3.3- Hueso congelado desecado-descalcificado

Hartwell y cols. (1993) estudiaron la capacidad de este material para reparar perforaciones de furca. A pesar de ser un material biocompatible, fácil de obtener y de utilizar y que es degradado durante el proceso de reparación presentó como los siguientes inconvenientes: no indujo la osteogénesis ni la cementogénesis, no fue sustituido por hueso sano y apareció epitelio inmediatamente por debajo de la zona de la perforación. No se observó formación de hueso en ninguna de las muestras.

1.2.3.4- Ionómero de vidrio

Presentan las mejores propiedades de los cementos de silicato, composite y policarboxilato [Meryon y cols., 1983]:

1. Alta resistencia a la abrasión
2. Anticariogénicos por liberación de iones de flúor del silicato
3. Escasa expansión
4. Estética
5. Resistencia al ataque ácido
6. La resistencia de las resinas de composite
7. Capacidad de unirse directamente a la estructura dentaria
8. Inhibición de la microfiltración

9. En su composición encontramos [Budairon, 1991]:

POLVO	Silicato complejo de aluminio y calcio
	Fluoruro de calcio
LÍQUIDO	Homopolímero de ácido acrílico (a veces reemplazado por ácido polimaleico)
	Ácido itacínico
	Ácido tartárico

A veces el ácido está liofilizado y aparece incorporado al polvo, con lo que el líquido es agua destilada.

Según su uso los ionómeros de vidrio se clasifican en [Graham y cols., 1998]:

	TIPO I (CEMENTADO)	TIPO II (RESTAURACIÓN) ESTÉTICOS	TIPO II (RESTAURACIÓN) REFORZADOS	TIPO III (BASE)
USO	Cementado de coronas, puentes, inlays, ortodoncia	Restauraciones estéticas	Necesidad de propiedades físicas	- Barrera térmica bajo restauraciones - Sustituto de dentina combinado con composite en la técnica incremental
FRAGUADO	Rápido	Autocurado rápido	Rápido	Rápido
POLVO / LÍQUIDO	1,5/1	3/1 ó más	3/1 ó más	3/1 ó más
RADIOOPACO	Generalmente	Generalmente	Siempre	Siempre
ESPESOR DE CAPA	< 20 micrómetros			

Alhadainy y cols. (1993b) y Himel y cols. (1993) compararon la capacidad de sellado de hidróxido de calcio y ionómero de vidrio fotopolimerizables y autopolimerizables para reparar

perforaciones de furca. Los mejores resultados se obtuvieron con los cementos de fotocurado, puesto que presentaban mayor fluidez y con ello mejor adaptación a las paredes de la dentina. Por otra parte, el hecho de que fraguaran con luz permitió un mejor control del material y la zona a reparar, puesto que su rápida polimerización disminuyó la posibilidad de que fueran contaminados con humedad.

Fuss y cols. (2000) en un estudio de filtración de fluidos observaron que con el ionómero de vidrio se sellaron mejor las perforaciones de furca comparándolo con la amalgama. Estos resultados coinciden con Alhadainy y cols. (1993a), quienes al comparar amalgama, Cavit y ionómero de vidrio fotocurable para reparar perforaciones de furca observaron que el material que selló mejor fue el ionómero de vidrio. Al ser un material que se coloca fluido sobre el defecto a reparar se consigue que llegue hasta la parte más apical de la perforación. Además, el hecho de ser fotopolimerizable hace que endurezca rápidamente y disminuye la capacidad de la humedad para interferir en el fraguado y producir filtración. El siguiente material que obtuvo mejores resultados fue el Cavit. Al ser un material hidrofílico la humedad próxima a la reparación permite el endurecimiento apical y la técnica de condensación con un algodón húmedo, el endurecimiento coronal. Por último, los peores resultados se obtuvieron con la amalgama, porque no puede condensarse bien en un defecto sin paredes, obteniéndose como resultado una masa no homogénea y escasamente condensada. Tanto el Cavit como la amalgama presentaron sobreextensión de material en el espacio del hueso interradicular, lo que conlleva a un daño irreversible de los tejidos aunque se utilicen materiales biocompatibles. En las muestras reparadas con ionómero de vidrio éste fluyó sobre la superficie radicular, no en el espacio del hueso interradicular.

Makkawy y cols. (1998) comprobaron que al utilizar un ionómero de vidrio como material de reparación de una perforación radicular se produce mejor respuesta de las células del ligamento periodontal que con la amalgama de plata.

1.2.3.5- Fosfato de calcio

El fosfato de calcio presenta en su composición fosfato de tetracalcio y fosfato dicálcico dihidratado, que reaccionan con agua para formar hidroxiapatita, el compuesto principal de huesos y dientes, lo cual lo convierte en un material altamente biocompatible cuya aplicación está indicada en los casos en los cuales el cemento ha de estar en contacto con tejidos vitales [Fukase y cols., 1990].

Chau y cols. (1997) utilizaron en su estudio fosfato de calcio como material de reparación y como matriz antes de colocar el ionómero de vidrio para reparar perforaciones de furca. En sus resultados finales obtuvieron resultados similares entre los tres grupos, pero concluyeron que lo ideal sería eliminar los restos de fosfato de calcio de la dentina, cuando se utiliza como matriz y antes de colocar el ionómero de vidrio, y grabar la dentina.

En este estudio las muestras de ionómero de vidrio no presentaron extrusión de material, a diferencia del estudio de Aldahainy y cols. (1993a), seguramente porque lo colocaron con una consistencia más viscosa.

En algunas muestras de fosfato de calcio (en todas en las que se utilizó como material reparador y en 8 de 10 de las que se utilizó como matriz) se observó extrusión del material, el cual estimula la reparación de hueso y después sufre un proceso de resorción. Según los resultados de este estudio, el cemento de fosfato de calcio presenta capacidades de sellado similares al ionómero de vidrio fotopolimerizable. Su uso como matriz muestra buenos resultados, sobre todo si eliminamos los restos de las paredes de dentina para aumentar la adhesión del ionómero a las mismas. Sin embargo Balla y cols. (1991) no observaron formación de nuevo tejido tras reparar una perforación de furca con hidroxiapatita o fosfato tricálcico.

Según Fukase y cols. (1990) el cemento de fosfato de calcio no presenta resultados favorables en cuanto a tiempo de fraguado (4 horas) y fuerza. La única ventaja es su composición, casi idéntica al diente y al hueso. Al mezclarse con agua forma hidroxiapatita. Su alta biocompatibilidad los hace un material útil en las aplicaciones donde el cemento ha de estar en contacto con los tejidos vitales.

1.2.3.6- Cavit

Cavit es un cemento provisional que contiene óxido de cinc, sulfato cálcico, acetato glicólico, polivinil acetato, polivinil cloracetato, trietanolamina y pigmentos. La reacción de fraguado es higroscópica y se inicia en parte por la saliva con la reacción que se produce entre el agua y los componentes del cemento [Jew y cols., 1982].

ElDeeb y cols. (1982) estudiaron tres materiales para reparar perforaciones de furca en molares y premolares de perros; la amalgama obtuvo mejores resultados que el Cavit y el hidróxido de calcio en la formación de hueso y el sellado de la perforación. La mayor reacción inflamatoria y resorción ósea se obtuvo con el hidróxido de calcio. La menor resorción de hueso se produjo con

la amalgama y con el Cavit. Con el Cavit se observó menos infiltrado de células inflamatorias al tejido periodontal.

Cuando Delivanis y cols. (1978) compararon el Cavit con la amalgama y con un cemento de policarboxilato para sellar obturaciones apicales observaron que los mejores resultados se obtuvieron con la amalgama, la cual aumentaba su sellado a lo largo del tiempo. De hecho, las obturaciones de amalgama presentaron una perfecta adaptación a las paredes de dentina y una excelente integridad de los márgenes, lo que no ocurría con los otros dos materiales estudiados. De hecho, a los seis meses, tanto el cemento de policarboxilato como el Cavit mostraron la mayor filtración. Esto pudo ser debido a la desintegración y disolución del Cavit a causa de los fluidos tisulares o a su resorción.

Jew y cols. (1982) investigaron la reacción del periodonto al reparar perforaciones laterales con Cavit y también observaron lo que ocurría al no repararlas. Al colocar el Cavit se produjo extravasación de material. A partir de los 60 días se formó una fina línea radiolúcida alrededor de los excesos de material que terminó con la formación de una cápsula. Posteriormente, se observó destrucción ósea y zonas de resorción radicular. En algunos casos se fracturó el Cavit que sobrepasaba la raíz y se quedó el fragmento en los tejidos periodontales, lo cual pudo no llegar a influir negativamente en el proceso de reparación mientras se pudiera mantener el sellado en la zona de fractura. En algunos de los dientes que no habían recibido material que reparara la fractura se observaron los mejores resultados.

En las fracturas cercanas al área cervical y al surco gingival se produjo la destrucción de las estructuras periodontales (ligamento periodontal, hueso alveolar y fibras supracrestales), así como una migración apical del epitelio sulcular con pérdida de hueso alveolar. Se formó un defecto periodontal avanzado con absceso.

Cuando la perforación de las raíces que no recibieron sellado se localizó en el tercio medio se produjo cicatrización. El hueso y el ligamento periodontal presentaban una barrera adecuada frente a la destructiva reacción inflamatoria producida tras la perforación, y la integridad del periodonto se mantuvo mientras se curó la inflamación y se produjo un intento de reparación mediante fibrosis. Si éste área estaba en realidad reparada o no se planteó como objeto de futuras investigaciones. Las raíces reparadas con Cavit presentaron encapsulación fibrosa con fibras de tejido conjuntivo paralelas a la superficie del cemento. El ligamento periodontal empezó a regenerar a partir del día 30 con fibras de colágeno orientadas paralelas a la superficie radicular y continuando con las fibras de colágeno de la cápsula que envolvía al Cavit. Las

resorciones radiculares y de cemento se repararon con depósitos de cemento secundario y en algunos casos se produjo anquilosis, lo cual no es deseable puesto que impide la regeneración de ligamento periodontal.

En los días 120 a 180, 5 de las raíces con perforaciones localizadas en el tercio coronal se rodearon de una cápsula epitelial que se extendía desde el epitelio del surco hasta debajo del defecto, lo que produjo una lesión periodontal. Por tanto concluyeron que Cavit parece presentar un potencial inflamatorio moderado, que todas las fracturas a nivel del tercio coronal sean o no reparadas presentan un mal pronóstico, de acuerdo con Seltzer y cols. (1970), y que las resorciones de raíz y de cemento se reparan si las perforaciones están bien selladas.

El Cavit ha sido comparado con el fosfato tricálcico para el tratamiento de las perforaciones endodóncicas [Sinai y cols., 1989]. Como no presentó mejores resultados que Cavit, concluyeron que el fosfato tricálcico no es el material de reparación ideal. Ambos presentaron períodos de formación de hueso en el mes que duró el estudio y concluyen que, posiblemente, en períodos más largos de tiempo se formaría mayor cantidad de hueso. A pesar de que Cavit presentó algo de inflamación, esto no produjo secuelas en la formación de hueso. Estos resultados coinciden con Fayos y cols. (2002) en un estudio *in vitro* donde compararon IRM, SuperEBA y Cavit para ver su capacidad de sellado apical y observaron que el Cavit era superior a ambos cementos de óxido de cinc-eugenol.

1.2.3.7- Hemostáticos

Es importante controlar la hemorragia para conseguir un campo quirúrgico seco que facilite la visión y cree un ambiente favorable para colocar con éxito la restauración. El hidróxido de calcio puede introducirse con una jeringa en el interior del conducto radicular, desplazándolo hidráulicamente y dejando que permanezca en el conducto y en el defecto durante 4 ó 5 minutos o más. A continuación se elimina mediante una irrigación con hipoclorito sódico. Suelen ser suficientes dos o tres maniobras de aplicación y eliminación de hidróxido de calcio. Cuando no se consigue la hemostasia, se puede dejar el hidróxido de calcio en el conducto hasta una visita posterior.

Algunos de los mejores hemostáticos, como el sulfato férrico [Lemon, 1993; Jeansonne, 1993], tras actuar, dejan un coágulo que puede favorecer la proliferación de bacterias; si no es eliminado por completo, daña el hueso y retrasa la cicatrización; pone en peligro el sellado entre el diente y la interfase de la restauración y empeora el pronóstico [Cohen y cols., 2002].

1.2.3.8- Materiales barrera

Lo más importante a la hora de tratar una perforación es la hemostasia y la colocación de un material de restauración que proporcione un campo seco y un tope donde puedan condensarse los materiales de restauración [Baker y cols., 1996].

Uno de los grandes problemas de la mayoría de los materiales es que es difícil limitar su colocación en el trayecto de la perforación debido a la falta de un tope en el momento de la condensación de los mismos, así que se produce una extravasación hacia el espacio periodontal, lo cual puede influir negativamente en la reparación del área perforada y la recuperación de la adhesión de los tejidos periodontales [Mittal y cols., 1999; Silva Neto y cols., 2003].

Según Cohen y cols. (2002), los materiales barrera pueden clasificarse en resorbibles y no resorbibles.

1.2.3.8.1- Materiales barrera resorbibles

Sirven para controlar la hemorragia interna en un diente con perforación a través de la cavidad de acceso e internamente a través de las perforaciones. Estos materiales están pensados para ser colocados en hueso y no en el interior de la estructura dental. La barrera debe ajustarse a la anatomía de la bifurcación de la superficie radicular afectada.

Los materiales más empleados son:

A- Materiales similares al colágeno:

Presentan excelentes propiedades funcionales que producen una hemostasia completa. Sirven de sostén para el crecimiento de tejidos nuevos. Su utilidad en regeneración tisular guiada en defectos periodontales está ampliamente demostrada [Chung, 1990], así como su biocompatibilidad [Johns y cols., 1992]. Según el defecto que se va a tratar y el acceso disponible se recortan trozos de un tamaño adecuado y se llevan a la cavidad de acceso. El material se coloca en el diente en incrementos y en el interior del defecto óseo hasta conseguir una barrera sólida que se corresponda con la cavosuperficie de la raíz. La hemostasia se consigue en dos a cinco minutos. Las barreras de colágeno se han utilizado junto con amalgama, Super EBA, MTA y otros

materiales de restauración no cementables y están contraindicadas con la técnica “adhesiva” puesto que absorben humedad y contaminarían la restauración [Cohen y cols., 2002].

Bargholz (2005) realizó la reparación de una perforación lateral iatrogénica ocurrida durante la colocación de un poste. Lo primero que hizo fue colocar pequeñas piezas de colágeno en el interior de la perforación a través del conducto principal para empujar fuera de la perforación el tejido de granulación que había penetrado desde el espacio perirradicular. De esta manera, con la matriz de colágeno consiguió recrear la forma externa de la superficie radicular. Después colocó el MTA contra la matriz de colágeno y una torunda de celulosa húmeda para que el MTA terminase de fraguar (en lugar de utilizar algodón para evitar que fibras del mismo quedasen adheridas a la superficie de MTA) con una restauración provisional. Finalmente, el conducto radicular se obturó completamente y el diente se restauró. Tanto al año como a los 5 años del tratamiento se observó una cicatrización completa, con ligamento periodontal y formación de hueso nuevo sobre el defecto.

B- Sulfato cálcico

El yeso París (sulfato de calcio: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) puede utilizarse como barrera y también como agente hemostático. Crea un efecto de obturación y, una vez ha fraguado, ocluye mecánicamente los conductos vasculares. Es biocompatible, estable, fácilmente esterilizable, no favorece la inflamación y su tasa de resorción coincide con la tasa de formación de nuevo hueso (se resorbe en dos a cuatro semanas). Además, acelera la tasa de mineralización de hueso nuevo proporcionando una fuente de iones de calcio para un rápido proceso de mineralización [Bahn, 1966]. Durante el proceso de colocación llena el defecto óseo y parte del espacio existente en el interior del defecto radicular. Fragua rápidamente y puede eliminarse de la superficie radicular externa con ultrasonidos [Cohen y cols., 2002].

Los mayores problemas a la hora de reparar una perforación de furca son la capacidad de sellado del material y la extrusión del mismo al espacio perirradicular. Por ello, Alhadainy y cols. (1993c, 1994b) evaluaron la si la colocación de una barrera de yeso París bajo la amalgama y el ionómero de vidrio mejoraba su capacidad de reparación de perforaciones de furca. En sus resultados finales observaron que la barrera de yeso París impidió la sobreextensión de la amalgama y del ionómero de vidrio al espacio interradicular, aunque los datos finales observaron que los resultados fueron de mejor a peor:

1º- Ionómero de vidrio

2º- Ionómero de vidrio + barrera de yeso París

3º- Amalgama

4º- Amalgama con tope de yeso París

Los mejores resultados se obtuvieron con el ionómero de vidrio solo debido a su capacidad de fluir hasta la zona apical de la perforación, su capacidad de adherirse a la dentina y a que se trata de un material fotopolimerizable, lo que disminuyó la interferencia de la humedad en el proceso de reparación. Con una barrera de yeso París bajo el ionómero de vidrio observaron que disminuía la capacidad de adhesión del mismo debido a la presencia de partículas de yeso entre el ionómero de vidrio y la dentina, lo cual afectó a su fraguado. Pero la eliminación de dichas partículas aumentaría la adhesión del ionómero de vidrio y su capacidad de sellado.

También en el estudio llevado a cabo por Jantarat y cols. (1999) en el que se comparó la filtración de *Streptococcus sobrinus* en perforaciones de furca reparadas con ionómero de vidrio y amalgama de plata solos o con matriz de yeso París, los mejores resultados se obtuvieron con ionómero de vidrio reforzado con plata (Ketac Silver), aunque en este caso la matriz de yeso París sí mejoro el sellado de la amalgama. Todos los materiales acabaron filtrando, aunque el que más tarde lo hizo fue el Ketac Silver en el día 22.

Mittal y cols. (1999) estudiaron el yeso París como barrera antes de colocar materiales de restauración de perforaciones de furca. Después de introducirlos en azul de metileno al 2% durante dos semanas, el resultado fue de mejor a peor:

1º- AH26⁸

2º- IRM

3º- Resina de composite autopolimerizable (Compo-Kimia)⁹

4º- Ionómero de vidrio condensable (Fuji II¹⁰)

5º- Amalgama

El grado de penetración de colorante indica la separación entre la dentina y el material, lo cual permite la penetración de endotoxinas bacterianas y sus subproductos. El AH26 tuvo los mejores resultados posiblemente debido a sus características de fluidez, menor contracción volumétrica y buenas propiedades adhesivas. La presencia de partículas de yeso París influyó más en el

⁸ Dentsply International, York, EEUU

⁹ Rihani International, Cranston, EEUU

¹⁰ G. C. Corporation, Tokio, Japón

sellado de los materiales que fueron condensados que los que fluyeron y humedecieron todo el defecto.

Los resultados de los estudios anteriores difieren, sin embargo, con los obtenidos por Alhadainy y cols. (1998), donde se observan mejores resultados en la reparación de perforaciones de furca utilizando una matriz, de hidroxiapatita en unos casos y yeso París en otros, antes de colocar el ionómero de vidrio. Con ambos se evitó la extrusión del ionómero de vidrio al espacio interradicular, aunque los mejores resultados se obtuvieron con la matriz de yeso París. En este caso, el hecho de colocar un algodón húmedo entre las raíces para simular condiciones fisiológicas influyó negativamente en el fraguado del ionómero de vidrio solo, lo cual pareció no ocurrir en su estudio de 1994b. Después de colocar la base de hidroxiapatita en unas muestras y de yeso París en otras, las paredes de dentina fueron limpiadas lo cual permitió al ionómero de vidrio fluir y adherirse a la superficie de dentina creando un buen sellado. Los autores concluyeron que los materiales utilizados para crear la matriz presentan una alta permeabilidad por lo que el sellado depende enteramente del ionómero de vidrio, así que el utilizar sobre esta matriz un material condensable como la amalgama podría dar también buenos resultados. Y que además, el hecho de que tanto la hidroxiapatita como el yeso París sean tan permeables no hace posible el grabado ácido de la dentina antes de colocar el ionómero de vidrio, dado que el ácido podría pasar a los tejidos periodontales a través de los materiales utilizados como tope.

Silva-Neto y cols. (2003) realizaron un estudio para investigar la capacidad de cuatro materiales para reparar perforaciones de furca en molares extraídos humanos. Los materiales se utilizaron en algunos casos solos y en otros combinados con yeso París para crear un tope al final de la perforación e impedir de esta manera la extravasación de material. Se utilizaron para ello 88 especímenes. Los molares se distribuyeron en 4 grupos de 20 cada uno y 4 dientes control positivo y 4 control negativo:

GRUPOS	10 MOLARES OBTURADOS	10 MOLARES OBTURADOS
1	MTA Angelus	Yeso París MTA Angelus
2	MTA Proroot MTA	Yeso París MTA ProRoot MTA
3	SuperEBA	Yeso París SuperEBA
4	MBP-c	Yeso París MBP-c

En los resultados finales, en los casos en los que no se utilizó el yeso París, los mejores resultados se obtuvieron con MBP-c, seguido de SuperEBA y luego MTA Angelus y Proroot MTA. Con yeso París se obtuvieron peores resultados de filtración, y también en este grupo MBP-c fue superior al resto de cementos.

Zou y cols. (2007) estudiaron el efecto del sulfato de calcio como matriz cuando es utilizado bajo composite para reparar perforaciones de furca de diferentes diámetros y comprobar así si existe relación entre el tamaño de la perforación y la efectividad de colocar una matriz antes del material restaurador. Eligieron la resina de composite por ser un material de uso habitual en la clínica dental y porque se había demostrado la superioridad de los materiales fotocurables sobre los quimiocurables en el sellado de perforaciones del suelo de la cámara pulpar [Alhadainy y cols., 1993b]. El sulfato de calcio se mezcló con agua estéril y fue colocado y condensado en las perforaciones hasta que se creó una sólida base bajo las mismas. Los excesos de material fueron eliminados del nivel externo de la perforación con un excavador. Después, se colocó resina de composite, tratando antes la zona con Primer 20 segundos y secándolo después con aire, y adhesivo fotopolimerizado durante 10 segundos. Después se fue colocando el composite por capas, fotopolimerizando 40 segundos cada una. En los resultados finales observaron que la barrera de sulfato de calcio incrementó la capacidad de sellado del composite en perforaciones de 1 mm, pero no tuvo efecto en los defectos de 1,5 mm.

Hashem y cols. (2008) compararon la microfiltración en perforaciones de furca reparadas con ProRoot MTA con o sin matriz, MTA Angelus con o sin matriz e IRM con o sin matriz. Los resultados fueron de menor filtración a mayor filtración:

ProRoot MTA con/sin matriz = MTA Angelus+matriz < MTA Angelus = IRM+matriz < IRM.

Los resultados mostraron que ProRoot MTA con y sin matriz presentó mejores resultados que el MTA Angelus, el cual presenta diferente composición, ya que no contiene sulfato de calcio y contiene menos óxido de bismuto para disminuir el tiempo de fraguado, según los fabricantes, pero presenta peor adaptación y por eso necesita una matriz.

Al-Daafas y cols. (2008) repararon perforaciones de furca de perros contaminadas con saliva con MTA con y sin matriz de sulfato de calcio y demostraron que la matriz no impidió la migración epitelial dentro del defecto y no ayudó a la regeneración ósea, así que recomiendan no utilizar el sulfato de calcio como matriz junto con el MTA. Los mejores resultados se obtuvieron con el MTA solo.

2.3.8.2- Materiales barrera no resorbibles

En este apartado se encuentra un material que lleva un tiempo relativamente corto entre las alternativas terapéuticas al problema de las perforaciones, el MTA (mineral trióxido agregado), al que se le dedica un apartado propio dado que es el objeto de la presente investigación.

MTA es un producto con excelente biocompatibilidad para los tejidos [Torabinejad y cols., 1995e; Osorio y cols., 1998; Koh y cols., 1998; Keiser y cols., 2000; Balto y cols., 2003-2004], que puede utilizarse como barrera no resorbible y también como material de restauración. Presenta numerosas aplicaciones clínicas [Torabinejad y cols., 1999; Esté y cols., 2000; Peydro y cols., 2004b] y constituye un gran avance en el tratamiento de las perforaciones radiculares [Lee y cols., 1993; Arens y cols., 1996; Holland y cols., 2001a; Ferris y cols., 2004; Hsien y cols., 2003; Main y cols., 2004]. Es la barrera de elección cuando existe una posible contaminación húmeda [Torabinejad y cols., 1994] o restricciones de visibilidad o de acceso técnico. Además, puede utilizarse como material de restauración radicular único [Maroto-Edo y cols., 2004] o bien como barrera contra la cual condensar otro material [Rocamora y cols., 2001].

2

MTA:

Revisión bibliográfica

El MTA (ProRoot MTA) es como se conoce ya popularmente a un agregado de trióxidos o conglomerado de partículas de aspecto mineral que se presenta en forma de polvo fino que solidifica en presencia de agua en un gel coloidal en aproximadamente 4 horas. Se trata de un cemento cuyas primeras referencias bibliográficas son de 1993 [Bruce, 1993; Higa y cols., 1993; Hong y cols., 1993; Lee y cols., 1993; Soluti y cols., 1993; Torabinejad y cols., 1993] y que apareció como un nuevo material para utilizar en diferentes campos de la Endodoncia como son el recubrimiento pulpar [Aeinehchi y cols., 2003] y las pulpotomías, la obturación apical en dientes con ápice abierto [Hayasi y cols., 2004], el sellado de la cámara pulpar en tratamientos de blanqueamiento interno [Cummings, 1995], la reparación de perforaciones radiculares [Zabalegui, 2005] y la obturación apical retrógrada [Tomé y cols., 2003], ya que por sus propiedades biológicas y químicas ha sido presentado como un material de obturación ideal [Schwartz y cols., 2005; Shabahang y cols., 2005]. Por sus ventajas y aplicaciones clínicas merece estar incorporado en la enseñanza universitaria de pregrado y postgrado y en la práctica clínica diaria [Pitt Ford, 2007].

El MTA fue aprobado en 1998 para su uso en humanos por la FDA (US Food and Drug Administration) y en 1999 se inició su comercialización por la empresa Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, Oklahoma, EEUU, con el nombre ProRoot MTA.

2.1- PROPIEDADES QUÍMICAS

Torabinejad y cols. (1995c), comprobaron que las principales moléculas presentes en el MTA son iones de calcio y fósforo, lo cual le confiere biocompatibilidad con los tejidos del organismo. Estos iones aparecen en forma de:

CRISTALES	ESTRUCTURA AMORFA
87% calcio	33% calcio
2,47% sílice	49% de fósforo
oxígeno	2% carbono
	3% cloro
	6% sílice

Y se pueden dividir en dos fases: óxido de calcio y fosfato de calcio.

Sus componentes principales son:

Silicato tricálcico
Aluminato tricálcico
Óxido tricálcico
Óxido de bismuto

Silva y cols. (2000) llevaron a cabo un análisis fisicoquímico del MTA utilizando difracción de Rx, calorimetría y microscopía electrónica de barrido. En dicho estudio observaron que los componentes del MTA se podían dividir en:

18,8% de material insoluble en agua
90% de óxido de calcio
0,38% de óxido de magnesio

Se trata de un complejo alcalino que destaca por su gran contenido en iones calcio ligados químicamente a: Mg, Al, Si y O.

El MTA también ha sido estudiado mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido por García y cols. (2000). Con los rayos X no se puede conocer la naturaleza de los compuestos que se encuentren en una proporción inferior al 5%, lo que no ocurre con el microscopio electrónico, con el cual se puede obtener una información cualitativa de todos los componentes aunque estén en cantidades minoritarias. En sus resultados hallaron mediante los rayos X los siguientes componentes:

Óxido de bismuto
Silicato tricálcico
Silicato bicálcico
Ferrito-aluminato tetracálcico
Aluminato tricálcico

Pero además, con el microscopio electrónico se encuentran:

Óxido de magnesio
Sulfato cálcico dihidratado (yeso)

En sus conclusiones finales nos dicen que se trata del mismo compuesto que el cemento Portland¹¹, el cual presenta las propiedades de adherirse a diferentes materiales y ser una barrera física impermeable cuando fragua, excepto por el óxido de bismuto que se añade al MTA para darle radioopacidad y suavizar la mezcla de cemento, con lo que se obtiene una masa homogénea y más fácil de manipular.

El cemento Portland es producto de la mezcla de piedra caliza y arcilla o barro. La mezcla en crudo es introducida en un horno a 1400°C y después enfriada y molida con una pequeña cantidad de yeso hasta formar el familiar polvo gris. Reacciona químicamente con agua hasta obtener sus componentes principales: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, tetracalcio aluminoférrico, y también otros compuestos en menor proporción, como óxido de sodio y potasio. El compuesto químico forma un gel cristalino que endurece la mezcla y le proporciona una gran resistencia [Nationwide Premixed Ltd, 2006].

Iguals resultados muestran Camilleri y cols. (2005b, 2007) y Estrela y cols. (2000), quienes utilizando el espectrómetro fluorescente de rayos X, mostraron que el MTA y el cemento Portland contienen los mismos componentes, excepto el óxido de bismuto. Pueden encontrarse pequeñas diferencias según el fabricante y la fuente de la cual se extrae el mineral. En el análisis de difracción por rayos X ambos presentan idénticas propiedades macroscópicas y microscópicas. Además, células como los osteoblastos presentan un crecimiento similar y la misma matriz cuando crecen sobre MTA o cemento Portland fraguados [Wucherpfennig y cols., 1999]. Ambos permiten la formación de un puente de dentina en apicoformaciones [Holland y cols., 2001b] y presentan actividad antibacteriana [Estrela y cols., 2000], demostrando que se trata de materiales similares.

Las conclusiones de estos estudios coinciden también por las obtenidas por Funteas y cols. (2003), quienes no encontraron diferencias significativas entre los 14 elementos estudiados en

¹¹ Cia. Portland Cement Itauú, Itau de Minas, Brasil

ambos cementos, y con Gerhardt y cols. (2007), quienes no encontraron diferencias en la composición de ProRoot MTA, MTA Angelus¹² y cemento Portland.

Desde Marzo de 2002 existe una presentación de MTA en color blanco¹³ con el objetivo de asemejarlo al color del diente y evitar problemas de discoloración dentaria y gingival [Naik y cols., 2005; Karabucak y cols., 2005; Bortoluzzi y cols., 2007a]. Asgary y cols. (2005) realizaron un estudio para comparar el MTA blanco con el gris y ver cuáles eran los componentes que los diferenciaban.

Ambos presentan dos fases una vez fraguados: una cristalina y otra amorfa. El de color blanco presenta las partículas de la fase cristalina más finas. En ambos, los componentes predominantes son:

Cal (CaO)
Sílice (SiO ₂)
Óxido de Bismuto (B ₂ O ₃)

Las mayores diferencias las encontraron en las concentraciones de los siguientes elementos:

Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	122% MTA gris
Óxido de magnesio (MgO)	130% MTA gris
Óxido férrico (FeO)	1000% MTA gris (causante de su color)

En este estudio se encontraron diferencias con los resultados obtenidos por Torabinejad y cols. (1995c), quienes mostraban como elementos predominantes el calcio y el fósforo. Sin embargo en el estudio de Asgary (2005) el fósforo está al límite de la detección. Estos resultados coinciden con la información que aparece en el prospecto proporcionado por el fabricante, que tampoco contempla el fósforo en su composición. Parece ser que desde que Torabinejad y cols. (1995) lo empezaron a utilizar ha habido cambios en su composición, aunque según Camilleri y cols. (2006) las muestras de los autores fueron inmersas primero en una solución fosfatada, por eso, aunque el fósforo no formaba parte de su composición, sí estuvo presente en los análisis del MTA por contaminación de las muestras de polvo.

¹² Odonto-Lógica, Prod. Odont., Londrina, Brasil

¹³ Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, EEUU

Tingey y cols. (2007) compararon el MTA blanco y gris fraguados en contacto con agua y en contacto con suero bovino fetal y concluyeron que no existen diferencias en las características físicas y químicas de ambos cementos cuando fraguan en la misma solución.

La composición de MTA es 75% cemento Portland, 20% óxido de bismuto y 5% sulfato de calcio (yeso) como modificador de fraguado [Coomaraswamy y cols., 2007]. Cuando el cemento Portland se mezcla con agua, el sulfato de calcio, que se le añade en la última etapa de su elaboración para retardar el tiempo de fraguado [Camilleri, 2008a], forma un gel coloidal, principalmente silicato tricálcico hidratado, que endurece hasta formar un cemento sólido entre 4-6 horas hasta completar su total fraguado después de varios días. Los autores realizaron un estudio cuyo objetivo fue investigar el efecto del óxido de bismuto sobre las propiedades del cemento Portland comparándolo con el MTA. Conforme aumentaba la concentración de óxido de bismuto se produjo una disminución gradual de la fuerza de compresión, que fue similar a la del MTA cuando la concentración de óxido de bismuto fue del 20%. Se produjo un incremento de la porosidad del material fraguado, pero al 20% la porosidad fue inferior a la que presenta el MTA. Los autores opinan que el cemento Portland es muy similar en composición al MTA comercial y puede utilizarse como modelo para estudiar el efecto de radioopacificadores alternativos y modificadores de fraguado.

Camilleri y cols. (2005a) compararon la composición química de los siguientes materiales:

- 1- MTA blanco
- 2- MTA gris
- 3- Cemento Portland blanco
- 4- Cemento Portland gris
- 5- Proto A¹⁴ (cemento Portland acelerado (sin yeso), que disminuye el tiempo de fraguado)
- 6- Proto B¹⁵ (cemento Portland acelerado (sin yeso) y con óxido de bismuto, el cual afecta a los mecanismos de hidratación del MTA, aumentando la absorción de agua, incrementando el tiempo de fraguado y disminuyendo la fuerza de compresión)

En los resultados obtenidos se observa que todos presentan los mismos elementos, siendo los compuestos principales silicato tricálcico y silicato dicálcico. Las diferencias aparecen entre MTA blanco y gris, ya que el blanco no presenta hierro en su composición, y entre cemento Portland y MTA, puesto que el primero no contiene óxido de bismuto.

¹⁴ Aalborg White, Aalborg, Dinamarca

¹⁵ Aalborg White, Aalborg, Dinamarca; Sigma-Aldrich, Dorset, Inglaterra

En cuanto al tamaño de las partículas, ordenados de mayor a menor:

Portland gris > MTA gris = Portland blanco > Proto A = Proto B > MTA blanco

Debido a la fineza del polvo, el MTA blanco necesita más cantidad de agua para humectar todas las partículas.

Según Hamad y cols. (2006) Dentsply ha modificado desde 2003 el tamaño de los cristales del polvo tanto de MTA blanco como gris a un tamaño inferior a 10 μm , lo cual afecta directamente a las propiedades físicas de los cementos, puesto que partículas más pequeñas producen un aumento de la superficie disponible para hidratarse, lo cual acelera el endurecimiento del cemento. El que el polvo sea más o menos fino tiene influencia en la tasa de hidratación y, consecuentemente, en las características de fuerza y fraguado [Islam y cols., 2006a].

Komabayashi y cols. (2008b) determinaron que el porcentaje de partículas que tienen un tamaño entre 0,5 y 10 μm es de un 88%, lo cual permite al MTA introducirse en los túbulos dentinarios, que presentan un diámetro de 2 a 5 μm .

Los autores estudiaron las partículas de ProRoot MTA y MTA Angelus y determinaron que (2007, 2008a):

- 1- ProRoot MTA contiene menos cantidad de partículas grandes que MTA Angelus
- 2- El MTA blanco contiene partículas más pequeñas que el MTA gris
- 3- MTA Angelus es menos homogéneo que ProRoot MTA.

Los resultados de Camilleri (2005a) coinciden con Islam y cols. (2006b), quienes también compararon MTA blanco y gris con cemento Portland blanco y gris, y concluyeron que los cuatro materiales presentan los mismos componentes principales y se diferencian en que los cementos Portland no contienen óxido de bismuto. Sin embargo, Dammaschke y cols. (2005), encontraron diferencias químicas entre ambos materiales, ya que el MTA contiene la mitad de yeso y menos metales pesados tóxicos como Cu, Mn, Sr, Fe y Al, y un 2% de Bi, y físicas, puesto que el MTA presenta partículas de menor tamaño y más uniformes que el cemento Portland, lo que no coincide con Komabayashi y cols. (2008b), puesto que hallaron un 99% de partículas de entre 0,5 y 10 μm en el cemento Portland.

Song y cols. (2006) encontraron como diferencia el potasio en la composición del cemento Portland.

Al cemento Portland acelerado se le elimina el yeso, lo que produce un fraguado inmediato que es controlado mediante la adición de superplastificadores, que son agentes dispersadores que sirven para disminuir el contenido en agua de la mezcla y mantener las propiedades de

manipulación (fluidez y fuerza de compresión) y que hacen el material mejor para trabajar. Así, el agua se reduce con equivalente fluidez del cemento, lo que incrementa la fuerza de compresión [Camilleri, 2008a].

El autor volvió a comparar el cemento Portland con yeso con cemento Portland acelerado (Proto A) y cemento Portland acelerado con óxido de bismuto (Proto B). El autor concluye que el fraguado del Proto A es de 8 minutos y que la adición de superplastificadores no interfiere en la biocompatibilidad del cemento y sí mejora la colocación y compactación del mismo. El autor considera que, debido al efecto del óxido de bismuto sobre los cementos, habría que buscar un agente radioopacificador alternativo para el MTA.

Se ha sugerido el hecho de que el cemento Portland pueda contener sustancias tóxicas para el ser humano, concretamente arsénico, y para disipar esta duda, Duarte y cols. (2005) realizaron un estudio para determinar la liberación de arsénico de dos tipos de MTA (ProRoot MTA y MTA Angelus) y dos tipos de cemento Portland gris y un tipo de cemento Portland blanco (Irajá)¹⁶. Los resultados obtenidos revelaron que para todos los materiales los niveles de arsénico liberados fueron muy bajos. Los análisis estadísticos mostraron que no existió una diferencia significativa entre todos los materiales estudiados en la liberación de arsénico después de 3 a 168 horas. Por tanto, en lo que se refiere a la presencia de este elemento, los autores concluyen que tanto los cementos de MTA como los Portland están indicados en la práctica clínica.

A pesar de que los autores siguen investigando el cemento Portland y sus efectos antimicrobianos [Herrero y cols., 2006] y que, como hemos visto anteriormente, se ha demostrado su similitud con el MTA, el proceso de fabricación del cemento Portland no sigue las estrictas pautas que se requieren para materiales de uso médico. El uso de ProRoot MTA como cemento Portland modificado fue aprobado por la FDA en 1998 después de gran cantidad de estudios *in vitro* e *in vivo*. ProRoot MTA, como todos los materiales de uso médico, está fabricado bajo estrictas normas que dicta la FDA, la cual exige controles de seguridad y eficacia de acuerdo con las regulaciones ADA, ISO 10993-1 e ISO 7405 en Estados Unidos, e ISO 13485 en Europa, antes de comercializar un producto. Además, es necesario que exista un sistema de calidad que asegure que la calidad del producto se mantiene en el tiempo, así que utilizar productos que no estén fabricados directa y específicamente para el uso dental en humanos, aunque económicamente sean más ventajosos [Wucherpfennig y cols., 1999; Saidon y cols., 2003; Menezes y cols.,

¹⁶ Cimento Rio Branco, Rio de Janeiro, Brasil

2004; Duarte y cols., 2005; Ribeiro y cols., 2005], supone la violación de leyes nacionales e internacionales establecidas para proteger a los pacientes [Primus, 2006].

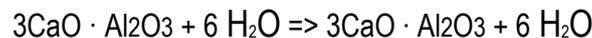
2.2- PROPIEDADES FÍSICAS

Se trata de un polvo de partículas hidrofílicas. El polvo solo no tiene ninguna acción ni se solidifica. Requiere ser hidratado con agua para tener actividad, formándose entonces un gel coloidal que solidifica en aproximadamente 3 horas [Fabra y cols, 2001]. Las características del agregado dependen del tamaño de la partícula, proporción polvo/líquido, temperatura, presencia de agua y burbujas de aire que se formen [Torabinejad y cols., 1995c; Fridland y cols., 2003].

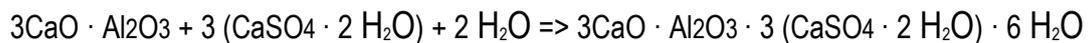
2.2.1- FRAGUADO

La reacción de fraguado del MTA ha de ser similar a la del cemento Portland, la cual se produce en 3 fases [Nandini y cols., 2007]:

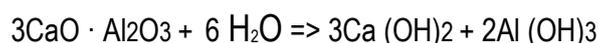
1) En las primeras 24 horas, el aluminato tricálcico se hidrata hasta formar un gel coloidal de aluminato tricálcico:



Cuando se añade el yeso, éste reacciona con el aluminato tricálcico para formar calcio-sulfoaluminato y retardar el fraguado:



2) La segunda fase se produce entre el primero y el séptimo día. El silicato tricálcico y el aluminato tricálcico reaccionan con agua para formar hidróxido de calcio, hidróxido de aluminio y silicato de calcio amorfo:



3) En la tercera fase de fraguado se produce una lenta reacción entre los días 7 y 28, cuando el silicato de calcio se hidrata progresivamente hasta formar un gel de silicato hidratado y el hidróxido de calcio termina de proporcionar fuerza al cemento fraguado:



Durante el fraguado del cemento se produce una disminución de la cantidad de sílice (SiO_2) formado y un incremento de la cantidad de hidróxido de calcio y la formación de un gel coloidal amorfo hidratado de silicato dicálcico.

El aluminio presente es muy reactivo y debe ser el responsable del fraguado inicial del cemento. Debido a la poca cantidad de aluminio en el MTA blanco, éste no se detecta.

El fraguado final del MTA produce hidróxido de calcio y gel de silicato hidratado.

La estimación del tiempo de fraguado es diferente según el método que se haya utilizado para medirlo, puesto que no existe una única forma aceptada de obtenerlo. Esta variación depende de las agujas utilizadas en el estudio (que cada una presenta diferente peso) así como de la cantidad de tiempo que la aguja permanece en la superficie del material para producir la indentación.

AUTORES	MÉT. ESTUDIO	TIEMPO FRAGUADO
Torbinejad y cols. (1995c)	Aguja Gilmore	2 horas 45 minutos
Islam y cols. (2006a)	Aguja Gilmore	2 horas 20 minutos (MTA blanco) 2 horas 55 minutos (MTA gris)
Ber y cols. (2007)	Aguja Vicat	3 horas 22 minutos
Kogan y cols. (2007)	Aguja Vicat	50 minutos

Según algunos autores, el largo tiempo de fraguado es positivo porque previene la contracción de fraguado, que es una de las razones para la filtración asociada a algunos cementos dentales [Pitt Ford y cols., 1996].

Ryu y cols. (2008) determinaron que el tiempo de fraguado del MTA mezclado con agua era de 5 horas y 46 minutos para el gris y de 5 horas y 18 minutos para el blanco. Además, demostraron que este tiempo se incrementa en presencia de plasma sanguíneo, con lo que los autores consideran que es un dato a tener en cuenta para aquellas situaciones clínicas en las que el MTA tenga que entrar en contacto con sangre.

El MTA necesita la presencia de humedad para fraguar. Un estudio de Vizgirda y cols. (2004) apoya la importancia de la humedad para el fraguado adecuado del MTA. Los autores observaron que el sellado de MTA era deficiente al ser utilizado para obturar toda la longitud del

conducto radicular y sugieren que la causa puede ser un fraguado incompleto del cemento debido a la falta de contacto con agua de la parte del MTA localizada en el medio de la raíz.

Sin embargo, Budig y cols. (2008) estudiaron el potencial del polvo seco de MTA para absorber por sí mismo la humedad a través de la raíz para poder fraguar y los resultados obtenidos fueron:

TIEMPO	MUESTRAS FRAGUADAS DE 10
12 horas	1
36 horas	4
72 horas	9

Chogle y cols. (2007) concluyeron que la humedad sí afecta el tiempo de fraguado y la capacidad de sellado inicial del MTA, ya que las muestras fraguadas en seco obtuvieron una tasa de penetración bacteriana mayor que las fraguadas en húmedo, y que éste necesita dos días para que se produzca su fraguado completo dentro del canal radicular.

Gancedo y cols. (2006) estudiaron cómo influye sobre la retención del MTA la presencia de humedad durante el fraguado del mismo. En sus resultados finales descubrieron que, en condiciones de humedad, la fuerza necesaria para desplazar el MTA de su cavidad se incrementa. Los autores están de acuerdo con Torabinejad y cols. (1995c), que recomiendan la colocación de una bolita de algodón húmeda sobre el MTA, con Loxley y cols. (2003), quienes mostraron que el contacto de MTA con suero salino una semana después de 7 días de fraguado en seco aumentó la fuerza necesaria para desplazar la obturación de MTA, posiblemente porque la hidratación hizo solidificar algunos óxidos minerales que no habían reaccionado, con Walker y cols. (2006), quienes observaron que las muestras en contacto de humedad por ambas caras durante 24 horas presentaban mejor fuerza de flexión, y con Sluyk y cols. (1998), quienes evaluaron el efecto del tiempo y la humedad en el fraguado, retención y adaptación del MTA cuando es utilizado para reparar perforaciones de furca.

Después de colocar el MTA, se midió a las 24 y 72 horas la fuerza requerida para desplazar las obturaciones de sus cavidades. En sus resultados finales mostraron que:

- 72 horas: el MTA resiste el desplazamiento de la cavidad significativamente más que a las 24 horas, por ello la recomendación de colocar una bolita de algodón y una restauración provisional sobre el MTA las primeras 72 horas antes de realizar la restauración definitiva.

- Aunque el material mostró reestablecer la resistencia al desplazamiento después de intentar su dislocación a las 24 horas, cuando a los 14 días se volvió a intentar desplazar el material de la cavidad se observó que el nivel de resistencia inicial no se había reestablecido después del primer intento de desplazamiento, por lo que pudo ser totalmente retirado. Bajo el microscopio a 40 aumentos se observó que el material se había desplazado de la superficie de dentina, no que la obturación se había separado de si misma.
- La humedad presente en el hueso y el tejido periodontal es necesaria para la adaptación del MTA a las paredes de dentina. La colocación de una bolita de algodón seca o húmeda sobre el material no supuso una diferencia significativa a la hora del fraguado del MTA.

Por lo tanto, los autores concluyen que el defecto a tratar debe estar contaminado con humedad antes de la colocación del material, lo que supone una ventaja a la hora de realizar una cirugía periapical, y después se debe colocar una bolita de algodón seca o húmeda sobre el MTA y cubrirlo con una restauración provisional 72 horas antes de colocar la restauración definitiva.

Estos resultados no coinciden con los de Sluyk y cols. (1998), quienes no encontraron diferencias significativas en la fuerza necesaria para desplazar el MTA fraguado en contacto de un algodón seco o húmedo. Estos resultados pueden deberse al hecho de que en ambos grupos el MTA fue condensado sobre una matriz húmeda y casi fraguaron en iguales condiciones de humedad. Según estos autores, bajo condiciones clínicas reales, una completa ausencia de humedad no es posible porque los tejidos internos siempre proporcionan humedad a la superficie externa radicular. Pero en condiciones de plug apicales en dientes inmaduros, puede ser que a través del ápice no se obtenga la humedad necesaria y en estos casos, como indican Torabinejad y cols. (1995c), sí sería necesario introducir una bolita de algodón húmedo dentro del conducto.

Tanto en el estudio de Gancedo (2006) como en el de Sluyk (1998) están de acuerdo con el hecho de que al aumentar el tiempo de fraguado desde el día 1 al 3 se incrementa la fuerza necesaria para desplazar el MTA de la cavidad bajo condiciones de humedad y sequedad, resultados que coinciden con VanderWeele (2006), quienes observaron que a los 7 días la fuerza necesaria para desplazar el MTA de una perforación de furca era mayor que a las 72 horas.

También Gancedo (2006) está de acuerdo con Torabinejad y cols. (1995c) en que, en condiciones de humedad, la fuerza de desplazamiento aumenta desde el día 3 al 21, día en el que se produce el fraguado completo. Sin embargo, el aumento de retención del día 1 al 3 fue superior al obtenido del día 3 al 21, por lo que no es conveniente una obturación provisional

hasta el día 21, ya que el pronóstico del tratamiento puede verse comprometido debido al fallo de la obturación provisional.

La conclusión principal de este estudio es que la mejor retención de MTA se produce cuando dentro de la cámara pulpar o en el canal radicular existe humedad durante al menos 3 días de fraguado. Aunque en el estudio de VanderWeele (2006) las muestras no contaminadas con sangre mostraron mayor resistencia al desplazamiento de la cavidad.

Hardy y cols. (2004) también permitieron que el MTA fraguara por si mismo sin colocar algodón húmedo sobre él cuando repararon perforaciones de furca en un estudio *in vitro* en el que utilizaron un sistema de filtración de fluidos. Y llegaron a la conclusión de que si se le deja el tiempo suficiente para que fragüe, el MTA por si solo es suficiente para reparar perforaciones de furca, puesto que a través del ligamento periodontal y los espacios de la médula ósea del hueso y se le va a proporcionar la humedad necesaria para fraguar.

El hecho de que sea necesario esperar a que el MTA fragüe significa que el paciente ha de acudir a una segunda visita para la colocación de la obturación definitiva. Para completar la restauración final en una sola visita debería haber un material compatible con el MTA que pudiera colocarse sobre el MTA parcialmente fraguado y por ello Nandini y cols. (2007) y Ballal y cols. (2008) estudiaron la influencia de la colocación de un ionómero de vidrio sobre el MTA a los 45 minutos de haberse mezclado y observaron que esto no afecta al fraguado del mismo y que se forman sales de calcio en la interfase entre los dos materiales.

Kogan y cols. (2006) mezclaron el MTA con diferentes sustancias para estudiar si se podía acelerar el tiempo de fraguado y Jafarnia y cols. (2008) comprobaron que la biocompatibilidad del MTA no se vio afectada al mezclarlo con cada uno de los elementos del estudio.

Los autores obtienen un tiempo de fraguado con agua estéril de 50 minutos, lo que difiere de las 2 horas 45 minutos de Torabinejad y cols. (1995c). Esta diferencia puede ser debida a cambios que se hayan producido en su composición desde el estudio de estos últimos [Asgary y cols., 2005].

Los resultados del estudio se resumen en la siguiente tabla:

MEZCLA DE MTA	EFFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL MTA	TIEMPO DE FRAGUADO DEL MTA (MINUTOS)	FUERZA DE COMPRESIÓN
GEL DE HIPOCLORITO SÓDICO ¹⁷	MEJORES PROPIEDADES DE MANIPULACIÓN.	20	MENOR
CLORURO DE CALCIO 5%	MISMAS PROPIEDADES DE MANIPULACIÓN QUE CUANDO SE MEZCLA CON AGUA ESTÉRIL	25	MENOR
GEL K-Y ¹⁸	DIFICULTAD PARA TRABAJAR. MEZCLA NO HOMOGÉNEA	20	MENOR
GEL DE CLORHEXIDINA	ÁREAS NO FRAGUADAS DESPUÉS DE 7 DÍAS	INCREMENTO	
SUERO SALINO		INCREMENTO	MAYOR
LIDOCAÍNA 2%		INCREMENTO	MAYOR

Basándose en las mejores propiedades de manipulación y en la disminución del tiempo de fraguado, parece ser que el gel de hipoclorito sódico puede potencialmente utilizarse para mezclar el MTA, así como también en cloruro de calcio al 5%, en zonas donde la fuerza de compresión no sea importante, como el área periapical, donde sí es necesario un menor tiempo de fraguado.

El cloruro de calcio es el componente que presenta el cemento Portland como acelerador de fraguado, el cual ha resultado no tóxico para las células de la pulpa y no ha producido cambios biológicos en la formación de la barrera calcificada [Bortoluzzi y cols., 2008], es promotor de la curación ósea [Abdullah y cols., 2003] y además incrementa significativamente la capacidad de sellado apical tanto del cemento Portland como del MTA [Samadzadeh y cols., 2007; Hong y cols., 2008].

Los resultados obtenidos al mezclar MTA con clorhexidina difieren de los obtenidos por Stowe y cols. (2004), quienes observaron una reducción del tiempo de fraguado del MTA blanco a 1-2

¹⁷ Ultradent Products, Inc., South Jordan, EEUU

¹⁸ Johnson and Johnson, East Windsor, EEUU

minutos al mezclarlo con clorhexidina líquida al 0,12% comparado con los 5-6 minutos de la mezcla MTA-agua estéril, posiblemente porque Kogan y cols. utilizaron en su estudio clorhexidina en gel.

Los resultados obtenidos con el cloruro cálcico coinciden con Wiltbank y cols. (2007a-b). La siguiente tabla resume, según los autores, los tiempos de fraguado de MTA gris y blanco y cemento Portland mezclados con agua y cómo se ven afectados esos tiempos al mezclar los cementos con otras sustancias:

CEMENTO	TIEMPO DE FRAGUADO (EN MINUTOS)	CLORURO CÁLCICO	NITRATO CÁLCICO	FORMATO CÁLCICO
MTA BLANCO	70±5	REDUCCIÓN		REDUCCIÓN
MTA GRIS	75±21	REDUCCIÓN	REDUCCIÓN	REDUCCIÓN
CEM. PORTLAND	68±12	REDUCCIÓN	REDUCCIÓN	REDUCCIÓN

Así que los autores consideran que serían necesarios estudios de biocompatibilidad y capacidad de sellado de los 3 elementos para poder añadirlos a los cementos.

Ber y cols. (2007) realizaron un estudio para comprobar cómo mejoraba el tiempo de fraguado del MTA al añadir algunos de los modificadores que se utilizan con el cemento Portland para aumentar su plasticidad y reducir el tiempo de fraguado. Para ello añadieron metilcelulosa y cloruro cálcico a diferentes concentraciones. En sus resultados finales observaron que el tiempo de fraguado se redujo en un tercio (57 ± 3 minutos), que se mejoraba la manipulación (más próxima a la del óxido de cinc-eugenol) y que se mantenía la misma fuerza de compresión al mezclar el MTA con metilcelulosa-cloruro cálcico al 1%.

Una vez aceptadas la ventajas del MTA, Chng y cols. (2005) se embarcaron en un proyecto para crear un material de reparación radicular que combinara la biocompatibilidad del MTA con las características de manipulación de materiales como SuperEBA. Los autores supusieron que, incrementando la viscosidad, se mejoraría la capacidad de sellado y la manipulación del cemento. Este nuevo material viscoso recibió el nombre de Viscosity Enhanced Root Repair Material (VERRM), que fue formulado utilizando cemento Portland como cemento base al que se le añadió óxido de bismuto y otros compuestos para aumentar la radioopacidad y la viscosidad. En sus resultados finales no hallaron diferencias en las propiedades físicas y de sellado entre VERRM y MTA blanco.

Gomes-Filho y cols. (2008) investigaron un MTA fotopolimerizable. En su composición encontramos:

Aerosil	8%		
Resina	42,5%	BisGMA	20%,
		Resina biocompatible	77,25%
		Modificadores	2,4%,
		Iniciadores	0,32%,
		Estabilizadores	0,032%
MTA	44,5%		
Bisulfato	5%		

Desarrollado para obtener un fraguado inmediato a partir de resinas hidrofílicas biocompatibles y los ingredientes activos del cemento Portland, mantiene su alcalinidad durante un año, lo que favorece sus características biológicas, pero de momento, este estudio ha verificado que a los 6 meses, a pesar de que la respuesta histológica fue similar al MTA en que no presentó inflamación, no indujo la mineralización, posiblemente por el efecto moderadamente tóxico de los componentes resinosos.

Clark y cols. (2007 a-b) realizaron un estudio para comparar la viscosidad, tamaño de partícula y filtración de ProRoot MTA, MTA Angelus y MTA Angelus fluido¹⁹ (con plastificadores añadidos a la fórmula para mejorar la manipulación del cemento) y comprobar si existía alguna relación entre estas propiedades. El hecho de desarrollar un cemento de MTA de menor viscosidad supone que éste va a presentar mejores características de manipulación y va a permitir una mejor adaptación dentinaria y una menor filtración. En sus resultados finales constataron la menor viscosidad del MTA Angelus fluido y su mejor manipulación, pero no observaron ninguna diferencia en cuanto a filtración o tamaño y forma de las partículas entre los 3 cementos.

¹⁹ Odonto-Logika, Ind. Prod. Odont. Ltda., Londrina, Paraná, Brasil.

2.2.2- pH

Una vez mezclado es de 10,2 pero aumenta hasta 12,5 al fraguar y luego se mantiene constante [Torabinejad y cols., 1995c; Fridland y cols., 2005]. Este pH alcalino le confiere propiedades antimicrobianas [Silva y cols., 2000] similares al hidróxido de calcio [Torabinejad y cols., 1995d, Estrela y cols., 1995].

Silva y cols. (2000) cuantificaron la cantidad de iones calcio en el MTA:

TIEMPO	pH (ppm)
24 horas	8,8
7 días	8,8
15 días	10,08
21 días	10,10

El MTA está formado primariamente por silicato tricálcico y silicato dicálcico, cuya hidratación produce hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado y, como consecuencia, libera al medio una alta tasa de iones calcio a partir de ambos compuestos, la cual disminuye con el tiempo [Camilleri, 2008b].

Santos y cols. (2005) compararon las propiedades físico-químicas de MTA Angelus y un nuevo cemento dental experimental, EC, compuesto por cemento Portland y un gel compuesto de agua, sulfato de bario y un emulsionante para mejorar las propiedades de manejo y que al mezclarlo con agua destilada, permite que adquiriera una consistencia masilla que facilita su manipulación. En sus resultados finales observaron que el cemento experimental liberaba calcio e incrementaba el pH de la solución de forma similar al MTA Angelus. De hecho, el cemento experimental mostró mayor liberación de calcio que el MTA Angelus después de 24 horas, aunque pasado este periodo inicial, los valores fueron similares. Los dos cementos liberaron iones calcio e hidroxilo durante las 360 horas que estuvieron inmersos en la solución acuosa del estudio.

Duarte y cols. (2003) utilizaron el mismo método de estudio para comparar la liberación de iones calcio y el pH de ProRoot MTA y MTA Angelus, aunque los tiempos de medición fueron distintos. Los valores de pH y calcio liberado fueron más altos las primeras 3 horas del estudio y, a partir de ese tiempo, tendieron a decrecer. Ambos materiales resultaron alcalinos, con valores más altos de liberación de calcio durante el periodo de fraguado inicial, aunque estos fueron

ligeramente superiores para MTA Angelus en todos los períodos de tiempo, posiblemente por su mayor contenido en cemento Portland o de otros productos liberadores de calcio presentes en su composición.

2.2.3- RADIOOPACIDAD

Presenta una radioopacidad de 7,17 mm de espesor de aluminio, el equivalente a la gutapercha, que es ligeramente superior al de la dentina y por tanto cumple la norma ISO 6876/2001 (para los materiales de obturación radicular se necesita una radioopacidad de 3 mm de aluminio) [Shah y cols., 1996; Danesh y cols., 2006]. Para ello se le añade el óxido de bismuto, que es prácticamente insoluble en agua e inerte químicamente [Fridland y cols., 2003].

Aunque Aranguren y cols. (2003) destacan que en ocasiones no han hallado dicho contraste radiológico.

2.2.4- SOLUBILIDAD

Poggi y cols. (2007) compararon la solubilidad de diferentes materiales utilizados para retroobtención y comprobaron que, bajo las condiciones de su estudio, el MTA es prácticamente insoluble. Sin embargo, Fridland y cols. (2005) demostraron con el mismo método de estudio que el MTA libera parcialmente su fracción soluble en un medio acuoso durante un largo periodo de tiempo, manteniendo el pH de la solución siempre alcalino, con unas tasas entre 11,94 y 11,99. Este estudio determinó que la sustancia liberada por el MTA es básicamente hidróxido de calcio, el cual puede ser el responsable de las principales propiedades del MTA en cuanto a la reparación de hueso y formación de cemento, como también demostraron los resultados obtenidos por Holland y cols. (1999a; 2002a-b), por Torabinejad y cols. (1995c; 1997a) y Fridland y cols. (2003). Estos últimos realizaron un estudio *in vitro* para determinar de qué manera se veía afectada la porosidad y la solubilidad del MTA al aumentar la cantidad de agua que se mezclaba con el polvo. En los resultados finales llegaron a la conclusión de que al aumentar la proporción de agua aumentaba la solubilidad y que la proporción ideal era la propuesta por el fabricante: 0,33 gramos de agua por cada gramo de polvo (proporción polvo/líquido: 3/1). Concluyeron que la dureza del MTA depende de:

- 1- La cantidad de agua
- 2- El proceso de mezcla

- 3- La presión de compactación
- 4- La temperatura
- 5- El contacto con agua que se produce una vez está colocado en boca (por ejemplo, en contacto con tejidos periapicales).

Al observar la estructura al microscopio electrónico de barrido se pudo mostrar la porosidad del material una vez fraguado. Esta porosidad fue debida a la incorporación de burbujas de aire microscópicas durante el espatulado, así como a la estructura amorfa y capilar que presenta el MTA una vez fraguado.

Smith y cols. (2007a-b) estudiaron el efecto de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y BioPure MTAD²⁰ en la disolución de la superficie de MTA blanco. Los resultados del estudio mostraron mayor remoción de material de la superficie de éste al irrigar con BioPure MTAD. Aunque los cambios son mínimos para tener consideración clínica (2007a), sí es cierto que la superficie de MTA presentó más cantidad de calcio eliminado y un aspecto más rugoso si comparamos con la irrigación con EDTA, lo cual podría influir en la fuerza y propiedades selladoras del MTA al ser utilizado para reparar perforaciones radiculares (2007b).

Es posible que variaciones en el pH del medio donde hay que colocar el MTA, debido a una inflamación, por ejemplo, afecte a sus propiedades físicas y químicas. Por eso, Namazikhah y cols. (2008) expusieron el MTA a un medio ácido durante su hidratación y estudiaron los cambios microestructurales en la superficie del cemento. Los autores observaron que el MTA no endurece tan bien en un medio con un pH bajo. Aunque la observación bajo el microscopio electrónico mostró un mayor grado de porosidad, en términos de microestructura interna, no hubo diferencias morfológicas entre los grupos.

2.2.5- SUPERFICIE Y ESTRUCTURA CRISTALINA

Cercana al 80% [Silva y cols., 2000], debido a que existe un fondo amorfo, con lo que se trata de un complejo natural cristalino, lo cual le confiere su alta adhesividad. Presenta pérdida de cristalinidad por calentamiento directo, aunque es bastante estable térmicamente hasta 100 °C (punto de fusión), lo cual limita las posibilidades de esterilización, puesto que se modificaría su estructura cristalina y con ello su adhesividad.

²⁰ Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, EEUU

El MTA gris presenta una superficie irregular con discretos cristales cuboidales y áreas de materia granular con características tipo coral [Song y cols., 2006].

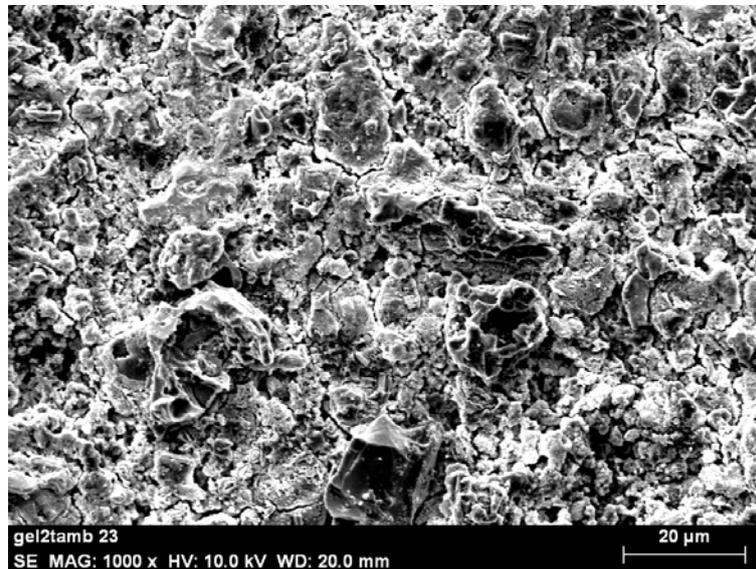


Fig. 1. ProRoot MTA gris bajo microscopio electrónico a 1000 aumentos

Según los autores, sobre el 50% de la estructura cristalina presente en el ProRoot MTA aparece en forma de óxido de bismuto y el 30% en forma de cristales de óxido de silicato de calcio.

El MTA Angelus gris presenta el 40% de su estructura cristalina en forma de óxido de bismuto y el 30% en forma de cristales de óxido de silicato de calcio.

2.2.6- ESTUDIOS DE FUERZA

Según el estudio llevado a cabo por Torabinejad y cols. (1995c) la resistencia a la compresión es baja a las 24 horas, 40 Mpa, y aumenta hasta 67 Mpa después de 21 días, aunque, según los autores, éste es un factor que no presenta demasiada importancia, puesto que no va a recibir directamente carga oclusal. El incremento de la resistencia a la compresión llega a ser similar a la de SuperEBA, IRM y cementos de fosfato y requiere la presencia de humedad.

Sin embargo, Walker y cols. (2006) consideran que, en casos de reparación de perforaciones radiculares, es necesario que el MTA tenga la máxima resistencia, especialmente antes de la colocación de una restauración extraoral definitiva, y por eso realizaron pruebas de resistencia a

la flexión de forma que se midiera la fuerza de compresión en la parte superior del cemento y la de tensión en la superficie inferior, lo cual se asemeja más a condiciones clínicas. El objetivo de su estudio fue comparar la fuerza de flexión del MTA en función del tiempo de fraguado (24 y 72 horas) a diferentes condiciones de hidratación (sólo por una cara o por ambas caras de las muestras). En sus resultados finales obtuvieron una hidratación más óptima, mejor solidificación y mejores resultados de flexión en los casos en los que el MTA estaba en contacto con humedad durante 24 horas por ambas caras, por lo que recomiendan que sí es necesario colocar una bolita de algodón húmeda para el fraguado del MTA durante 24 horas bajo una obturación provisional. Pero también observaron que un exceso de humedad está contraindicado y que favorece la degradación del material y la reducción de su fuerza, lo que no coincide con el estudio de Torabinejad y cols. (1995c), posiblemente por la diferente metodología de trabajo utilizada y a que mantuvieron las muestras inmersas en agua destilada de 24 horas a 21 días, lo cual consideran que es un tiempo de fraguado innecesario.

VanderWeele y cols. (2006) mezclaron MTA con lidocaína, agua estéril y suero salino y lo utilizaron para reparar perforaciones de furca, que en unos casos estaban contaminadas con sangre y en otros no. En sus resultados finales observaron mejor resistencia al desplazamiento del MTA de la furca reparada a los 7 días que a las 24-72 horas en las muestras no contaminadas con sangre, no encontrándose diferencias entre los distintos líquidos de la mezcla, por lo que concluyeron que permitir al MTA blanco que fragüe inalterado durante 72 horas o más antes de colocar la restauración coronal puede reducir la posibilidad de que el MTA se desaloje de las furcas reparadas. Así por ejemplo, la fuerza de condensación de la amalgama es de 30,25 Nw, que es superior a la requerida para desalojar el MTA de la zona de la reparación hasta las 72 horas, pero no a los 7 días, así que los dientes que hayan de ser reparados con amalgama antes de ese tiempo se debe tener cuidado en no condensar directamente contra el MTA.

Watts y cols. (2007a-b) observaron que, cuando el MTA estaba mezclado con agua estéril, no se producían cambios en la fuerza de compresión del mismo en un medio ácido. Sin embargo, ésta disminuyó al mezclar el MTA con anestesia, por lo que los resultados sugieren que mezclar el MTA con agua estéril como indica el fabricante favorece el potencial de fraguado del mismo en un medio ácido (áreas periapicales con abscesos que requieren cirugía periapical).

Holt y cols. (2007a-b) observaron que la fuerza de compresión del MTA mezclado con clorhexidina al 2% era inferior a la que presenta el MTA mezclado con agua estéril, así que

aunque los efectos antibacterianos del MTA con clorhexidina sean superiores, su uso quedaría limitado a situaciones en las que la fuerza de compresión no fuera un factor importante.

En el estudio de Kogan (2006), al mezclar el MTA con gel de hipoclorito sódico, el cemento fraguaba en 20 minutos pero se producía una disminución en la fuerza de compresión. Los autores concluyen que este valor tiene importancia, por ejemplo, en la reparación de perforaciones radiculares, donde se podría mezclar con agua estéril o cubrirlo con algún material que tenga mayor resistencia, pero no es importante en obturaciones apicales, donde sí hace falta un fraguado rápido.

Nekoofar y cols. (2007) estudiaron la relación existente entre la presión de condensación aplicada al MTA y la dureza de la superficie del MTA. En sus resultados finales observaron que la presión de condensación afecta a la fuerza y dureza del MTA. Una mayor presión de condensación produce menores valores de dureza, posiblemente debido a que la presión compacta las moléculas del polvo muy juntas, lo cual reduce el espacio para difusión de las moléculas de agua y la hidratación.

Hatibović-Kofman y cols. (2008) realizaron un estudio para determinar la influencia del MTA en la resistencia a la fractura de las raíces tratadas y obturadas con él mismo y con hidróxido de calcio. En sus resultados finales comprobaron que los dientes tratados con MTA mostraron la mayor resistencia a la fractura después de un año, posiblemente porque induce la expresión de TIMP-2 (un inhibidor de la metaloproteinasa, la cual juega un papel muy importante en la degradación de la matriz de colágeno de la dentina) en la matriz de dentina, lo que posibilita la prevención de la destrucción de la matriz de colágeno. Sin embargo, las muestras obturadas con hidróxido de calcio mostraron disminución de la resistencia a la fractura, lo que coincide con los resultados de Rosenberg y cols. (2007) y de Andreasen y cols. (2001).

2.2.7- CAMBIO DIMENSIONAL

El propósito de un material de obturación radicular es sellar el canal para prevenir el ingreso o egreso de bacterias. Para sellar, el material debe adaptar y, preferiblemente, adherirse a las paredes dentinarias del conducto y tener buena estabilidad dimensional.

Store y cols. (2008) realizaron un estudio para determinar los cambios dimensionales que se producen en el MTA blanco y gris durante su fraguado.

Los autores determinaron que la media de expansión para los 2 materiales a las 24 horas fue:

	INMERSIÓN EN AGUA DESTILADA	INMERSIÓN EN SOLUCIÓN BALANCEADA DE SAL HANK
MTA BLANCO	0,08%	0,11%
MTA GRIS	1,02%	0,68%

Según estos resultados, el MTA gris expande más que el blanco, lo que podría proporcionar mejor sellado en los estudios de filtración al MTA gris.

Islam y cols. (2006a) compararon MTA gris, MTA blanco, cemento Portland ordinario gris y cemento Portland blanco en los siguientes parámetros:

1-pH

RECIÉN MEZCLADO	MTA blanco = MTA gris > Portland blanco > Portland gris
MEZCLA DESPUÉS DE 30 MINUTOS	Similar para todos los elementos del estudio
MEZCLA DESPUÉS DE 60 MINUTOS	Portland blanco = Portland gris = MTA blanco > MTA gris

2- Radioopacidad

Es adecuada tanto para MTA blanco como para MTA gris, pero no lo es para ambos tipos de cemento Portland, ya que no cumplen los requisitos de ISO 6876:2001.

La diferente radioopacidad mostrada por ambos tipos de MTA puede deberse a los diferentes materiales de base que forman parte de cada uno de ellos.

3- Tiempo de fraguado

INICIAL: Portland gris = MTA gris > MTA blanco > Portland blanco

FINAL: MTA gris > Portland gris > MTA blanco > Portland blanco

Las diferencias de fraguado entre MTA blanco y gris no son clínicamente significativas.

4- Solubilidad

MTA BLANCO > PORTLAND GRIS = PORTLAND BLANCO > MTA GRIS

Todos los valores se encuentran dentro de los requisitos ISO de solubilidad de materiales dentales de obturación radicular.

Aunque Torabinejad y cols. (1995c) no encontraron ninguna solubilidad en el MTA, Fridland y cols. (2003) mostraron que su solubilidad y porosidad aumentaba a medida que lo hacía la proporción de agua en la mezcla de MTA gris. Por lo que para mantener los niveles de solubilidad al mínimo, los materiales deben mezclarse según las instrucciones del fabricante.

5- Cambio dimensional

PORTLAND GRIS = PORTLAND BLANCO > MTA BLANCO = MTA GRIS

Todos los materiales mostraron expansión tras el fraguado, lo cual puede suponer la mayor capacidad de sellado mostrada por el MTA gris con respecto a otros materiales utilizados como obturación apical retrógrada [Torabinejad y cols., 1993-1995b; Fischer y cols., 1998; Adamo y cols., 1999].

Una excesiva expansión es peligrosa puesto que puede producir grietas en la raíz, así que el cemento Portland debería ser estudiado para comprobar si su expansión no aumenta el riesgo de producir una fractura radicular.

6- Fuerza de compresión

A LOS 3 DÍAS: MTA gris = Portland gris > MTA blanco = Portland blanco

A LOS 28 DÍAS: MTA gris > MTA blanco > Portland gris = Portland blanco

Este parámetro tan sólo es importante si el material va a ser sometido a fuerza oclusal al utilizarse como material de restauración coronal [Abdullah y cols., 2002].

El aumento del valor de la fuerza de compresión con el tiempo indica que, cuando son empleados clínicamente y en contacto con los fluidos tisulares, los cuatro materiales continúan fraguando y aumentando su fuerza y estabilidad.

Danesh y cols. (2006) compararon *in vitro* tres propiedades del cemento ProRoot MTA blanco con dos variantes de cemento Portland: CEM I²¹ y CEM II²².

En sus resultados llegaron a las siguientes conclusiones:

²¹ Teutonia Portlandzement, Hannover, Alemania

²² Felsenfest Portlandkalksandsteinzement, Spenner Zement, Erwitte, Alemania

1- **Solubilidad:** Bajo las condiciones de este estudio, el cemento Portland resultó ser significativamente más soluble que el ProRoot MTA, el cual puede ser descrito como insoluble, lo cual coincide con Torabinejad y cols. (1995c). Las marcadas diferencias entre ambas clases de cemento Portland y ProRoot MTA pueden ser debidas a diferencias en su composición química después de la reacción de fraguado. ProRoot MTA presenta menos sulfuro y potasio pero ha incrementado su contenido en calcio [Dammaschke y cols., 2005]. El mayor contenido en sulfuro del cemento Portland está relacionado con una mayor cantidad de yeso en su composición comparado con ProRoot MTA. Podría ser que la mayor cantidad de yeso está relacionada con un incremento en la solubilidad del cemento. Además, el óxido de bismuto que presenta el ProRoot MTA es insoluble en agua [Fridland y cols., 2003].

2- **Microdureza:** Los resultados mostraron mayor dureza en el ProRoot MTA con un espesor de cemento de 5 mm para simular condiciones clínicas. Matt y cols. (2004) recomiendan 5 mm de espesor de MTA como barrera apical. El espesor mínimo descrito en la literatura para ProRoot MTA es de al menos 3 mm [Lamb y cols., 2003] ó 4 mm [Valois, 2003] para obturación de una cavidad apical y de 4 mm para apicoformación [Giuliani y cols., 2002].

La dureza del ProRoot MTA depende del tamaño de las partículas, de la proporción agua/polvo, de la temperatura y la humedad y de la cantidad de aire incorporado a la mezcla [Torabinejad y cols., 1993]. Como los cementos fueron mezclados en las mismas condiciones, la única variable que pudo haber influido en la dureza es el tamaño de las partículas del polvo. Las partículas de ProRoot MTA son más iguales entre sí y más pequeñas que las del cemento Portland [Dammaschke, 2005]. Además, la menor dureza del cemento Portland podría deberse a su mayor contenido en potasio, que reduce las propiedades mecánicas de los cementos.

3- **Radiopacidad:** ProRoot MTA es significativamente más radioopaco que ambos cementos Portland.

En resumen, los cementos Portland estudiados son más solubles, alcanzan menos microdureza y son menos radioopacos que el ProRoot MTA, así que los autores opinan que el ProRoot MTA no podría ser sustituido por cemento Portland como cemento endodónico. Los resultados están de acuerdo con Dammaschke y cols. (2005), quienes opinan que el cemento Portland no puede sustituir al MTA debido a diferencias químicas (el MTA contiene la mitad de yeso y menos

metales pesados tóxicos como Cu, Mn, Sr, Fe y Al, y un 2% de Bi) y físicas, puesto que el MTA presenta partículas de menor tamaño y más uniformes que el cemento Portland.

2.2.8- CAPACIDAD DE SELLADO Y ESTUDIOS DE FILTRACIÓN

Éste es uno de los aspectos más estudiados del MTA ante la necesidad de encontrar un nuevo material que no presente las limitaciones y los inconvenientes de los diferentes materiales que se han estado utilizando hasta ahora, como por ejemplo, la amalgama de plata, amalgama de plata junto con un barniz cavitario, Cavit, gutapercha fría bruñida, cementos restauradores con ionómero de vidrio y los cementos basados en óxido de cinc-eugenol, como el IRM y SuperEBA. Existen numerosos estudios que los comparan con el MTA [Torabinejad y cols., 1995b-c-d-e-f; Torabinejad y cols., 1998; Fischer y cols., 1998; Estrela y cols., 2000; Keiser y cols., 2000; Aqrabawi y cols., 2000; Fogel y cols., 2001; Ming Tang y cols., 2002; Yatsushiro y cols., 2004...] y que iremos analizando a lo largo del trabajo.

2.2.8.1- Estudios sobre microfiltración utilizando colorantes:

Los métodos de filtración de colorante han sido muy utilizados para evaluar la capacidad selladora de los materiales de endodoncia [Matloff y cols., 1982; Siqueira y cols., 2001]. Son fáciles de realizar y útiles para evaluar la filtración en obturaciones apicales porque si los materiales son capaces de prevenir la filtración de las pequeñas moléculas de los colorantes, deberían también ser capaces de prevenir la filtración de sustancias mayores, como las bacterias y sus subproductos [Aqrabawi y cols., 2000].

Tamse y cols. (1998) compararon dos métodos de evaluación de la filtración apical de colorante: secciones transversales y transparentización [Robertson y cols., 1980]. Los autores opinan que existen algunas variables que influyen a la hora de medir el grado de filtración como son:

1. el pH del colorante
2. su peso molecular
3. la inmersión inmediata o retardada en el mismo
4. el método de evaluación.

Los 120 dientes se dividieron en 6 grupos de 20:

SECCIONES TRANSVERSALES	TRANSPARENTIZACIÓN
EOSINA	TINTA INDIA
AZUL DE METILENO	BRILLIANT AZUL
TINTA INDIA NEGRA	
BRILLIANT AZUL	

En las raíces que habían sido seccionadas apareció un rango mayor de penetración de colorante que con la transparentización, siendo mayor con el azul de metileno y menor con la eosina, pero sin hallarse diferencias significativas entre los dientes del mismo grupo, al igual que con el método de transparentización, en el cual tampoco se hallaron diferencias significativas entre los dos colorantes estudiados. En el estudio llevado a cabo por Matloff y cols. (1982) los dientes que fueron inmersos en azul de metileno filtraron el doble que los dientes sometidos a otros métodos de filtración.

Utilizar los colorantes como método de filtración apical presenta la ventaja de que estos soportan los cambios de ácidos y alcohol hasta que se meten en salicilato de metilo para la transparentización. Los autores concluyeron que, bajo idénticas condiciones, los diferentes colorantes y técnicas de evaluación producen diferentes modos de filtración.

Torabinejad y cols. (1993) estudiaron la capacidad de sellado del MTA como material de retroobtención comparándolo con la amalgama de plata libre de cinc²³ y el SuperEBA, utilizando para ello una solución acuosa de rodamina B fluorescente durante 24 horas. Se examinaron tres aspectos bajo el microscopio monofocal TSM:

- 1- Extensión de penetración del colorante.
- 2- Presencia o ausencia de huecos
- 3- Adaptación del material a las paredes de la cavidad.

En dicho estudio, al seccionar las raíces longitudinalmente para observarlas al microscopio se vio que, con la amalgama, el colorante penetraba en toda la extensión de la preparación. Le seguía el SuperEBA y, finalmente, el MTA, que era el que menos filtración presentaba.

Por otra parte, excepto en las muestras del MTA, la mayoría de las raíces seccionadas aparecieron con huecos en las paredes, variando de tamaño en la amalgama y en el SuperEBA. La amalgama presentaba además la peor adaptación en las paredes de la dentina.

²³ Kerr, Romulus, EEUU

Estos resultados coinciden con Aqrabawi (2000). En su estudio la preparación apical fue realizada con ultrasonidos en lugar de realizarla con fresa y el colorante utilizado fue azul de metileno al 1%. En dicho estudio se muestra que el 100% de los dientes obturados con MTA no presentó filtración de colorante por debajo del material de retroobtusión. La amalgama de plata obtuvo un 56% de muestras filtradas y el SuperEBA un 20% de dientes en los que el tinte filtró hasta la dentina.

También Soluti y cols. (1993) obtuvieron los mismos resultados y además demostraron que el MTA presenta una menor tendencia a la sobreobtusión una vez fraguado en la cavidad.

Roy y cols. (2001) estudiaron la filtración apical de amalgama, Geristore²⁴ (resina de ionómero de vidrio), Super-EBA, MTA, cemento de fosfato cálcico (BoneSource)²⁵ y MTA con una matriz de fosfato cálcico, realizando las cavidades con ultrasonidos, utilizando como colorante tinta china y sometiendo a los materiales a dos niveles de pH (5,0 y 7,4) durante 24 horas para valorar si éste influía en el aumento de filtración apical. Observaron que la impregnación ácida no afectó a la capacidad selladora de ninguno de los materiales estudiados y que incluso mejoró la de Geristore y MTA con matriz de fosfato cálcico. El MTA y el SuperEBA presentaron menos filtración que los demás materiales en ambos niveles de pH. Los autores opinan que serían necesarios períodos más largos de exposición para valorar si el pH afecta a la capacidad selladora de los materiales.

El propósito del estudio de Higa y cols. (1993) fue evaluar la capacidad de prevenir la filtración apical *in vitro*, con o sin presencia de sangre, en cavidades obturadas con amalgama, IRM, SuperEBA y MTA.

La mitad de las raíces fueron contaminadas con sangre y después se procedió a obturar todas ellas con los materiales de retroobtusión. El colorante elegido para estudiar la filtración fue el azul de metileno al 1%.

Como resultado final, se dedujo que la presencia o ausencia de sangre no influía en el aumento de filtración del colorante. Pero sí se encontraron diferencias en cuanto a la cantidad de filtración que presentaba cada material estudiado, siendo el MTA el que mostró la menor filtración.

Estos resultados están de acuerdo con Torabinejad y cols. (1994), quienes estudiaron el efecto de la humedad (agua y sangre) sobre la filtración apical después de obturar las cavidades con amalgama, IRM, SuperEBA y MTA. En los resultados finales se observó que la humedad no

²⁴ DenMat Corporation, Santa Maria, EEUU

²⁵ Osteogenics, Inc., Richardson, EEUU

tenía un efecto significativo sobre la cantidad de filtración de colorante (azul de metileno al 1%) pero sí lo tenía el material utilizado, siendo el IRM el que mostró la mayor filtración, seguido por amalgama y SuperEBA y MTA, que fue el que mejor resultados obtuvo.

El estudio llevado a cabo por Xavier y cols. (2005) tuvo como objetivo evaluar la capacidad de sellado apical (utilizando como colorante nitrato de plata) y la adaptación marginal de MTA Angelus, SuperEBA y Vitremer²⁶ y determinar la existencia de una correlación entre la microfiltración apical y la adaptación marginal de los materiales estudiados. En el estudio de filtración de colorante, el MTA Angelus tuvo valores intermedios entre los otros dos materiales estudiados. Este resultado pudo deberse bien a la acidez del colorante o a una posible reacción química entre el MTA y el nitrato de plata, ya que se observó la presencia del mismo dentro del MTA, o bien porque el cemento no estuviera fraguado del todo. Sin embargo, el MTA Angelus fue el cemento que mostró la mejor adaptación marginal, por lo que existe una falta de correlación entre la microfiltración y la adaptación marginal de los materiales, como también concluyen Abdal y cols. (1982), Torabinejad y cols. (1995b), Peters y cols. (2002) y Gondim y cols. (2003). El hecho de que no hubiera *gaps* no significó que no se produjera filtración de colorante. Según Spångberg y cols. (1989) la superficie dentinaria apical permite la penetración de colorante a lo largo de los túbulos dentinarios expuestos y los canales accesorios. Esto lleva a confusión a la hora de definir la verdadera filtración a través de la interfase diente-material o la falsa filtración a través de la dentina. Estrada y cols. (2006) observaron en su estudio de adaptación marginal que los 3 materiales estudiados (MTA Angelus, MTA Angelus + Sealapex, Sealapex + óxido de cinc) presentaron filtración de colorante similar en la interfase material retroobturador-superficie dentinaria expuesta de la pared cavitaria y, además, ésta fue mayor que la infiltración observada en la masa de los materiales estudiados, la cual no guardó relación ni con la infiltración marginal ni con la adaptación marginal, siendo todos los materiales aptos para retroobtención.

Gilheany y cols. (1994) muestran una correlación entre la permeabilidad de la dentina apical seccionada y la microfiltración alrededor del material de obturación. Observaron filtración de colorante a través de los túbulos dentinarios seccionados durante la apicectomía. Al incrementar la profundidad de la obturación apical disminuye la microfiltración. También aumenta la filtración apical conforme aumenta el bisel del ápice seccionado. Según estos autores, lo ideal sería:

²⁶ 3M Ltd., Sumaré SP, Brasil

ÁNGULO DEL BISEL	45°	30°	0°
PROFUNDIDAD PREPARACIÓN APICAL (mm)	2,5	2,1	1

Estrello y cols. (2006) compararon el MTA gris y el cemento Portland gris como materiales de retroobtención en un estudio de microfiltración de azul de metileno al 1% y determinaron que ambos cementos son aptos para utilizarlos como materiales de obturación apical.

Bortoluzzi y cols. (2006) evaluaron, mediante un estudio en el que utilizó como colorante rodamina B al 0,2%, la influencia de la adición de cloruro cálcico²⁷ en la capacidad de sellado de MTA Angelus blanco (que no contiene sulfato cálcico (yeso) para reducir el tiempo de fraguado), ProRoot MTA blanco y cemento Portland blanco. En sus resultados finales mostraron que la incorporación de cloruro cálcico mejoró la capacidad de sellado de los 3 cementos. Entre los materiales investigados, el cemento Portland blanco fue el que mejores resultados obtuvo seguido del MTA Angelus blanco. Abdullah y cols. (2002, 2003) ya comprobaron que la adición de cloruro cálcico al cemento Portland redujo su tiempo de fraguado y mejoró sus propiedades fisicoquímicas.

Martell y cols. (2002) estudiaron tres materiales utilizados para retroobtención: IRM, SuperEBA y MTA. Para ello realizaron dos ensayos con 33 caninos humanos extraídos: uno electroquímico y otro de filtración de colorante. Se realizó el tratamiento endodóncico de las muestras y se les colocó dentro del conducto un poste metálico que serviría como ánodo para la prueba electroquímica. Después se seccionaron los últimos 3 mm apicales y se realizó una cavidad retrógrada de 3 mm de profundidad. Las muestras se dividieron en 3 grupos de 10 y fueron obturadas con los 3 materiales de estudio; 3 caninos sirvieron como grupo control. Todas las muestras fueron cubiertas por 3 capas de esmalte de uñas excepto en su zona apical. Los ápices fueron introducidos 24 horas en sangre desfibrinada de caballo para simular las condiciones que se presentan en una cirugía. Luego se lavaron con agua y fueron inmersas hasta la unión amelocementaria en cloruro de potasio. Para el estudio electroquímico fue utilizada una corriente constante de 20 v. Los defectos que se habían producido al colocar el material en el ápice representaban el campo electroquímico. El flujo a través de la raíz

²⁷ Labsynth, Diadema SP, Brasil

representaba la filtración. Los resultados se recogieron durante 70 días. Después, las piezas fueron introducidas en azul de metileno al 1% durante 72 horas a 37°C y fueron seccionadas horizontalmente en la unión amelocementaria y después, longitudinalmente. La porción bucal y lingual fue eliminada con un disco de diamante y un escoplo. La filtración fue medida por 6 evaluadores utilizando lentes a 2,5 aumentos. En cuanto a los resultados finales, en el ensayo electroquímico, durante los 5 primeros días no habían diferencias entre los materiales pero a partir de ahí, MTA mostró menos filtración eléctrica que SuperEBA y también éste filtró menos que IRM. En cuanto a la filtración de colorante, MTA mostró mejor sellado que IRM y SuperEBA, pero no apareció una diferencia significativa entre estos dos últimos.

Por lo que el MTA resultó ser el material que mejor sellaba en ambos ensayos clínicos. Y el SuperEBA resultó también mejor que el IRM, aunque en el segundo ensayo la diferencia es mínima.

Shahi y cols. (2007) evaluaron la capacidad de sellado en cavidades apicales de MTA blanco y gris mezclados en unos casos con agua destilada y en otros con clorhexidina al 0.12%. Tras exponer los dientes a tinta india y realizar las secciones longitudinales observaron que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los 4 grupos de estudio.

Estrada y cols. (2006) realizaron un estudio para observar la filtración marginal en cavidades apicales obturadas con:

- 1- MTA Angelus
- 2- Sealapex²⁸ + óxido de cinc²⁹
- 3- Sealapex + MTA Angelus

Los resultados fueron similares para todos los cementos estudiados, sin diferencias estadísticamente significativas, aunque, en relación con los otros grupos, Sealapex + MTA Angelus presentó los menores índices de filtración. La idea de mezclar el MTA con el Sealapex se hizo para observar si mejoraban las propiedades de manipulación del MTA, como ya hicieran Abdullah y cols. (2002, 2003) y Juárez y cols. (2006a) cuando añadieron cloruro de calcio para acelerar su tiempo de endurecimiento y facilitar su inserción y manipulación. De hecho, al mezclar Sealapex con MTA se consiguió un cemento consistente, de fácil manipulación e inserción, facilitando sobremanera la maniobra operatoria en las retrocavidades. Además, dicha mezcla no interfirió en la capacidad selladora marginal.

²⁸ Kerr, Romulus, EEUU

²⁹ SS White, Gloucester, Inglaterra

Según Holland y cols. (2005), en las obturaciones retrógradas los materiales selladores pueden ser mejor condensados y adaptados que en las perforaciones laterales. Por este motivo, los autores evaluaron la capacidad de sellado de:

- 1- Sealapex
- 2- Sealapex + óxido de zinc
- 3- Sealapex + óxido de zinc + 20% de óxido de calcio³⁰
- 4- Proroot MTA
- 5- MTA Angelus
- 6- Ionómero de vidrio Fuji II
- 7- Cemento Portland
- 8- Amalgama

En sus resultados finales el MTA ProRoot fue el material que exhibió la mayor filtración marginal, pero sin diferencia estadística con el cemento Portland, Amalgama y MTA Angelus. Los mejores resultados se obtuvieron con los 3 cementos a base de Sealapex.

Los resultados no están de acuerdo con los observados en la literatura, que apunta menor filtración marginal con el ProRoot MTA comparativamente a la amalgama y ionómero de vidrio [Torabinejad y cols., 1993; Lee y cols., 1993; Nakata y cols., 1997; Fischer y cols., 1998; Scheerer y cols., 2001; Roy y cols., 2001]. Pero haciendo una comparación en la metodología del estudio, casi todos los experimentos de la literatura analizaron la filtración marginal en obturaciones retrógradas, las cuales poseen un mínimo de 3 mm de profundidad y usualmente tienen un piso contra el cual puede condensarse el material, mientras que las cavidades de este estudio tenían dimensiones menores y ausencia de piso para condensar el material. Así, el material sellador fue aplicado en el interior de las cavidades de modo más suave, sin condensación, simulando mejor las condiciones clínicas, así que es posible que estas variables hayan influido en los resultados finales.

2.2.8.2- Estudios sobre microfiltración utilizando un método de filtración de fluidos

Bates y cols. (1996) utilizando una presión de 20 psi (1406 cm H₂O) encontraron que MTA fue comparable al SuperEBA y superior a la amalgama como material de retroobtención en un estudio que duró 12 semanas. Los resultados coinciden con Yatsushiro y cols. (1998), quienes mostraron que la amalgama presentaba mayor filtración que MTA como materiales de obturación

³⁰ Merck KGaA, Darmstadt, Alemania

apical a las 4 semanas con una presión de estudio de 10 psi (703 cm H₂O) y con Fogel y cols. (2001), quienes compararon la filtración producida en cavidades apicales obturadas con MTA y SuperEBA, IRM, amalgama Permite C³¹ y un agente de unión a dentina como Clearfil Liner Bond 2³² y cemento de cianocrilato Zapit³³, utilizando una presión de 5 a 10 psi [Derksen y cols., 1986] y observaron que el MTA presentó unos resultados comparables al SuperEBA en cuanto a la prevención de la filtración y mucho mejor que la amalgama.

Sin embargo Wu y cols. (1998), a una presión de 0,1 atm (103 cm H₂O - 76 mm Hg), observaron que tanto el ionómero de vidrio como el MTA mostraron menos filtración que la amalgama y el SuperEBA en obturaciones retrógradas en un período de estudio de 24 horas a 3 meses.

2.2.8.3- Estudios sobre microfiltración de bacterias

Según Siqueira y cols. (2001) para estudiar la capacidad selladora de los materiales que se utilizan en endodoncia es más fiable utilizar un método de filtración bacteriana.

Torabinejad y cols. (1995a) mostraron en su estudio el tiempo necesario para que el *Staphylococcus epidermidis* penetrara 3 mm de espesor de amalgama, SuperEBA, IRM y MTA. La mayoría de las muestras obturadas con MTA (8 de 10) no mostraron filtración a lo largo de los 90 días que duró el estudio, mientras que el resto de materiales presentó filtración desde los 6 a los 57 días, no encontrándose entre estos diferencias significativas pero sí con el MTA, que filtró significativamente menos que el resto de materiales estudiados.

Fischer y cols. (1998) estudiaron el tiempo que necesita *Serratia marcescens* para penetrar en 3 mm de espesor de diferentes materiales utilizados para retroobtención: IRM, SuperEBA, amalgama libre de cinc y MTA. Las muestras fueron monitorizadas cuatro veces por semana. En los resultados que se obtuvieron el MTA no filtró hasta el día 49 y 4 de las 10 muestras no presentaron filtración en los 120 días que duró el estudio. La amalgama filtró desde el día 10 al 63, el IRM desde el 21 al 73 y el SuperEBA desde el 24 al 91. Así, el mejor sellado se obtuvo con MTA, posiblemente por la expansión que produce en presencia de humedad mientras fragua.

³¹ Southern Dental Industries, Melbourne, Australia

³² J. Morita USA Inc., Tustin, EEUU

³³ Dental Ventures of America Inc., Anaheim Hills, EEUU

Sin embargo, Adamo y cols. (1999) y Mangin y cols. (2003) no encontraron diferencias significativas en cuanto a la filtración que se produjo en MTA y otros materiales para retroobtención al ser expuestos al *Streptococcus salivaris* y al *Enterococcus faecalis* respectivamente, posiblemente debido a la metodología utilizada en cada uno de los estudios. Igualmente, Scheerer y cols. (2001) no hallaron filtración apical producida por *Prevotella nigrescens* debido seguramente a que el tamaño de ésta es seis veces superior al del *Staphylococcus epidermidis* y al de la *Serratia marcescens*.

Tang y cols. (1997, 2002) compararon la capacidad de algunos materiales para prevenir la filtración de endotoxinas cuando son utilizados para obturación apical. La endotoxina es un polisacárido presente en la pared de las células Gram -. Presenta propiedades proinflamatorias y participa en la patogénesis de las lesiones perirradiculares. Demostraron que, además de las bacterias, los bioproductos bacterianos también son capaces de desarrollar patología pulpar y perirradicular. Utilizaron la endotoxina para evaluar la capacidad selladora de SuperEBA, IRM, amalgama y MTA. La endotoxina penetra a través de los canales obturados con gutapercha sin cemento. Se realizaron mediciones en cuatro intervalos de tiempo: 1, 2, 6 y 12 semanas. El MTA mostró el sellado más efectivo contra la filtración de la endotoxina, seguido por SuperEBA, IRM y por último la amalgama, en la mayoría de los intervalos, aunque en la primera y sexta semana, no había diferencias entre MTA y SuperEBA.

Además de la filtración bacteriana a través del ápice, también se ha estudiado la capacidad del MTA para evitar la contaminación bacteriana a través de la apertura coronal en piezas endodonciadas, como en el estudio realizado por Mah y cols. (2003) en el que, posiblemente porque se necesita un tiempo de estudio más largo, no llegaron a obtener conclusiones determinantes que indicaran que el colocar MTA en la cámara pulpar tras una endodoncia evita la filtración de bacterias y el desarrollo de periodontitis, y el realizado por Tselnik y cols. (2004), en el que se concluye que tanto el MTA gris como el blanco son materiales recomendados para utilizar como barrera coronal.

El objetivo del estudio llevado a cabo por Hachmeister y cols. (2002) fue comprobar la capacidad de sellado y la retención que presenta el MTA cuando es colocado vía ortógrada en dientes con ápice abierto que necesitan un tratamiento de apicoformación. Los resultados fueron:

- 1- Grupo obturado vía retrógrada:
20% de dientes con filtración bacteriana a los 60 días
- 2- Grupo obturado coronalmente:
91% de dientes con filtración bacteriana a los 10 días

Pero también hay que tener en cuenta que es más sencillo obturar el MTA a través de una cavidad retrógrada que no a través del conducto radicular en un diente con ápice abierto, con lo cual es más posible que esta filtración se debiera más al método de colocación del cemento que al MTA en si mismo. Comprobaron que existe mayor resistencia al desalojo del MTA cuando éste presenta 4 mm de espesor que cuando presenta tan solo 1 mm, aunque no existe diferencia en cuanto a la filtración relacionada con el espesor de MTA colocado, lo cual difiere de los resultados de Lamb y cols. (2003) y Valois y cols. (2004), que demostraron que el espesor necesario de MTA en las cavidades retrógradas debe ser de 4 mm para evitar la filtración apical, y de los resultados de Pecora y cols. (2004), quienes observaron que a una profundidad de la preparación apical de 3 mm se obtenía mejor sellado con cualquiera de los materiales estudiados que a una profundidad de 1 mm.

Malcic y cols. (2007) y Ferk y cols. (2008) realizaron un estudio para comprobar cual era la mejor combinación de sellador intraconducto y sellador apical para obtener un sellado óptimo del canal radicular. Los resultados obtenidos indican que la combinación de Diaket³⁴ (una resina de polivinilo y que contiene óxido de cinc eugenol, que fue formulada inicialmente como cemento sellador y que después empezó a utilizarse como material de obturación apical y que presenta las ventajas de que es fácil de manipular y de compactar en las preparaciones apicales, es radioopaco, fragua con rapidez y puede ser pulido con una fresa de diamante) como cemento sellador intraconducto y MTA como cemento periapical funcionaron mejor que cualquier otra combinación, ya que el 31% de la muestras no presentaron filtración bacteriana al final del estudio (91 días).

2.2.9- ADAPTACIÓN MARGINAL

La importancia de este dato reside en que cuanto mayor sea la capacidad de un material para adaptarse a las paredes de dentina menor será la filtración de bacterias que se produzca.

³⁴ 3M ESPE, Seefeld, Alemania

El propósito del estudio llevado a cabo por Torabinejad y cols. (1995b) fue comparar la adaptación marginal en obturaciones retrógradas de MTA con las de amalgama, SuperEBA e IRM. Después de observar las muestras bajo microscopio electrónico de barrido se analizaron estadísticamente los datos comparando el tamaño de los huecos existentes entre la dentina y el material de retroobturbación. El IRM y el SuperEBA mostraron huecos más grandes que la amalgama. Las retroobturbaciones de MTA no presentaron huecos. Esto podría deberse a la posible expansión de material durante su fraguado. Por tanto concluyeron que el MTA proporciona mejor adaptación y sellado que el resto de materiales utilizados para retroobturbación.

Igual resultado obtuvieron en su estudio Peters y cols. (2002), quienes compararon la adaptación marginal y la presencia de microgrietas en cavidades apicales obturadas con MTA y EBA después de someter a las muestras a fuerzas oclusales equivalentes a 5 años de masticación.

Tanto MTA como EBA mostraron excelentes resultados en la adaptación marginal antes de someterse a la carga oclusal y después de la carga, a pesar de que la continuidad del margen disminuyó, los resultados siguieron siendo buenos para ambos materiales, siendo algo superiores para el MTA. Éste material presenta en su composición 5% de sulfato de calcio dihidratado que expande durante el fraguado, el cual se produce durante 24 horas, lo que podría explicar los mejores resultados obtenidos.

Varias muestras de MTA mostraron infraobturbación antes de la carga y el número de raíces infraobturadas aumentó después de la carga, aunque esto no influyó en la integridad marginal de las obturaciones. En condiciones *in vivo* la desintegración que se produce en la capa externa del material es autolimitante. El efecto del MTA sobre los cementoblastos produce un crecimiento completo de cemento sobre la superficie del mismo [Torabinejad y cols., 1997a], el cual permanece en íntimo contacto tanto con el MTA como con el periodonto, lo cual limita la pérdida del material de retroobturbación. Las muestras obturadas con EBA estaban sobreobturadas antes de la carga a pesar de que la retroobturbación se pulió con fresa de diamante. El número de muestras con sobreobturbación disminuyó después de la carga.

Respecto a la presencia de grietas, las raíces mesiovestibulares de los molares maxilares estudiados se mostraron más sensibles debido posiblemente a su anatomía. Aparecieron 4 muestras con grietas completas, pero este dato requiere de más investigación, puesto que no se sabe si los que aparecen incompletos se transformarían en completos con el paso del tiempo.

Como conclusión final, tanto MTA como EBA poseen excelente adaptación marginal antes de ser sometidos a carga masticatoria, y después de la carga, los resultados empeoran, sobre todo para el EBA, aunque siguen siendo altos para ambos materiales.

El estudio llevado a cabo por Bozeman y cols. (2006) compara la capacidad formadora de cristales de hidroxiapatita de MTA blanco y gris. Ambos cementos liberan calcio en abundancia [Bhambra y cols., 2007], que interaccionan con los grupos fosfatos del medio y forman hidroxiapatita [Sarkar y cols., 2005]. El MTA gris produce mayor cantidad de cristales de hidroxiapatita, lo cual puede producir una disminución en la filtración de bacterias entre el cemento y las paredes de dentina. Fridland y cols. (2003) observaron que el MTA fraguado, al igual que otros cementos, presentaba burbujas, huecos y poros que pueden permitir el acceso de bacterias y toxinas entre el material y las paredes dentinarias. Pero el hecho de que se elimine calcio al medio y se favorezca la formación de cristales de hidroxiapatita permitirá que los huecos se tapen con la hidroxiapatita formada, lo cual podría explicar los buenos resultados del MTA en la capacidad de prevenir la filtración a pesar de los huecos iniciales.

Shipper y cols. (2004) compararon la adaptación marginal de amalgama y MTA en una cavidad apical y concluyeron que con MTA se obtuvo mejor adaptación a las paredes de la cavidad. Esto pudo deberse a la naturaleza del MTA, puesto que absorbe agua durante la hidratación del polvo y podría sufrir expansión durante su endurecimiento, lo cual también podría explicar el hecho de que hubiese más incidencia de grietas en las cavidades obturadas con MTA.

2.3- PROPIEDADES BIOLÓGICAS

2.3.1- ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DEL MTA

El efecto antibacteriano de los materiales de retroobtención debe ser el factor esencial para prevenir el crecimiento de las bacterias en el sistema de conductos radiculares, donde las bacterias que suelen estar presentes son las anaerobias puesto que están bien adaptadas a sobrevivir en la toxicidad de la pulpa necrótica y en los túbulos dentinarios cuando el suplemento de sangre o de oxígeno es limitado o no existe [Lai y cols., 2003].

Hong y cols. (1993) sometieron al MTA, amalgama de plata y SuperEBA a la acción de ciertas bacterias facultativas de la flora oral y estudiaron la capacidad de cada uno para inhibir su crecimiento de:

<i>Lactobacillus species</i>
<i>Streptococcus fecaelis</i>
<i>Streptococcus mitis</i>
<i>Streptococcus salivanus</i>
<i>Streptococcus mutans</i>

En los resultados finales se demostró que la amalgama de plata y el SuperEBA no presentaban propiedades antimicrobianas contra estos microorganismos, mientras que el MTA tuvo efecto sobre todos ellos.

Torabinejad y cols. (1995d) realizaron un estudio para comparar los efectos antibacterianos de amalgama, óxido de cinc-eugenol, SuperEBA y MTA. Estudiaron su efecto sobre:

BACTERIAS FACULTATIVAS	ANAEROBIOS ESTRICTOS
<i>Streptococcus fecalis</i>	<i>Prevotella (Bacteroides) buccae</i>
<i>Streptococcus mutans</i>	<i>Bacteroides fragilis</i>
<i>Streptococcus mitis</i>	<i>Prevotella (Bacteroides) intermedia</i>
<i>Streptococcus salivarius</i>	<i>Prevotella (Bacteroides) melaninogenica</i>
<i>Lactobacillus species</i>	<i>Fusobacterium necrophorum</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Fusobacterium nucleatum</i>
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	
<i>Escherichia coli B</i>	

En cuanto a los resultados obtenidos, la amalgama resultó no tener efecto sobre ninguna bacteria. MTA tuvo efecto sobre cinco de las nueve bacterias estudiadas, posiblemente debido a su pH, coincidiendo con los resultados de Hong y cols. (1993), pero no tuvo efecto sobre ninguna de las bacterias anaerobias estrictas. El óxido de cinc-eugenol y el SuperEBA tuvieron

efecto antibacteriano sobre algunas de las bacterias de ambos tipos, debido a la presencia de eugenol libre en ambos cementos, puesto que el eugenol por sí solo presenta efectos antibacterianos. Así que, basándose en estos resultados, llegaron a la conclusión de que ninguno de los materiales estudiados tenía el completo efecto antibacteriano deseado en materiales de retroobtención, que el efecto antibacteriano de estos materiales debía ser temporal y corto en el tiempo y que el efecto antibacteriano observado en el MTA debió ser resultado de su capacidad de sellado más que de sus propiedades antibacterianas.

Estrela y cols. (2000) realizaron un estudio en el cual se examinó la capacidad antimicrobiana del MTA, cemento Portland, pasta de hidróxido de calcio puro, Sealapex y Dycal³⁵. Para ello utilizaron, tanto individualmente como en una mezcla:

<i>Staphylococcus aureus</i>
<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Bacillus subtilis</i>
<i>Cándida albicans</i>

Los resultados mostraron que la actividad antimicrobiana de la pasta de hidróxido de calcio puro era superior a la del MTA, cemento Portland, Sealapex y Dycal, ya que fue el que más inhibición y difusión bacteriana produjo sobre todos los microorganismos estudiados. MTA, cemento Portland y Sealapex sólo mostraron áreas de difusión, obteniendo los mejores resultados el Sealapex. Y el Dycal no mostró ni zonas de inhibición ni de difusión bacteriana.

Eldeniz y cols. (2006) estudiaron el efecto de amalgama, ProRoot MTA, IRM, SuperBond C&C³⁶, Geristore, Dyract³⁷, Clearfil APX³⁸ y composite con SE Bond³⁹ o Protect Bond⁴⁰ sobre:

³⁵ Dentsply, Petrópolis, Brasil

³⁶ Sun Medical, Japón

³⁷ Dentsply, DeTrey, Konstanz, Alemania

³⁸ Kuraray, Okayama, Japón

³⁹ Kuraray, Okayama, Japón

⁴⁰ Kuraray, Okayama, Japón

<i>Staphylococcus aureus</i>
<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

En sus resultados finales observaron que, en fresco, todos los materiales mostraron un retraso de 3 horas en el crecimiento exponencial de *Enterococcus faecalis* y *Staphylococcus aureus* y de 5 horas en el de *Pseudomonas aeruginosa*. IRM y ProRoot MTA fraguados mostraron mayor actividad antibacteriana que los otros materiales: ambos inhibieron completamente la *Pseudomonas aeruginosa* y retrasaron o limitaron el crecimiento de *Enterococcus faecalis*, así que llegaron a la conclusión de que tanto IRM como ProRoot MTA eran inhibidores más potentes sobre el crecimiento bacteriano que los otros materiales estudiados.

Stowe y cols. (2004) investigaron si la sustitución de agua estéril por clorhexidina al 0,12% en la mezcla de MTA blanco potenciaba el efecto antibacteriano del mismo contra:

<i>Actinomyces odontolyticus</i>
<i>Fusobacterium nucleatum</i>
<i>Streptococcus sanguis</i>
<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>Escherichia coli</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Candida albicans</i>

La clorhexidina ha sido utilizada como desinfectante general por su acción antibacteriana. También ha sido demostrada su acción para inhibir la caries dental y reducir la formación de placa dental, así como para el tratamiento de la enfermedad periodontal. Todas las muestras de MTA inhibieron el crecimiento microbiano independientemente del agente con que se mezclara, pero con clorhexidina mostró zonas de mayor inhibición, por lo que concluyeron que la sustitución de agua estéril por clorhexidina al 0,12% aumenta la actividad antibacteriana del MTA blanco. Entre los microorganismos estudiados se encontraban *Enterococcus faecalis*, porque es el que más frecuentemente aparece en los fracasos endodóncicos, y *Candida albicans*, porque aparece en raíces obturadas que presentan periodontitis apical crónica.

Este estudio coincide con el de Hernández y cols. (2005), quienes demostraron que la sustitución de agua estéril por clorhexidina en la mezcla de MTA blanco produce un aumento en su capacidad antimicrobiana que se acompaña de un modesto pero significativo incremento de su citotoxicidad, aunque también añaden que la manifestación de estos efectos citotóxicos *in vivo* no han sido determinados, y con Holt y cols. (2007a, b), quienes demostraron que al mezclar MTA gris y blanco con clorhexidina al 2% se incrementa el efecto antimicrobiano de los mismos contra *Enterococcus faecalis*, aunque también se produce una disminución en la fuerza de compresión de los cementos.

Al-Hezaimi y cols. (2007) compararon la actividad antimicrobiana del MTA blanco y gris contra *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus sanguis* y *Streptococcus durans* y observaron que el MTA gris necesita menor concentración que el MTA blanco para tener el mismo efecto antibacteriano.

Al-Nazhan y cols. (2003) y Mohammadi y cols. (2007) realizaron un estudio para determinar la efectividad del MTA para eliminar al hongo *Cándida albicans*, presente en raíces infectadas y en los tejidos perirradiculares en periodontitis apicales. Los resultados demostraron que tanto fresco como fraguado el MTA (blanco y gris) eliminó al hongo *Cándida albicans*. Esto pudo ser debido tanto a su alto pH como a la difusión de sustancias, como el hidróxido de calcio, al medio de cultivo.

Al-Hezaimi y cols. (2005) estudiaron el efecto antifúngico de diferentes concentraciones de MTA blanco sobre *Cándida albicans* y mostraron que, en concentraciones de 50mg/ml es efectivo contra el hongo por periodos de 3 días y que menores concentraciones resultarían inefectivas. Aunque, posteriormente, los mismos autores realizaron en 2006 un estudio para comparar el efecto de varias concentraciones de MTA blanco y gris sobre *Cándida albicans* y observaron que ambos son efectivos contra el hongo a concentraciones de 25-50 mg/ml por periodos de una semana y que el MTA gris lo es también a menores concentraciones. Parece ser que mientras ciertas concentraciones de los dos tipos de MTA presentan características similares y biocompatibilidad, concentraciones más diluidas pueden afectar principalmente la acción antifúngica del MTA blanco contra *Cándida albicans*, que presenta la habilidad de colonizar los canales radiculares e invadir los túbulos dentinarios.

2.3.2- CITOTOXICIDAD

Un estudio muy interesante que muestra cómo influye la toxicidad del material en la forma y la adhesión de las células es el realizado por Balto y cols. (2003). En él estudiaron la influencia de tres materiales (amalgama de plata, SuperEBA y gutapercha con cemento AH26) sobre el

crecimiento de fibroblastos del ligamento periodontal humano. Los resultados demostraron que tanto la textura de la superficie del cemento como su composición afectan a la forma y unión de los fibroblastos. La rugosidad y topografía de una superficie indica el tipo de adhesión, migración, proliferación y diferenciación celular. Así, superficies suaves dan lugar a una buena adhesión y dispersión celular, mientras que en las superficies donde la rugosidad aumenta disminuye la proliferación de las células [Pérez y cols., 2003].

La amalgama de plata presentó la superficie más rugosa de los tres. A las cuatro horas ya se observó daño en los fibroblastos, que aparecieron con forma redondeada y discoide y con vacuolas en su superficie. Conforme fue pasando el tiempo disminuyó el número de los mismos. Las vacuolas vistas en la superficie de los fibroblastos pudieron deberse a la liberación de varios metales en el medio. La plata pura no es tóxica pero sí lo son el mercurio, el cobre y el cinc, que es el más tóxico, se difunde hasta la superficie y se libera fácilmente en las células del medio. Por ello, en este estudio la toxicidad de la amalgama se vio que aumentaba con el tiempo.

El SuperEBA presentó una superficie más lisa que la amalgama, aunque más rugosa que la gutapercha, y buena adaptación a las paredes de la dentina. Los fibroblastos aparecieron discoides con superficie suave y una pequeña depresión. Según pasó el tiempo, la mayoría de las células se mostraron redondeadas y con la superficie rugosa, con depresiones y vacuolas. Los fibroblastos se unieron mejor sobre este cemento que sobre la amalgama, posiblemente por la superficie más suave; las vacuolas pudieron ser debidas a la liberación de eugenol, el único componente que parece tóxico y que inhibe la respiración celular y produce la lisis de la membrana citoplasmática. La tasa de liberación es muy lenta y se produce durante al menos un año. La liberación de eugenol, aunque citotóxica [Ho y cols., 2006], es antibacteriana y útil en ciertas situaciones clínicas, ya que el IRM ha sido utilizado para tratar dientes sintomáticos en lesiones de caries profundas [Markowitz y cols., 1992]. La liberación de cinc puede ser también parcialmente responsable del efecto citotóxico prolongado de este material, lo que no coincide con el estudio realizado por Bruce y cols. (1993), quienes concluyeron que SuperEBA no mostró citotoxicidad, posiblemente por el método de estudio utilizado, que fue el del *agar overlay*, que como explicaremos posteriormente, impide el contacto directo entre las células y el material estudiado.

Por último, la gutapercha presentó una superficie más suave y esto, junto con la biocompatibilidad de la misma y del cemento AH26, favoreció la buena unión y forma de los fibroblastos, así que resultó ser el mejor sustrato para la unión y crecimiento celular.

La respuesta celular al MTA ha sido objeto de diversos estudios en los cuales el MTA ha sido puesto en contacto con todo tipo de células.

Koh y cols. (1998) encontraron que las células de osteosarcoma MG-63 entraron en contacto con el MTA tanto el día 1 como el día 3 del estudio y mostraron buena adhesión y dispersión durante 6 días de crecimiento. Iguales resultados obtuvieron Mitchell y cols. (1999), quienes encontraron que las células de osteosarcoma MG-63 se adherían y dispersaban sobre distintas formulaciones de MTA durante 7 días. Abdullah y cols. (2002, 2003) observaron que las células de osteosarcoma Saos-2 se adherían al MTA en 12 horas y proliferaban durante 3 días. Igualmente, Zhu y cols. (2000) mostraron que células SaOS-2 podían adherirse y dispersarse sobre el MTA en 24 horas. Los autores evaluaron con un microscopio electrónico de barrido la respuesta de células SaOS-2 al entrar en contacto con materiales de retroobtusión como son MTA, IRM, composite y amalgama. La adhesión y la extensión y diseminación de las células sobre la superficie del material son la primera fase de la función celular. La persistencia de células redondeadas con poca o ninguna expansión significa que el material puede ser tóxico. Este estudio mostró que las células SaOS-2 presentan una respuesta favorable a la resina de composite y al MTA, con buena adhesión y diseminación celular, comparados con IRM y amalgama, sobre los cuales la adhesión era pobre con diseminación de algunas pocas células. Camilleri y cols. (2004) hallaron buena biocompatibilidad del MTA blanco y gris al ponerlo en contacto con células de osteosarcoma SaOS-2, aunque en este estudio observaron que el crecimiento celular se redujo cuando el MTA ya estaba fraguado, a los 28 días, lo cual puede indicar que la biocompatibilidad está relacionada con la cantidad de hidróxido de calcio producida durante el proceso de hidratación, puesto que a los 28 días la reacción de silicato tricálcico ya se había completado y había menos cantidad de hidróxido de calcio disponible para liberarse en la solución.

Posteriormente (2005), los autores compararon la biocompatibilidad de MTA blanco y gris, cemento Portland blanco y gris y Proto A y Proto B y encontraron que la tasa de crecimiento de células de osteosarcoma fue pobre para todos los cementos, aunque sí se observó que el hidróxido de calcio producido durante la reacción de hidratación indujo la proliferación celular, y que los resultados fueron similares para todos los materiales estudiados. En este estudio no se

observaron diferencias entre MTA blanco y gris, en contraste con los resultados obtenidos por Pérez y cols. (2003), quienes mostraron mayor biocompatibilidad del MTA gris.

Estos estudios utilizaron condiciones *in vitro* para examinar interacciones microscópicas entre células de osteosarcoma y materiales de obturación apical. Las células de osteosarcoma presentan una alta tasa de diferenciación capaz de inducir la formación de hueso [Camilleri y cols., 2004], pero aunque se asemejan a los osteoblastos, existen alteraciones en sus mecanismos de regulación biológicos que las diferencia de los osteoblastos primarios [Al-Rabeah y cols., 2006].

Así, Pérez y cols. (2003) compararon la respuesta de células de osteosarcoma MG-63 y osteoblastos primarios al MTA y observaron marcadas diferencias en su adhesión. Mientras que las células de osteosarcoma rápidamente hicieron contacto tanto con el MTA gris como con el MTA blanco, los osteoblastos no fueron capaces de mantener el contacto con el MTA blanco más de 13 días. Además, los osteoblastos formaron nódulos minerales mientras que los cultivos de osteosarcoma no mineralizaron. Concluyeron que los osteoblastos son más sensibles y adecuados para estudiar las interacciones celulares con materiales endodóncicos porque simulan bien situaciones *in vivo*.

También los fibroblastos han sido utilizados para el estudio de los efectos citotóxicos de los diferentes materiales utilizados en endodoncia.

Robinson y cols. (1993) investigaron la unión fibroblástica a los materiales de retroobtención. Los materiales que estudiaron fueron: amalgama, IRM, EBA, dos tipos de ionómero de vidrio y gutapercha. Para ello se examinó el efecto citotóxico de los mismos estudiando la síntesis de RNA. En los resultados finales se observó que el IRM y EBA producían inhibición en la síntesis de RNA, mientras que amalgama, gutapercha y ionómero de vidrio parecían no presentar efectos tóxicos sobre los fibroblastos gingivales. Sin embargo, Tai y cols. (2000) mostraron que tanto la amalgama como la resina y el ionómero de vidrio eran citotóxicos sobre las células de ligamento periodontal humano, coincidiendo con Meryon y cols. (1983), aunque también añaden que la evidencia clínica de estos efectos tóxicos se observa muy raramente y que la respuesta reparativa del huésped generalmente se sobrepone a estos efectos irritativos.

Bonson y cols. (2004) utilizaron fibroblastos para estudiar la respuesta a varios materiales de obturación apical, incluyendo el MTA. Los cultivos de células primarias de fibroblastos gingivales humanos y fibroblastos del ligamento periodontal sobrevivieron y proliferaron en presencia de MTA durante 11 días. Algunas de las células se unieron y crecieron sobre partículas de MTA. También Pistorius y cols. (2003) observaron que el MTA presentaba un efecto positivo en el

crecimiento de fibroblastos gingivales humanos, favoreciendo su actividad metabólica, mientras que la amalgama produjo la inhibición de las proteínas celulares y de la síntesis de prostaglandinas, demostrando que presenta un efecto dañino sobre las células estudiadas. Balto (2004) encontró que fibroblastos del ligamento periodontal humano se adherían al MTA en 4 horas y se dispersaban en 24 horas. Realizó un estudio para determinar la morfología y la adhesión de los fibroblastos del ligamento periodontal humano sobre el MTA fresco y fraguado. Las células que aparecieron sobre el MTA fresco fueron redondas, de baja densidad, no adheridas al MTA y con vacuolas en su superficie. Sin embargo sobre el MTA fraguado aparecieron células redondeadas y planas firmemente adheridas al MTA y, conforme aumentó el tiempo de incubación, el número de fibroblastos unidos al MTA fue también mayor.

La persistencia de células redondas o escasa extensión de las mismas indica toxicidad del material. La citotoxicidad de las muestras en fresco de MTA pudo ser debida a la presencia de componentes tóxicos en este material que afectaron tanto a la forma como al comportamiento de adhesión de las células. De hecho, la citotoxicidad de muchos materiales se ve reducida con el paso del tiempo [Bruce y cols., 1993].

Osorio y cols. (1998) estudiaron sobre fibroblastos de ratón la citotoxicidad de varios materiales utilizados para retroobtención, de los que el MTA resultó ser el material menos citotóxico, encontrándose también resultados favorables para el Gallium GF II⁴¹, mientras que el ionómero de vidrio con plata Ketac-Silver mostró gran citotoxicidad, al igual que el SuperEBA y la amalgama de plata. Los resultados coinciden con los obtenidos por Koulaouzidou y cols. (2005), los cuales demostraron que el MTA era biocompatible sobre diferentes líneas de fibroblastos, al igual que el ionómero de vidrio GC Fuji II, mientras que el óxido de cinc eugenol mostró altos niveles de citotoxicidad, y con Vajrabhaya y cols. (2006). Los autores simulaban el efecto que se producía al entrar en contacto el material reparador presente en la perforación de furca sobre la proliferación celular, la cual estaba representada por el número viable de células de ligamento periodontal después de la exposición al material reparador durante 3 días. Los resultados mostraron claramente que el MTA era menos tóxico que el ionómero de vidrio Ketac-Molar⁴². Los autores piensan que la explicación podría ser que el ionómero de vidrio presenta liberación de flúor, el cual inhibe la división celular y causa muerte de células de la médula ósea, mientras que el MTA presenta entre sus componentes silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido tricálcico y óxido de sílice, que son los compuestos principales del tejido duro dental.

⁴¹ Tokuriki Honten Co., Tokio, Japón

⁴² 3M ESPE, Seefeld, Alemania

Torabinejad y cols. (1995e) realizaron un estudio para comparar la citotoxicidad de la amalgama de plata, SuperEBA, IRM y MTA sobre fibroblastos de ratón utilizando dos métodos de estudio: técnica del *agar overlay* y técnica del radiocromo. Los datos que se obtuvieron en este estudio fueron que todos los materiales resultaban citotóxicos en fresco, siendo la amalgama la menos tóxica, con la técnica del agar, y el MTA con la técnica del radiocromo.

MATERIALES EN FRESCO	TOXICIDAD
AGAR-OVERLAY	Amalgama < MTA < SuperEBA < IRM
RADIOCROMO	MTA < Amalgama < SuperEBA < IRM

La técnica del *agar overlay* previene el contacto directo entre los materiales estudiados y las células cultivadas y sólo los materiales que contienen líquido pueden difundirse en el agar y entrar en contacto con las células. De los materiales estudiados, solamente la amalgama no estaba mezclada con líquido. Sin embargo el método del radiocromo es más exacto porque permite el contacto directo entre los materiales estudiados y las células cultivadas.

La amalgama fraguada resultaba menos tóxica con el método del agar y con el radiocromo el menos citotóxico resultó ser el MTA. Además, el IRM resultó ser más citotóxico fraguado que fresco, debido seguramente a su desintegración y liberación de eugenol.

MATERIALES FRAGUADOS	TOXICIDAD
AGAR-OVERLAY	Amalgama < MTA < IRM < SuperEBA
RADIOCROMO	MTA < Amalgama < IRM < SuperEBA

El grado de descenso de citotoxicidad en los materiales fraguados después de 24 horas fue MTA > amalgama = SuperEBA > IRM.

Para estudiar el grado de citotoxicidad del MTA, Keiser y cols. (2000) realizaron un estudio en el cual emplearon fibroblastos del ligamento periodontal humano y compararon éste con amalgama de plata y SuperEBA tras una exposición de 24 horas a extractos de diversas concentraciones. Los resultados obtenidos después de realizar los cultivos necesarios y de analizar los datos fueron los siguientes:

CITOTOXICIDAD MATERIALES RECIÉN MEZCLADOS

MTA < SUPEREBA < AMALGAMA

CITOTOXICIDAD MATERIALES FRAGUADOS (BAJA CONCENTRACIÓN)

MTA = AMALGAMA < SUPEREBA

CITOTOXICIDAD MATERIALES FRAGUADOS (MAYOR CONCENTRACIÓN)

MTA < AMALGAMA < SUPEREBA

En sus conclusiones finales apoyan el uso de MTA en el área apical. También Gorduysus y cols. (2007) concluyeron que el MTA es un material muy biocompatible en su estudio sobre células del ligamento periodontal humano.

Los resultados coinciden con Haglund y cols. (2003), quienes investigaron el efecto citotóxico de MTA, IRM, amalgama y resina de composite Retroplast⁴³ sobre fibroblastos de ratón y macrófagos. El MTA no fue citotóxico una vez fraguado. En fresco, quizá debido al alto pH, causó la lisis celular de las células adyacentes al mismo. Debido a la liberación de iones metálicos, la amalgama causó la muerte celular en fresco. Una vez fraguada tuvo un efecto más leve sobre la morfología celular, por lo que según estos resultados, no resulta citotóxica. El IRM en fresco mostró mayor efecto citotóxico que el MTA y la amalgama. Como el IRM libera eugenol durante largo tiempo, fraguado muestra los mismos resultados que fresco. El Retroplast en fresco fue citotóxico debido a la liberación de componentes. Una vez fraguado presenta cierta toxicidad, debido seguramente a la capa inhibida por el oxígeno, ya que en las condiciones de este estudio, la resina no se pulió.

Nakayama y cols. (2005) evaluaron el comportamiento del MTA sobre células de la médula ósea de rata. Observaron que estas células crecieron, se diseminaron y proliferaron sobre el cemento, por lo que concluyeron que se trata de un material de baja toxicidad que no inhibe el crecimiento celular, aunque también observaron que suprime la diferenciación celular de estas células de la médula ósea en osteoblastos.

Al-Rabeah y cols. (2006) pusieron en contacto células de hueso alveolar humano con MTA para determinar si estas células podían unirse, diseminarse y proliferar sobre ProRoot MTA (gris), MTA blanco y MTA preparado con anestesia local. Los resultados mostraron que estas células

⁴³ Retroplast Trading, Rørvig, Dinamarca

proporcionan un buen sustrato para el estudio de estos materiales y se acercan más a condiciones clínicas, puesto que en 24 horas las células se habían adherido y diseminado sobre el MTA y a los 7 días habían proliferado hasta formar una capa íntimamente unida a la superficie del MTA. A las 2 semanas se había formado una capa que prácticamente había cubierto la totalidad de la superficie de MTA. La unión celular y las interacciones entre las células y la superficie de cemento fueron similares para el MTA gris y blanco y para el MTA mezclado con anestesia. Sin embargo, en el estudio llevado a cabo por Pérez y cols. (2003) los osteoblastos de rata no permanecieron adheridos al MTA blanco.

Oviir y cols. (2006) analizaron y compararon los efectos del MTA blanco y gris (fraguados 24 horas y 12 días) en la proliferación de queratinocitos y cementoblastos. Los datos que obtuvieron revelaron que, sobre el MTA blanco, se produjo mayor proliferación celular que sobre el MTA gris (y también mayor crecimiento con 12 días de fraguado), lo que contribuye a la regeneración del tejido después de reparar una perforación radicular o de realizar una obturación apical retrógrada, y difieren de los resultados obtenidos por Pérez y cols. (2003), quienes hallaron menor crecimiento de osteoblastos sobre la superficie de MTA blanco. A pesar de que el crecimiento de los queratinocitos fue mucho menor, también crecieron mejor sobre la superficie del MTA blanco. La inhibición del crecimiento de las células procedentes de la unión epitelial puede ser beneficioso puesto que puede prevenir la formación de una bolsa periodontal al impedir la formación de un epitelio largo de unión, aunque serían necesarios más estudios para contrastar estos hallazgos. Según los resultados de este estudio, el MTA blanco es más compatible que el MTA gris.

En el estudio llevado a cabo por De Deus y cols. (2005) se comparó el efecto de MTA Angelus, ProRoot MTA y cemento Portland sobre células endoteliales humanas. No se hallaron diferencias en el comportamiento de los 3 materiales, que inicialmente mostraron un efecto citotóxico sobre las células que fue disminuyendo gradualmente con el tiempo hasta el restablecimiento de las células. El inicial efecto citotóxico puede explicarse porque el alto pH de los cementos provoca la desnaturalización de las células y las proteínas del medio. Los resultados coinciden con Saidon y cols. (2003), quienes mostraron que, a medida que el cemento fragua, el pH decrece y se reparan los daños celulares, y con Javaheri y cols. (2007), quienes compararon el ProRoot MTA y el cemento Portland con el Root MTA⁴⁴, y mientras los dos primeros presentan una

⁴⁴ Arateb, Tabriz, Irán

citotoxicidad similar que disminuye al tiempo, el Root MTA presenta una citotoxicidad estadísticamente diferente al cemento Portland.

Asrari y cols. (2003) evaluaron la neurotoxicidad de MTA, amalgama, SuperEBA y Diaket.

Los autores consideraron diversas razones para elegir células neuronales para el estudio:

- 1- Presentan una sensibilidad al daño superior al de los fibroblastos.
- 2- Los materiales utilizados en la obturación apical pueden ser absorbidos por el cuerpo, lo cual puede producir neurotoxicidad sistémica.
- 3- Existe la posibilidad de que los materiales causen neurotoxicidad local puesto que están localizados cerca de nervios y terminaciones nerviosas.

En sus resultados finales observaron que todos los materiales excepto MTA causaron neurotoxicidad tanto en fresco como en fraguado. Sin embargo, los autores concluyen que esto no significa necesariamente que estas sustancias sean un riesgo para la salud, puesto que la toxicidad de materiales en un medio de cultivo no indica falta de biocompatibilidad *in vivo*. Así, Regan y cols. (2002) evaluaron la capacidad de MTA y Diaket para regenerar el tejido perirradicular tras una cirugía periapical. Histológicamente, con ambos materiales se consiguió la regeneración del periodonto perirradicular, con formación de cemento y completa cobertura tanto de la raíz como del material de obturación.

Para evaluar la magnitud de daños en el ADN y comprobar si el MTA presenta efectos carcinogénicos, Ribeiro y cols. (2005, 2006a, 2008) examinaron la genotoxicidad del MTA blanco y gris y MTA Angelus, Cemento Portland blanco y gris (2006b) sobre linfomas de ratón (2005) y células obtenidas de ovarios de hámster (2006a, b). En sus resultados observaron que ninguno de los cementos produjo efectos genotóxicos y que no indujeron en ningún caso daño en el ADN ni muerte celular, resultados que están de acuerdo con Da Silva y cols. (2006).

Moghaddame-Jafari y cols. (2005) evaluaron el efecto del MTA blanco sobre la proliferación y viabilidad de células de la pulpa dental. Observaron que no sólo no indujo la muerte celular, si no que promovió la proliferación de los odontoblastos y células indiferenciadas. Clínicamente, este aumento en la proliferación de las células pulpares inducida por el MTA, podría explicar al menos en parte, su habilidad para inducir la formación de puentes de dentina [Junn y cols., 1998; Holland y cols., 2001c; Tziafas y cols., 2002; Aeinehchi y cols., 2003; Faraco y cols., 2004]. En conclusión, en MTA indujo un incremento en la síntesis de ADN lo cual sugiere que presenta un efecto positivo en la regeneración del complejo pulpar dental *in vivo*.

Iguals conclusiones obtuvieron en su estudio Takita y cols. (2006), quienes observaron que, después de 12 días de contacto del MTA con células de la pulpa dental, se produjo proliferación celular, probablemente debido a la alta tasa de liberación de iones calcio en comparación con el hidróxido de calcio Dycal. A pesar de que la adición de mayor cantidad de agua al polvo resultó beneficiosa en la liberación de iones calcio, también el incremento de agua en la mezcla supone una pérdida de consistencia [Fridland y cols., 2003]. Por lo que lo ideal es mezclar el MTA según las instrucciones del fabricante.

Cuadro resumen estudios de citotoxicidad

AUTOR Y FECHA	TIPOS DE CÉLULAS	TIEMPO DE CONTACTO (DÍAS)	MÉTODO DE ESTUDIO Y ENSAYO	CITOTOXICIDAD
Torabinejad y cols. (1995e)	L929 (fibroblastos) de ratón	1	Agar overlay	NO
Torabinejad y cols. (1995e)	L929 de ratón	1	Radiocromo	NO
Koh y cols. (1998)	MG 63	1-7	SEM	NO
Osorio y cols. (1998)	Fibroblastos gingivales, L929	-	Enzimas	NO
Mitchell y cols. (1999)	MG 63	2, 4, 7	SEM	NO
Keiser y cols. (2000)	Fibroblastos del ligamento periodontal humano	1	Enzimas	NO
Zhu y cols. (2000)	SaOS-2	1	SEM	NO
Abdullah y cols. (2002, 2003)	SaOS-2	1, 2, 3	SEM	NO
Saidon y cols. (2003)	L929 de ratón	3	SEM	NO
Haglund y cols. (2003)	L929 de ratón, macrófagos	3	SEM	SÍ (en fresco)
Pérez y cols. (2003)	Osteoblastos, MG 63	6, 9, 13	SEM	SÍ
Pistorius y cols. (2003)	Ligamento periodontal, fibroblastos gingivales	4	Enzimas	NO
Asrari y cols. (2003)	Neuronas	12-14	Enzimas	NO
Balto (2004)	Fibroblastos del ligamento periodontal	1	SEM	SÍ (en fresco)
Bonson y cols. (2004)	Ligamento periodontal, fibroblastos gingivales	15	Fluorescencia	NO
Camilleri y cols. (2004)	SaOS	1, 5, 7	SEM	NO
Camilleri y cols. (2005b)	HOS	1-7, 1-21	Enzimas	NO (sobre extractos de MTA)
Koulaouzidou y cols. (2005)	L929, fibroblastos BHK21/C13	1, 2	Enzimas	NO

Hernández y cols. (2005)	Fibroblastos de ratón, macrófagos	1	Enzimas	NO
Nakayama y cols. (2005)	Células de médula ósea de ratón	3	SEM, TEM	NO
Moghaddame-Jafari y cols. (2005)	Odontoblastos de ratón	1	Citometría	NO
Da Silva y cols. (2006)	Linfocitos humanos	1 hora	Ensayo single-cell (comet)	NO
Ribeiro y cols. (2005)	Linfomas de ratón	3 horas	Test de exclusión trypan azul	NO
Ribeiro y cols. (2006a, b)	Células de ovario de hámster	3 horas	Test de exclusión trypan azul	NO
Takita y cols. (2006)	Pulpa dental	12		NO
Oviir y cols. (2006)	Queratinocitos y cementoblastos	3	Hoechst 33342 Fluorescencia	NO
Al-Rabeah y cols. (2006)	Células de hueso alveolar humano	1, 7, 14	SEM	NO
Gorduysus y cols. (2007)	Fibroblastos de ligamento periodontal humano	24, 48, 72 horas	MTT, Test de exclusión trypan azul	NO

2.3.3- BIOCOMPATIBILIDAD

Los materiales utilizados tanto para cirugía periapical como para la reparación de perforaciones radiculares, además de sellar correctamente el sistema de conductos radiculares, deben permitir a los tejidos cicatrizar de modo ideal. Ninguno de los materiales que se utilizaban antes de la aparición del MTA (amalgama de plata, resina de composite, cementos de óxido de cinc-eugenol, EBA, cementos de ionómero de vidrio, cementos de policarboxilato, Cavit, gutapercha) resultaba totalmente fiable para la regeneración de un periodonto normal [Keiser y cols., 2000].

El éxito de cualquier tratamiento realizado en la raíz depende de la regeneración de un aparato de inserción periodontal funcional, lo que incluye cemento sobre la superficie radicular seccionada, ligamento periodontal y hueso alveolar. Así, después de la cirugía periapical se produce un fenómeno de reparación en los tejidos perirradiculares. Este proceso incluye regeneración del hueso trabecular, formación de un nuevo periostio funcional y lámina ósea cortical [Harrison y cols., 1992]. Actualmente el mecanismo de cicatrización dentoalveolar no está totalmente comprendido [Apaydin y cols., 2004]. Se cree que células mesenquimales y fibroblastos no diferenciados surgen desde el ligamento periodontal y el hueso y rodean el ápice seccionado de la raíz para empezar el proceso de cicatrización. Las células indiferenciadas se

transformarían en fibroblastos, cementoblastos y osteoblastos maduros para empezar a reformar el ápice del aparato dentoalveolar. El cemento se depositaría desde los márgenes externos de la raíz hacia el centro del ápice seccionado.

Existen diversos estudios para determinar el potencial de formación de cemento del MTA [Park y cols., 2007].

Así, en el estudio llevado a cabo por Koh y cols. (1998) con el objetivo de encontrar la razón por la cual el MTA parece inducir cementogénesis se observó que, en el medio de cultivo (células de osteosarcoma MG-63) y en presencia de MTA, se produjo un aumento en la concentración de citoquinas.

Las citoquinas son glicoproteínas de bajo peso molecular extremadamente potentes que son secretadas como resultado de la estimulación celular. Interactúan con los receptores celulares y producen un cambio en la síntesis celular del ARN y las proteínas y en el comportamiento de las células. Participan en la coordinación del metabolismo del hueso.

La formación de hueso se divide en dos fases:

PRIMERA	Diferenciación de los precursores de los osteoblastos
SEGUNDA	Mineralización de la matriz ósea por osteoblastos maduros

Las citoquinas relacionadas con la formación de hueso también se dividen en dos grupos:

PRIMERO	Estimulan la proliferación de las células óseas pero inhiben los osteoblastos maduros
SEGUNDO	Estimulan tanto la proliferación como la actividad de los osteoblastos maduros, lo que conduce a la siguiente fase de formación ósea

Por ello, los autores concluyeron que es posible que el MTA ofrezca un sustrato biológicamente activo para las células óseas y que estimule la producción de citoquinas, conclusiones que coinciden con Guven y cols. (2007)

Los resultados no están de acuerdo con Haglund y cols. (2003) en cuanto a que no hallaron liberación de citoquinas en macrófagos, pero sí coinciden con los hallados por Rezende y cols. (2005, 2007) quienes mostraron que MTA presenta excelentes resultados respecto a la viabilidad de los macrófagos y que no interfiere en la fagocitosis ni en la producción de citoquinas, y Thomson y cols. (2003), quienes estudiaron el efecto de varios materiales sobre el crecimiento de los cementoblastos y la producción de osteocalcina en el cultivo celular y observaron que sobre el MTA aparecieron numerosas células con morfología normal. Éste

permitió la adhesión de los cementoblastos y su crecimiento (cementoconductor), así como la producción de osteocalcina por los cementoblastos en una matriz extracelular, lo que sugiere que el proceso de mineralización estaba ocurriendo.

Con este estudio demostraron que el MTA es más inerte que otros materiales dentales, lo que significa que cuanto menos ofensivo es un material, más permite la capacidad natural del cuerpo para curar.

Kettering y cols. (1995) concluyeron que ninguno de estos tres cementos utilizados para la obturación retrógrada, IRM, SuperEBA y MTA, presentaba actividad mutagénica, directa o indirectamente.

Tani-Ishii y cols. (2007) observaron que el MTA es menos tóxico para los osteoblastos que cualquier otro material y permite, además, el crecimiento celular y la expresión de las proteínas que participan en la mineralización, por lo que resulta ideal para reparar perforaciones y resorciones radiculares. Los resultados coinciden con Yoshimine y cols. (2007), quienes mostraron que MTA proporciona un sustrato adecuado para la adhesión y proliferación de los osteoblastos celulares, así como para la formación de una matriz mineral.

Tomson y cols. (2007a-b) concluyeron en su estudio que cuando el MTA se coloca clínicamente se produce la liberación de componentes solubles, presentes tanto en el MTA que está fraguando como en el MTA fraguado, que pueden liberar componentes de la matriz dentinaria que potencian los mecanismos celulares para la reparación y regeneración de la dentina.

Además de los ensayos *in vitro*, el comportamiento del MTA también ha sido estudiado *in vivo*.

Pitt Ford y cols. (1994a) realizaron un estudio sobre perros para analizar histológicamente la respuesta perirradicular al MTA y a la amalgama y observaron que la inflamación perirradicular era menos severa y menos extensa con el MTA, con mayor aposición de hueso en las zonas adyacentes al mismo. También observaron la presencia de cemento sobre el MTA.

Un estudio similar y con iguales resultados fue realizado por Torabinejad y cols. (1997a), quienes examinaron la respuesta de los tejidos perirradiculares en monos al utilizar como material de retroobtusión amalgama de plata y MTA.

En los resultados finales la amalgama de plata presentó inflamación de moderada a severa en los tejidos perirradiculares de todas las raíces, así como presencia de linfocitos y leucocitos polimorfonucleares como células predominantes en la zona de la lesión y una cápsula fibrosa.

En los casos obturados con MTA, sólo una raíz presentó inflamación severa. El resto evidenció la formación de una fina capa de cemento sobre la dentina y sobre el material de retroobtusión; se trataba de una capa de cemento continua, con líneas incrementales e inclusiones celulares de cementoblastos. Podían observarse fibras periodontales insertadas sobre el cemento neoforzado mimetizando las fibras de Sharpey. El cemento nuevo apareció adherido al cemento original a los lados de la raíz. En ningún caso se observaron bacterias y sí formación de hueso alrededor de todos los ápices.

Se sugieren dos posibilidades sobre la fuente de este nuevo cemento: a partir del ligamento periodontal remanente desde la periferia de las raíces y su ligamento periodontal, o a partir de la médula del hueso. Aunque los autores añaden que, si el cemento hubiera crecido desde las paredes laterales. Las líneas incrementales deberían haber sido diagonales en el cemento más que paralelas, como fueron observadas. La presencia de cementoblastos en la superficie del cemento sugiere un origen óseo. Este resultado coincide con el obtenido por Baek y cols. (2005), quienes observaron que el patrón de crecimiento del nuevo cemento no siempre proviene desde los márgenes de la dentina seccionada. En un par de casos hallaron una pequeña isla de cemento que cubría sólo el MTA, totalmente aislada del resto de la dentina, por lo que sugieren que el cemento que cubre la raíz seccionada y la retroobtusión de MTA debe originarse tanto del ligamento periodontal como del hueso alveolar.

Sobre el MTA el cemento presenta irregularidades en algunas secciones, coincidiendo de nuevo con Baek y cols. (2005), aunque no aparecen defectos o inclusiones de tejido blando. Este cemento ha crecido directamente sobre el MTA debido a la biocompatibilidad, capacidad selladora o pH alcalino; promueve la formación de hueso gracias a que estimula la liberación de citoquinas en el mismo.

La amalgama no sirve como material de retroobtusión, no previene la microfiltración ni la regeneración de estructuras dentoalveolares.

Sea cual sea su origen, los cementoblastos son las células responsables de la producción de cemento y de la regeneración, por ello el método más apropiado para estudiar el efecto de los materiales endodóncicos sobre la cementogénesis es hacerlo sobre los cementoblastos. Para que se forme cemento sobre un sustrato, los cementoblastos deben iniciar la adhesión y después proliferar [Thomson y cols., 2003].

Yaltirik y cols. (2004) realizaron un estudio utilizando ratas para determinar la biocompatibilidad a largo plazo del MTA y de la amalgama con alto contenido en cobre y en sus resultados finales

observaron que ambos materiales fueron bien tolerados por los tejidos a los 90 días. Un hallazgo notable fue la presencia de calcificación distrófica en el tejido conjuntivo adyacente al MTA, coincidiendo con los resultados hallados por Holland y cols. (1999a, 2002a-b), Chiva y cols. (2002) y Cintra y cols. (2006), lo que apoya la hipótesis de la capacidad para inducir formación de tejido duro por este cemento. Los cristales parecen ser de calcita, la cual se origina de la reacción del calcio del hidróxido de calcio con el dióxido de carbono del tejido. El MTA no contiene hidróxido de calcio en su composición pero sí se forma al reaccionar el calcio que presenta con los fluidos tisulares.

Economides y cols. (2003) evaluaron la respuesta perirradicular al MTA al ser utilizado como material de retroobtención en dientes de perros sin patología periapical. Los resultados obtenidos indican que el MTA representa un sustrato biocompatible en el que las células formadoras se pueden adherir y producir nuevo tejido blando y duro. El mecanismo se caracteriza por una primera fase de formación de tejido conjuntivo fibroso y, posteriormente, por reparación con tejido duro. El efecto estimulador del MTA en la actividad de síntesis de las células perirradiculares produce, en primer lugar, la estimulación de fibroblastos para formar tejido conjuntivo fibroso y el rápido crecimiento de ligamento periodontal debido a su alta capacidad de cicatrización. La formación de tejido óseo parece ser activada progresivamente desde la periferia de las paredes de dentina al centro del MTA. Los autores sugieren dos mecanismos para el depósito de tejido óseo sobre el MTA: o la calcificación del tejido conjuntivo después de realizarse la cirugía, o la diferenciación de las células hacia células formadoras de tejido óseo que migran progresivamente entre la superficie de MTA y el tejido conjuntivo fibroso, activando la mineralización desde la periferia de las paredes radiculares al centro de la obturación de MTA. Los autores concluyen que el MTA es un material biocompatible que estimula la reparación de los tejidos perirradiculares, aunque la naturaleza de las células formadoras y el nuevo tejido duro formado, así como los mecanismos que controlan la actividad formadora de hueso del MTA, son desconocidos y necesitan más investigación.

Torabinejad y cols. (1997b, 1998) analizaron la reacción tisular que se producía en la tibia y en la mandíbula de conejillos de indias al estar en contacto con MTA, IRM, amalgama y SuperEBA. Los datos que finalmente se recogieron mostraron que había ausencia de inflamación con el MTA y además éste se asociaba a la formación de tejido duro, por lo que mostró ser un buen material endodóncico, útil para hacer retroobtención. El IRM y el SuperEBA no presentaron una respuesta lo suficientemente buena para considerarlos materiales de obturación.

La amalgama de plata mostró la mayor inflamación.

Así que, basándose en este estudio, los autores concluyeron que el MTA induce la respuesta tisular más favorable y parece ser un material biocompatible.

Shahi y cols. (2006) estudiaron la biocompatibilidad de MTA blanco, MTA gris y amalgama introduciéndolos en el tejido conjuntivo de ratas a través de tubos de polietileno. Obtuvieron los siguientes resultados:

	BIOCOMPATIBILIDAD
3 DÍAS	MTA blanco > MTA gris > amalgama
1 SEMANA	MTA gris > MTA blanco > amalgama
3 SEMANAS	Similares resultados los 3 materiales

El aumento de inflamación del MTA blanco del día 3 al 7 puede ser debida a la liberación gradual calcio y su reacción con la humedad del tejido, produciéndose como resultado hidróxido de calcio entre los días 3 y 7. Sin embargo el comportamiento del MTA gris es diferente. La mayor inflamación se produce en los 3 primeros días y después disminuye gradualmente, lo cual puede indicar una diferencia en la tasa de reacciones químicas que conducen a la liberación de hidróxido de calcio. De acuerdo con el estudio llevado a cabo por Asgari y cols. (2005) el MTA gris presenta en su concentración un 1000% más de óxido férrico comparado con el MTA blanco. El óxido férrico puede inducir inflamación en los 3 primeros días en el MTA gris pero, después de 1 semana, la cantidad de óxido de hierro disminuye y su eliminación del medio durante el proceso de inflamación puede llevar a una reducción de la severidad inflamatoria.

Gomes-Filho y cols. (2007) compararon la reacción inflamatoria en el tejido conjuntivo de rata en el cual se implantaron tubos rellenos de MTA gris y MTA fotopolimerizable (todavía no comercializado). En sus resultados finales observaron que se produjo mineralización en todos los especímenes en contacto con el MTA gris y que la respuesta inflamatoria fue mejor con éste que con el cemento fotopolimerizable.

Chiva y cols. (2002) compararon la biocompatibilidad intraósea de dos productos dentales de alto contenido en calcio, como son MTA y Sealapex, implantando estos materiales en la tibia de tres conejos. A las doce semanas se sacrificaron los animales y se estudiaron los resultados. En su estudio se llegó a la conclusión de que ambos son totalmente biocompatibles y presentan una gran actividad formadora de hueso. En las muestras predominó la regeneración de tejido óseo,

con tejido de granulación con gran formación de trabéculas óseas en su seno y actividad osteoblástica y osteoclástica. En ambos casos aparecía escaso tejido fibroso y mucho tejido de granulación, reacción normal del tejido óseo ante la agresión, que se diferencia bien hacia fibrosis o bien hacia regeneración ósea. Parece ser que el MTA diferencia más rápidamente el tejido de granulación en hueso.

También en los estudios realizado por Holland y cols. (1999a, 2002a-b) se observa que tanto el MTA blanco como el MTA gris y el hidróxido de calcio son capaces de producir cristales de calcita sobre el tejido conjuntivo animal. Para ello introdujeron los materiales en unos túbulos de dentina y los colocaron en el tejido conjuntivo de ratas con el objetivo de observar la acción de los mismos sobre el tejido conectivo y la dentina. Las granulaciones observadas en el MTA y en las paredes de los túbulos de dentina serían probablemente cristales de calcita originados en la reacción del calcio del material con el dióxido de carbono del tejido conjuntivo. Estos cristales, junto con la fibronectina, la cual posibilita la adhesión y la diferenciación celular, podrían ser el paso hacia la formación de una barrera de tejido duro. Por ello concluyeron que es posible que el mecanismo de acción del MTA respecto a la deposición de tejido duro sea similar al del hidróxido de calcio [Canalda, 2000]. Ambos precipitan en forma de granulaciones de calcita que se originan por la reacción del ión calcio del hidróxido de calcio con el gas carbónico del tejido. El MTA no presenta hidróxido de calcio en su composición. Al mezclar el polvo con el líquido se forma una estructura que contiene fosfato de calcio y óxido de calcio [Torabinejad y cols., 1995c]. Este último, al entrar en contacto con los fluidos tisulares se transformaría en hidróxido de calcio. De hecho, Mahmoud y cols. (2007) hallaron hidróxido de calcio en la composición del MTA fraguado.

El tejido duro observado en los estudios anteriores es el mismo que se produjo al utilizar el MTA para recubrimientos pulpaes directos [Holland y cols., 2001c], puesto que al colocar MTA sobre las pulpas expuestas se formaron puentes completos de tejido duro, tubulares y continuos con las paredes laterales de la dentina. Las pulpas continuaron vitales sin reacción inflamatoria y pudo observarse una nueva capa de odontoblastos con un número variable de células. En este estudio se utilizó MTA y cemento Portland y el resultado con ambos materiales fue similar, por lo que se dedujo que el óxido de bismuto presente en el MTA no influye en su mecanismo de acción. Los resultados coinciden con Maroto y cols. (2004), quienes observaron el comportamiento del MTA en dientes temporales que necesitaban una pulpotomía. En los resultados finales observaron en el 100% de los casos una disminución del diámetro interno de

los conductos pulpaes radiculares y formación de un puente dentinario apical al MTA adaptado a la cámara pulpar.

A iguales resultados llegaron Wucherpfennig y cols. (1999). Realizaron en un mismo estudio un ensayo *in vitro* y otro *in vivo* para comparar la biocompatibilidad del cemento Portland y del MTA. En el ensayo *in vitro* cultivaron células de osteosarcoma en un medio de cultivo en presencia de ambos cementos. Los resultados se midieron a las 4 y a las 6 semanas y mostraron que ambas sustancias favorecían por igual la formación de una matriz de tejido duro.

En el ensayo *in vivo* se utilizaron ratas adultas a las que se les realizaron recubrimientos pulpaes directos con ambos cementos. Y los resultados se midieron después de 1, 2, 3 y 4 semanas. En ambos casos se observó aposición de dentina reparativa a partir de la segunda semana. Así que concluyeron que el cemento Portland puede ser un material de reparación similar al MTA.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Saidon y cols. (2003), quienes compararon las reacciones tisulares que se producían con el MTA y con el cemento Portland. Realizaron estudios *in vitro* sobre fibroblastos de ratón en un medio de cultivo y estudios *in vivo* sobre cobayas, utilizando en ambos casos los cementos en estado fresco y fraguado. En los ensayos *in vivo* los criterios que se consideraron fueron el grado de cicatrización de tejidos duros y blandos, de manera que podía haber nueva aposición de hueso en contacto directo con el material o nueva formación de hueso separada del material por una delgada lámina de tejido conjuntivo fibroso.

En los ensayos *in vitro* los efectos de ambos cementos fueron similares. Con los materiales frescos, justo debajo del área de cemento se halló una zona con proteínas coaguladas; por debajo, una zona con lisis celular y por debajo y a distancia de los materiales en fresco, una zona donde las células crecían normalmente. Esto es debido al pH que presentan cuando están recién mezclados, que causa desnaturalización de células adyacentes y proteínas. Conforme el material fragua, el pH cambia y desaparece el daño celular. Cuando los materiales estaban fraguados no producían efecto celular.

En los ensayos *in vivo* no se hallaron células inflamatorias crónicas en ningún caso a las 12 semanas de haber implantado el material en los animales del estudio. En ambos materiales aparecieron gran cantidad de casos con integración directa de hueso sobre el material. Por tanto, dedujeron que ambos materiales eran igualmente biocompatibles y que el cemento Portland puede ser utilizado en las mismas situaciones clínicas en las que se utiliza el MTA, aunque recomiendan más estudios en seres humanos.

El MTA y el cemento Portland demostraron igual comportamiento en un estudio cuyo propósito fue analizar el proceso de reparación de los tejidos periapicales de dientes de perro después de la pulpectomía y obturación de los conductos con ambos materiales [Holland y cols., 2001b]. Los resultados obtenidos fueron semejantes para los dos cementos, habiendo ocurrido cierre biológico completo a nivel del foramen apical con cemento neoformado, espesor y organización normal del ligamento periodontal y ausencia de inflamación en la mayoría de los casos. Se llegó a la conclusión que la reparación de los tejidos periapicales fue semejante con los dos materiales estudiados. Los resultados de este estudio coinciden con los reportados por Holland y cols. (1999b) también sobre dientes de perro. Estos autores mostraron puentes de cemento neoformado de mayor espesor que el observado en el estudio anterior, pero también el tiempo postoperatorio del experimento fue el doble.

Desde el punto de vista teórico, las observaciones con cemento Portland no deberían ser distintas del MTA porque investigaciones de laboratorio demostraron que la composición química de estos materiales es igual, excepto por la presencia de óxido de bismuto en el MTA para el contraste radiográfico [Estrela y cols., 2000].

La biocompatibilidad del cemento Portland ha sido estudiada por Abdullah y cols. (2002, 2003). Estos autores observaron la citomorfología de células de osteosarcoma Saos2 al entrar en contacto con cemento Portland acelerado y cemento Portland no modificado y su efecto sobre marcadores de remodelación ósea. Llegaron a la conclusión de que el cemento Portland acelerado es biocompatible, que favorece la proliferación de las células de osteosarcoma y estimulan la respuesta biológica de estas células a través de la producción de citoquinas y proteínas óseas específicas. El cemento Portland acelerado afecta activamente las 3 etapas de formación ósea (activación, resorción y formación), estimulando la producción de altas concentraciones de citoquinas, que son mediadoras de la activación de la fase de remodelación ósea. El cloruro de calcio que se utiliza como acelerador del fraguado no interfiere ni en la biocompatibilidad ni en las propiedades de formación ósea y no altera la composición química del cemento Portland. Este estudio es otro paso importante en el desarrollo del cemento Portland como material restaurador.

Apaydin y cols. (2004) compararon el efecto del MTA en fresco y fraguado sobre la cicatrización del tejido duro alrededor del ápice después de una cirugía perirradicular en perros. Los resultados mostraron que se formaba cemento alrededor del MTA tanto en fresco como fraguado, aunque la calidad del cemento fue diferente, puesto que en fresco el cemento apareció

con una superficie más irregular y de espesor más variable que sobre el MTA fraguado. La proporción de muestras con completa cicatrización dentoalveolar fue mayor en fresco que en fraguado, 100% sobre 66,67%, por lo que parece que con MTA fraguado no se altera la biocompatibilidad de éste material ni la producción de tejido duro, aunque la tasa de regeneración tisular es menor que cuando está fresco.

Pitt Ford y cols. (1995b) examinaron histológicamente la respuesta tisular en perforaciones de furca realizadas en perros y reparadas con amalgama y con MTA. En algunos casos la colocación del material fue inmediata a la perforación y en otros se retrasó un tiempo de modo que se contaminaron con saliva. Esperaron 4 meses para la evaluación. En los dientes reparados inmediatamente, las radiografías mostraron que las perforaciones tratadas con MTA curaron significativamente mejor que las reparadas con amalgama. A los 4 meses observaron 6 dientes de 7 sin inflamación y, en 1 diente, ésta fue moderada; en los dientes que dejaron contaminados, observaron inflamación en 4 de los dientes reparados con MTA, siendo ésta moderada y severa, y en todos los dientes reparados con amalgama.

En el análisis histomorfométrico las muestras con amalgama tuvieron más inflamación y resorción de hueso que las reparadas con MTA. En los lugares en donde se produjo una sobreobtención de MTA hacia el hueso, se formó cemento alrededor del material, con la presencia de un aparente ligamento periodontal separando el cemento del hueso. En las muestras reparadas con MTA observaron deposición de cemento en 5 de los reparados inmediatamente y en 2 de los dientes contaminados y también dientes con neoformación incompleta, lo que sugiere que se necesita un mayor tiempo de observación. También que, cuanto más se tardaba en reparar la perforación aparecía más inflamación, por lo que concluyeron que es importante la colocación inmediata del material restaurador. El uso de hipoclorito sódico como irrigante parece que contribuyó a aumentar el buen resultado en especímenes en los que se retrasó la reparación.

Los resultados coinciden con Holland y cols. (2007), quienes realizaron perforaciones laterales en dientes de perros y las obturaron con MTA en diferentes intervalos de tiempo. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

GRUPOS	MOMENTO DE LA OBTURACIÓN	RESULTADO
GRUPO 1	Inmediatamente	MEJORES RESULTADOS. Mayor nº de casos con sellado biológico total o parcial
GRUPO 2	Después de 7 días	Peores resultados
GRUPO 3	Perforaciones abiertas 7 días; luego obturadas 14 días con hidróxido de calcio; finalmente: MTA	Peores resultados. Similares al grupo 2. El agente bactericida no mejoró la reparación de las perforaciones

Estos autores habían realizado anteriormente (2001a) otro estudio sobre perros para comprobar la reparación de perforaciones radiculares laterales, utilizando en unos casos MTA y en otros Sealapex, sobre 48 conductos radiculares. Los resultados los tomaron a los 30 y 180 días de haber realizado y reparado las perforaciones. A los 30 días observaron 4 dientes obturados con MTA libres de inflamación y 3 con inflamación, aunque a los 180 días, los 10 dientes del estudio mostraron ausencia de inflamación y presencia en 2 dientes de tipo moderada.

Sobre el MTA los resultados mostraron formación de cemento celular eosinófilo, mientras que cuando se utilizó Sealapex las muestras presentaron toda inflamación crónica, con células gigantes y numerosos macrófagos con partículas negras del material de obturación en el citoplasma y un leve depósito de cemento sobre el material en sólo tres de los casos. Tanto con el MTA como con el Sealapex, a los 30 días aparecieron áreas de anquilosis que resultaron ser transitorias puesto que después desaparecieron. En cuanto a muestras con sobreobtención, se observaron 7 con MTA y 15 con Sealapex. El menor número de casos podría estar relacionado con la mayor resistencia del MTA a fluir.

A los 30 días observaron 4 dientes con neoformación de cemento en contacto con el MTA y a los 180 días, sellado mineralizado en 9 de los 10 casos, por lo que concluyeron que el MTA promueve activamente la formación de tejido duro en lugar de ser inerte o un irritante como otros materiales.

Juárez y cols. (2005, 2006b) obtuvieron resultados similares en un estudio en el cual repararon perforaciones radiculares en 12 dientes de perro con ProRoot MTA y MTA Angelus. En sus resultados observaron que hubo inflamación discreta y moderada en 2 dientes de los 6 obturados con ProRoot MTA y en 4 de los 6 obturados con MTA Angelus. A los 90 días, en los dientes en los que hubo extravasación de MTA, se produjo resorción total o parcial del material

sellador. El sellado mineralizado ocurrió en todos los dientes. Con ProRoot MTA fue completo en 3 dientes y con MTA Angelus en 2 dientes. Como conclusión final, todas las perforaciones selladas con ProRoot MTA y MTA Angelus presentaron resultados semejantes, proporcionando un sellado biológico a las mismas, con neoformación de tejido mineralizado.

En una investigación posterior, Juárez y cols. (2006a) añadieron cloruro cálcico al ProRoot MTA, MTA Angelus y cemento Portland (al cual también se le añadió óxido de bismuto) para comprobar si con ello se mejoraban sus propiedades físicas y estudiaron su efecto en reparación de perforaciones radiculares en 18 dientes de perro. Los autores observaron que a los 90 días la adición de cloruro de calcio al 10% resultó ser una influencia positiva en los materiales posiblemente porque cuando el cloruro de calcio se hidrata con solución fisiológica, aporta iones calcio sobre la superficie a reparar, lo que provoca que exacerbe la fibronectina para favorecer la mineralización. Con los 3 cementos se produjo mayor espesor de la barrera mineralizada en todos los especímenes, inclusive en los que el cemento se había extruído de la perforación. En los dientes donde el sellado fue parcial, debido a que en las zonas donde se produjo extrusión del material los tejidos requieren mayor tiempo para lograr la reparación total, el organismo intentó sellar el defecto comenzando en un nivel inferior a la perforación, depositando cemento nuevo al preexistente. La neoformación de tejido mineralizado se produjo de la periferia al centro, por eso, al analizar los diferentes cortes observaron que en la zona más próxima a la perforación, el defecto periodontal estaba completo y, conforme se profundizaba, éste era de menor espesor e incompleto, por lo que se encontraba en fase de reparación y neoformación de tejido mineralizado. Y aunque al presentarse la sobreobturación accidental de MTA en la región de la furca éste sufrirá resorción, se recomienda sin embargo que el cemento sellador no invada los tejidos periodontales, pudiendo utilizar para ello una matriz para contener al MTA únicamente al trayecto de la perforación, como de yeso París, por ejemplo, como reportaron en su estudio Silva Neto y cols. (2003).

Existen muchos estudios sobre las propiedades biológicas del MTA pero no sobre la interacción fisicoquímica entre el MTA y el medio oral que fomenta esas respuestas biológicas. El objetivo del estudio llevado a cabo por Sarkar y cols. (2005) fue descubrir la naturaleza de dicha interacción. Para ello establecieron dos líneas de investigación:

- 1- MTA en contacto con un fluido tisular sintético a 37°C.
- 2- Dientes humanos exodonciados preparados endodómicamente y obturados con MTA y almacenados a 37°C con el fluido tisular sintético durante 2 meses.

El MTA expuesto al fluido tisular sintético liberó sus componentes metálicos y produjo precipitaciones con una composición y estructura similar a la hidroxiapatita (HAP).

Sobre las paredes de dentina de los dientes inmersos en el fluido tisular sintético se produjo una capa adherida similar a la HAP.

Según los autores, el calcio del MTA reacciona con los fosfatos del fluido tisular sintético dando lugar a la HAP. El MTA sufre una disolución liberando la mayoría de sus compuestos catiónicos. De hecho, el magnesio encontrado en el fluido tisular sintético debió tener su origen en el óxido de magnesio presente en el MTA. De todos los iones liberados, el calcio es el más predominante y precipita en forma de HAP a un pH de 7. Esta reacción ocurre tanto *in vivo* como *in vitro* con materiales que contienen calcio al entrar en contacto con un medio ambiente biológico. Una reacción similar sería la responsable de la formación de la capa adherente de HAP en la superficie de MTA. Debido a la naturaleza porosa del MTA esta precipitación de HAP continúa internamente en el MTA y conduce a un cambio en la composición del MTA adyacente a las paredes de dentina. Esta capa próxima a la dentina produce una unión química MTA-dentina. Debido a la exposición al fluido tisular sintético el MTA se cubre con una capa de apatita, que es una firme unión química de la dentina al MTA.

Después de la colocación del MTA en los canales radiculares y su disolución gradual, los cristales de HAP se forman y crecen, sellando el espacio microscópico entre MTA-paredes de dentina. Inicialmente, este sellado es mecánico. Los autores opinan que con el tiempo se produce una reacción de difusión controlada entre la capa de HAP y la dentina, lo que conduce a su unión química. El resultado es la creación de sellado en la interfase MTA-dentina.

Es interesante el hecho de que esta capa de la interfase es comparable a la capa de tejido duro que se forma en aposición al MTA en medios biológicos. Histológicamente, esta capa ha sido descrita como puente dentinario, osteodentina y dentina reparativa en varios estudios sobre animales y humanos [Holland y cols., 1999b; Apaydin y cols., 2004; Tziafas y cols., 2002]. Tras observar sus características birefringentes bajo luz polarizada se ha sugerido que la estructura es calcita, un compuesto de calcio y carbonato [Holland y cols., 1999b]. El fluido tisular es altamente rico en iones de fósforo pero su contenido en carbonatos es relativamente bajo, por lo que en este medio, químicamente es más favorable la formación de HAP que la de calcita. Esta interpretación está soportada por los resultados del estudio de la actividad dentinogénica del MTA en pulpas de perro llevado a cabo por Tziafas y cols. (2002) en el cual se muestra el crecimiento de depósitos cristalinos en la superficie del MTA y una zona de estructura cristalina a lo largo de la interfase pulpa-MTA. Una de las estructuras cristalinas analizada contenía calcio y fósforo, lo que sugiere formación de HAP. En otro estudio se identificaron puentes dentinarios enriquecidos con calcio y

fósforo después de realizar pulpotomías con MTA en perros [Domínguez y cols., 2003]. Estas observaciones, junto con los datos de este estudio sobre el proceso biológico de calcificación nos llevan a asumir que el producto de la reacción de MTA con el medio oral no es calcita sino HAP.

La HAP por si misma y otros materiales con contenido en calcio presentan excelente biocompatibilidad manifestada en mínima toxicidad tisular y reacción a cuerpo extraño, osteoinductividad y osteogenicidad. La razón para estas características debe ser su capacidad para liberar calcio y fósforo, que son factores críticos en el metabolismo óseo. Como el MTA libera iones calcio y contribuye a la formación de HAP en fluidos biológicos sintéticos, sus propiedades biológicas favorables no son sorprendentes. Algunos materiales como hidróxido de calcio, cementos de fosfato de calcio, cementos de HAP y cemento Portland presentan respuestas biológicas similares al MTA debido a una característica común: su capacidad para liberar calcio y de formar HAP [Saidon y cols., 2003; Mangin y cols., 2003; Holland y cols., 1999a].

De los datos aportados se puede llegar a las siguientes conclusiones:

El MTA no es inerte. Es bioactivo en un medio oral simulado. En contacto con el fluido tisular sintético se disuelve liberando la mayoría de sus componentes catiónicos y desencadenando la precipitación de HAP sobre su superficie y en el fluido que lo rodea. Parece que se une químicamente a la dentina cuando se coloca contra ella, posiblemente con una reacción de difusión controlada entre su superficie apatítica y la dentina. El éxito clínico del MTA en cuanto al sellado, biocompatibilidad y actividad dentinogénica es debido a estas reacciones químicas.

La bioactividad del MTA se ha atribuido a su capacidad para producir hidroxiapatita en un medio fosfatado fluido. Tay y cols. (2007a-b) analizaron la bioactividad del cemento Portland blanco introduciendo los bloques fraguados del cemento en un medio fosfatado con un pH de 7,3. Observaron que, inicialmente, se formó una fase de fosfato cálcico amorfo que se transformó en apatita. Así que el fosfato de calcio amorfo parece ser la llave intermedia que precede la formación de apatita en la calcificación del esqueleto. Por tanto, la bioactividad producida por el MTA se debe en parte a la capacidad de inducción de la mineralización de su componente de cemento Portland.

Bozeman y cols. (2006) estudiaron la capacidad del MTA blanco y gris para formar cristales de hidroxiapatita (HAP). Ambos tipos de MTA tienen la capacidad de liberar iones calcio, por lo que

si su bioactividad es debida a dicha liberación y a la posterior formación de HAP, los dos pueden usarse para cualquiera de las aplicaciones clínicas de MTA.

El MTA gris produce mayor cantidad de cristales de HAP, lo cual puede influir en su capacidad para evitar la filtración. Así, Fridland (2003) observó que el MTA fraguado, al igual que otros cementos, presentaba huecos, burbujas y poros que pueden permitir el acceso de bacterias y toxinas entre el material y las paredes dentinarias. Pero el hecho de que se libere calcio y se favorezca la formación de cristales de HAP, permitirá que dichos huecos se tapen con la HAP formada, lo cual podría explicar los buenos resultados del MTA en su capacidad para prevenir la filtración a pesar de los huecos iniciales. Al-Hezaimi (2005), en un estudio de filtración de saliva, mostró que el MTA gris filtraba menos que el blanco, aunque los resultados no fueron estadísticamente significativos. Pero es posible que el MTA gris sea más efectivo a la hora de sellar dichos huecos. Además, otros factores, como la naturaleza alcalina del MTA [Torabinejad y cols., 1995c], es la responsable de impedir la filtración bacteriana.

Yildirim y cols. (2005) investigaron la respuesta histológica al MTA o al SuperEBA al ser utilizados para reparar perforaciones de furca en dientes de perro inmediatamente después de que se produjeran éstas. En ninguno de los especímenes se produjo migración epitelial hacia el defecto. En los dientes tratados con SuperEBA se observó inflamación moderada el primer mes, que disminuyó con el tiempo, pero muchos especímenes mostraron inflamación de moderada a severa al final de los 6 meses. En el grupo obturado con MTA se observó inflamación moderada el primer mes, que disminuyó a los 3 meses y fue indetectable a los 6 meses. Los autores concluyeron que el MTA crea menos inflamación que el SuperEBA; los especímenes de MTA demostraron cicatrización con formación de nuevo cemento en el área de la perforación, mientras que en los especímenes de SuperEBA que no mostraron inflamación se observó cicatrización con tejido conectivo. A pesar de que los autores reconocen que todos los materiales de reparación permiten una mayor o menor filtración, parece ser que MTA es el material que muestra mejores resultados.

Hong y cols. (1994) realizaron un estudio *in vivo* para examinar histológicamente la respuesta de los tejidos al reparar una perforación de furca con amalgama o MTA. Los resultados mostraron que en los molares reparados con amalgama se observó mayor inflamación y resorción ósea que en los reparados con MTA.

Shahi y cols. (2008) estudiaron la respuesta histológica del MTA blanco y gris después de reparar perforaciones de furca en perros y no se observó diferencia en la cicatrización con ambos cementos.

2.4- PAUTAS A SEGUIR EN LA MANIPULACIÓN DEL MTA

A continuación se describen las pautas que deben seguirse con respecto al manejo del MTA [Torabinejad y cols., 1999; Fabra y cols., 2001; Prospecto de ProRoot MTA]:

- 1- Debe prepararse justo antes de usarse.
- 2- El polvo debe guardarse en un recipiente hermético y lejos de la humedad.
- 3- Debe ser mezclado con agua estéril para convertirse en una pasta densa y granulada.
- 4- Mezclarse en una proporción 3/1 en una loseta de vidrio o papel con una espátula de cemento.
- 5- Una vez mezclado puede ser llevado con un pequeño portaamalgamas o con un instrumento manual similar al que se emplea para colocar cemento en el fondo de una cavidad.
- 6- Se puede eliminar el exceso de humedad de la zona con gasa o algodón.
- 7- Si la mezcla está demasiado seca se le puede añadir más agua estéril.
- 8- Toda irrigación del lugar debe realizarse antes de la colocación del MTA, puesto que cualquier irrigación posterior supone que el material se disuelva.
- 9- El lugar de recepción no tiene por qué estar completamente seco, pero la mayoría de fluidos deben ser retirados porque si no se vuelve muy blando e inmanejable.
- 10- Se puede colocar en presencia de sangre puesto que ésta no altera la microfiltración posterior.
- 11- Si es colocado en polvo dentro del diente se tiene que colocar sobre él un algodón húmedo para hidratarlo y que fragüe.
- 12- En el caso de apicectomías es necesario crear una pequeña hemorragia del ligamento periodontal y del hueso.

Aminoshariae y cols. (2003) realizaron un estudio para determinar si la adaptación del MTA en la cavidad resultaba mejor al condensarlo manualmente o con ultrasonidos. El resultado fue que la adaptación fue mejor y aparecieron menos huecos al hacerlo manualmente, posiblemente porque la proporción polvo/líquido 3:1 que propone el fabricante no es la más adecuada para trabajar con ultrasonidos.

Sin embargo, Yeung y cols. (2006) concluyen que la condensación manual con activación indirecta con ultrasonidos proporciona un mejor sellado, con mayor densidad de MTA, que la condensación manual sola, tanto en conductos rectos (10,07%) como en curvos (9,1%). En este estudio se evaluó la frecuencia ultrasónica necesaria para que el MTA fluyera y obturara

correctamente y así descubrieron que un segundo de activación indirecta (la punta del ultrasonido contra el condensador de NiTi) de ultrasonidos producía la mayor densidad de MTA. Períodos más largos de activación daban como resultado la aparición de huecos visibles en radiografías y, por tanto, una disminución en el peso de MTA. Es posible que en el estudio de Aminoshariae y cols. (2003) no se obtuvieran buenos resultados por la aplicación de una excesiva energía ultrasónica y por el hecho de aplicar una activación ultrasónica directa.

Los clínicos consideran en su mayoría que existen dificultades para manipular el MTA tras su preparación como indica el fabricante (proporción polvo/líquido 3:1), sobre todo para presionarlo dentro de la raíz en una preparación periapical. De hecho, Sarris y cols. (2008) opinan que ello puede restringir su uso en varias de las aplicaciones para las que está recomendado.

Por ello, Zabalegui y cols. (2005) proponen, para facilitar la manipulación del MTA, la aplicación directa del polvo sobre el defecto y realizar la mezcla en boca transportando la parte líquida mediante una bolita de algodón. De hecho, en el estudio llevado a cabo por Pelliccioni y cols. (2007), en el cual evaluaron la microfiltración de MTA blanco en cavidades periapicales al ser llevado en seco y cubierto posteriormente con una bolita de algodón húmeda durante 30 segundos, observaron que la falta de agua en la mezcla de cemento no afectó a la capacidad de sellado periapical *in vitro* del MTA.

2.5- APLICACIONES CLÍNICAS DEL MTA

[Torabinejad y cols., 1999; Racca, 2002; Dentsply, 2002; Berástegui, 2003b; Ochoa y cols., 2005]

2.5.1- APICOFORMACIÓN

Se trata de un método para inducir una barrera calcificada en una raíz con el ápice abierto o el desarrollo continuo apical de una raíz incompletamente formada en un diente con necrosis pulpar [Glossary, 2003].

El desarrollo radicular incompleto producido por trauma, caries u otras patologías pulpares requiere especial atención y tratamiento. La arquitectura apical divergente hace que la limpieza completa del conducto y el control del material de obturación sea casi imposible [Hachmeister y cols., 2002]. El objetivo de la apicoformación es sellar la comunicación entre el sistema de canales radiculares y los tejidos perirradiculares y proporcionar una barrera contra la cual poder condensar el material de obturación del conducto radicular [Al-Kahtani y cols., 2005].

Cuando la formación radicular se ha visto interrumpida, no se puede realizar un tratamiento endodóncico correcto sin la inducción del cierre apical de la raíz. Los factores más importantes para conseguir una apicoformación son [Miñana, 2000]:

- 1- Limpieza de los conductos radiculares, sobre todo para eliminar todo el tejido pulpar necrótico.
- 2- Sellado de la cavidad de acceso del diente, para prevenir la filtración de bacterias y sustratos bacterianos.

A pesar del éxito clínico obtenido al realizar el tratamiento con el hidróxido de calcio [Felippe y cols., 2005], esta técnica presenta una serie de desventajas, puesto que requiere mucha colaboración por parte del paciente con múltiples visitas que se alargan en el tiempo, ya que lograr esta barrera con hidróxido de calcio puede llevar de 6 a 24 meses [Shabahang y cols., 1999].

Se ha demostrado que con el MTA se consigue evitar la extrusión de material de obturación durante el tratamiento de dientes con ápice abierto puesto que crea una barrera apical contra la que poder condensar la gutapercha debido a su capacidad para formar tejido duro. La ventaja del tratamiento con MTA es que disminuye el número de visitas a 1 [Mooney y cols., 2008] ya que, tras el fraguado del cemento, se puede proceder a colocar la obturación en el conducto, lo cual a su vez disminuye el riesgo de fractura [Steinig y cols., 2003] y evita las reagudizaciones que puedan producirse por el abandono del tratamiento o por no regularizar las visitas de forma rigurosa [Shabahang y cols., 1997, 1999; Miñana, 2000; Rocamora y cols., 2001; Whitterspoon y cols., 2001; Mendoza y cols., 2002; Hachmeister y cols., 2002; Berástegui y cols., 2003a-b; Kratchman, 2004].

Así, Fridland y cols. (2005) observaron que el MTA, debido a la fracción insoluble de sílice que presenta en su composición, es en sí mismo una barrera apical que presenta buenas propiedades de sellado y un alto grado de biocompatibilidad. La fracción soluble liberada por el MTA es hidróxido de calcio, que es el componente principal capaz de mantener el alto pH a lo largo del tiempo. Esta alcalinidad crea un medio favorable para continuar con su actividad antimicrobiana, inhibiendo el metabolismo, crecimiento y división celular.

La técnica más predecible para obtener los resultados deseados de un sellado apical densamente obturado es compactando con ultrasonidos el MTA en la porción apical del conducto abierto [Whiterspoon, 2001; Lawley y cols., 2004; Matt y cols., 2004], puesto que la vibración del ultrasonidos aplicada a un condensador de endodoncia aumenta la fluidez y compactación del MTA apicalmente.

El fabricante recomienda una barrera de 3 a 5 mm [Martin y cols., 2007], aunque los estudios actuales han demostrado que una barrera de 5 mm es mejor para resistir el desplazamiento, así como para proporcionar una barrera apical contra la filtración bacteriana [Matt y cols., 2004].

Así, Al-Kahtani y cols. (2005) investigaron la utilización de MTA para apicoformación utilizándolo a diferentes espesores. Introducir el MTA a través del conducto radicular principal para sellar el ápice es un trabajo complicado que hace difícil controlar el espesor de material. Además, la cantidad utilizada como tope determinará la profundidad máxima del poste utilizado para reforzar la restauración en caso de que sea necesario. Los resultados del estudio se muestran a continuación:

GRUPOS	1	2	3	4	5 (CONTROL +)
ESPESOR MTA	2mm	5mm	2mm. +24 horas: otros 2mm MTA	2mm. +24 horas: gutapercha + cemento	No obturación. 100% MUESTRAS FILTRADAS
FILTRACIÓN: <i>Actinomyces viscosus</i> y <i>Staphylococcus</i>	8	0	6	0	
FILTRACIÓN: <i>Actinomyces viscosus</i>	0	0	4	10	
FILTRACIÓN: <i>Staphylococcus</i>	1	0	0	0	

Con 5 mm de MTA se consigue un absoluto sellado contra las bacterias estudiadas. En el grupo 3 se pretendía que aumentara el sellado porque la primera capa permitiría la condensación de la segunda capa y evitaría la extrusión de material, pero parece ser que no existió buena cohesión entre ellas y el fraguado no fue liso y sí con irregularidades.

Tras la formación de una barrera apical, la obturación del conducto ha de llevarse a cabo con gutapercha y cemento sellador [Giuliani y cols., 2002].

Para aclarar si es mejor realizar la obturación del conducto radicular inmediatamente después de colocar la barrera apical de MTA en el ápice (un paso) o después de fraguado el MTA (dos pasos), Matt y cols. (2004) realizaron un estudio donde compararon el MTA blanco y gris como barreras para apicoformación. En sus resultados finales mostraron que el MTA gris selló mejor que el blanco. Los autores piensan que puede ser por la falta de tetracalcio aluminoferrito del MTA blanco, que podría favorecer la contracción del cemento y una disminución en su capacidad de sellado. Observaron que realizar la obturación del conducto radicular con gutapercha y cemento sellador tras dejar fraguar el MTA durante 24 horas proporcionó mejores resultados. Es posible que la humedad proveniente de la zona periapical pueda ser suficiente para el fraguado del MTA, pero los autores recomiendan la colocación de una bolita de algodón húmeda que proporcione al MTA las condiciones más favorables para su completo fraguado. También observaron que una barrera de cemento de 5 mm mejoró la microdureza del tope apical. Parece ser que los autores utilizaron en su estudio la formulación de MTA blanco anterior a 2003, ya que en esta fecha, dadas las pobres propiedades de manipulación del cemento, los fabricantes modificaron el tamaño de partícula del mismo [Storm y cols. 2008].

Sin embargo, Whitterspoon y cols. (2001) proponen la técnica de un paso, es decir, sellar el conducto con gutapercha y cemento sellador inmediatamente después de conseguir el tope apical con MTA, igual que Kwak y cols. (2000), quienes demostraron además, que el espesor de MTA logrado no influye en la capacidad de sellado, resultados que coinciden con Hachmeister y cols. (2002).

El objetivo del estudio llevado a cabo por estos autores fue comprobar si era posible la utilización del MTA como material de apicoformación estudiando su capacidad de sellado y la retención del mismo una vez colocado como barrera apical. En sus conclusiones encontramos:

1. Es más sencillo obturar con MTA vía retrógrada que a través del conducto radicular con el ápice abierto.
2. Existe mayor resistencia al desalojo del MTA con 4 mm de espesor que con 1 mm, pero no hay diferencias de filtración entre 1 mm ó 4 mm.

3. La filtración es consecuencia del tratamiento posterior del conducto radicular y no del MTA.
4. Es mejor tratar el diente primero con hidróxido de calcio una semana, el cual inhibe el crecimiento bacteriano [Simcock y cols., 2006].

Sin embargo, en el estudio llevado a cabo por Felipe y cols. (2006) se demuestra que el MTA favorece la apicoformación y la cicatrización periapical independientemente de la colocación previa de hidróxido de calcio en el conducto. De hecho, en los casos tratados previamente con hidróxido de calcio se observó extrusión de MTA y formación de una barrera apical por fuera de los límites de las paredes del canal radicular. Los autores hallaron formación de la barrera apical en el 100% de los casos tratados, mientras que Simon y cols. (2007) tan solo observaron el cierre apical en el 26% de los casos, aunque quizá la diferencia pudo estar en la interpretación de la radiografía y en que el puente de dentina era demasiado fino para ser claramente distinguible.

Lawley y cols. (2004) demostraron que la resistencia a la fractura del diente permanente inmaduro aumenta si después de conseguir un tope apical con 4 mm de espesor de MTA el conducto radicular se rellena con composite en lugar de gutapercha y cemento sellador.

Bortoluzzi y cols. (2007b) concluyen que después de lograr el tope apical con MTA la resistencia a la fractura del diente tratado aumenta al colocar en el interior del conducto radicular un poste metálico.

Los estudios están de acuerdo con que el MTA es el material de elección hoy día para la realización de un tratamiento de apicoformación en dientes inmaduros con ápice abierto [Rafter, 2005].

Técnica:

Para realizar la apicoformación [Torabinejad y cols., 1999; Giuliani y cols., 2002] en primer lugar hay que anestesiar y aislar el diente que va a ser tratado con un dique de goma, realizar la apertura cameral y determinar la longitud de trabajo. Una vez instrumentados, conformados e irrigados con hipoclorito sódico, los conductos radiculares se secan con puntas de papel.

Como hemos visto anteriormente, algunos autores recomiendan colocar hidróxido de calcio en el interior de los conductos durante una semana como desinfectante [Holden y cols., 2008], aunque según Boraio y cols. (2003), esto no parece ser necesario dado que el MTA, por tener un pH alcalino, es bactericida.

En caso de tratar el diente primero con hidróxido de calcio, se debe comprobar radiográficamente que todo el canal aparece obliterado, puesto que el hidróxido de calcio puro presenta la misma radiodensidad que la dentina [Barnett y cols., 2002], y colocar en la apertura de acceso una restauración temporal.

Una vez que ha pasado el tiempo señalado, se coloca de nuevo el dique de goma y se elimina el hidróxido de calcio, irrigando de nuevo con hipoclorito sódico y utilizando los instrumentos que sean necesarios.

Posteriormente se deben secar los conductos radiculares con puntas de papel.

A continuación, se mezcla el MTA con agua estéril, según las instrucciones del fabricante, y se lleva con un portaamalgamas al interior de los conductos. Seguidamente, se condensa la mezcla de MTA hasta el extremo apical de la raíz con atacadores o puntas de papel hasta conseguir un tapón apical de 3 a 4 mm, que debe ser comprobado radiográficamente. Si en el primer intento no se puede crear un tapón ideal, lavar el MTA con agua estéril y repetir el proceso. Una vez conseguido el tope apical, se debe colocar una restauración temporal. Los autores recomiendan que pasadas 3 ó 4 horas, se obture el resto del conducto con gutapercha, o con una resina de composite en dientes con paredes finas [Torabinejad y cols., 1999], aunque Borao y cols. (2003) opinan que es mejor hacerlo a las 24-48 horas, puesto que es el tiempo durante el cual el MTA capta más cantidad de agua. Después se realiza la restauración final y se revisa periódicamente la curación perirradicular.

Andreasen y cols. (2006) y Rosenberg y cols. (2007) concluyen en sus respectivos estudios que la colocación de hidróxido de calcio para desinfectar el canal y los túbulos dentinarios ha de realizarse durante sólo un mes, puesto que más tiempo supone una reducción muy importante de la resistencia a la fractura del diente tratado. Stefopoulos y cols. (2008) observaron que en los dientes tratados primero con hidróxido de calcio, la adaptación apical del MTA blanco fue peor y los resultados de filtración también fueron peores que en los casos en los que no se había colocado el hidróxido de calcio previo al tratamiento de apicoformación.

Pace y cols. (2007) siguieron durante 2 años el tratamiento de 11 pacientes a los que se les había realizado apicoformación con MTA (3-4 mm) bajo microscopio y en diez de los once casos hallaron curación completa de las lesiones perirradiculares. También Ghaziani y cols. (2008) siguieron observando curación completa a los 2 años de haberse llevado a cabo el tratamiento en 2 incisivos centrales con ápice abierto y lesiones periapicales.

Martín y cols. (2006) colocaron Hémarcol⁴⁵ en el ápice, un material resorbible estéril, y D'Arcangelo y cols. (2007) colocaron Spongostan⁴⁶, una esponja de gelatina resorbible, como primera barrera antes de colocar el MTA con el fin de facilitar la compactación del mismo e impedir su extrusión a través del ápice

Tittle y cols. (1996) realizaron un estudio para comparar la capacidad de inducción del cierre apical del MTA y de factores de crecimiento de hueso combinados con hidróxido de calcio y con ambos materiales se obtenían los mismos resultados favorables. Shabahang y cols. (1997, 1999) compararon la inducción de un tope apical producida por MTA, hidróxido de calcio y proteína osteogénica 1, encontrando que no habían diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tejido duro formado entre los 3 materiales, aunque el MTA produjo un tejido duro apical de mayor consistencia.

El MTA también es utilizado para conseguir un plug apical en los casos en que no se consiga adaptar el cono principal de gutapercha en el conducto radicular en dientes con foramen sobreinstrumentado [Monteiro y cols., 2004]. La confección previa del plug apical reduce considerablemente el riesgo de extravasado del material de obturación. Éste debe tener un espesor de 3 a 4 mm, en concordancia con Hachmeister y cols. (2002), para garantizar el sellado apical, lo que debe ser visualizado en la radiografía antes de la obturación del conducto radicular. La limpieza de la pared del conducto del exceso de MTA también es fundamental ya que su persistencia puede bloquear el conducto e impedir el acceso al mismo. Para ello los autores recomiendan limpiar todas las paredes del conducto por medio de una lima tipo K con su punta envuelta en algodón humedecido con suero fisiológico.

Hayasi y cols. (2004) trataron unos incisivos mandibulares que habían sido sometidos 13 años atrás a un tratamiento de conductos y después a un tratamiento quirúrgico y continuaban con fistula vestibular e inflamación difusa. Eliminaron la restauración coronal y la obturación radicular. Determinaron la longitud de trabajo y limpiaron los conductos con limas, irrigando con hipoclorito sódico al 5%. Colocaron hidróxido de calcio durante dos semanas. Después que las fistulas hubieron desaparecido y los dientes permanecieron asintomáticos tras colocar hidróxido de calcio dos veces, los conductos se limpiaron con EDTA al 17% e hipoclorito sódico al 5%, se secaron con puntas de papel y se obturó la porción apical de las raíces con MTA con un espesor

⁴⁵ Dentsply France SAS, Montigny le Bretonneux, Francia

⁴⁶ Johnson and Johnson Medica, Skipton, Inglaterra

de 3 a 4 mm. Una vez pasados dos meses, en los que se comprobó que los dientes continuaban asintomáticos, se restauraron estos definitivamente.

De Deus y cols. (2007) utilizaron 3 mm de cemento Portland blanco como material para crear un plug apical en un diente definitivo inmaduro con ápice abierto y radiolucidez apical. Los resultados mostraron una completa curación del diente 1 año después, el cual presentaba una adecuada función clínica y ausencia de síntomas clínicos y rarefacción periapical.

Banchs y cols. (2004) llevaron a cabo la revascularización de un diente permanente inmaduro con periodontitis apical. Se trataba de un caso en el cual el paciente de 11 años había sufrido un traumatismo que había producido la necrosis del nervio del segundo premolar inferior derecho, dando lugar al desarrollo de una lesión periapical. El canal dentario fue desinfectado con una irrigación copiosa de hipoclorito sódico y con la colocación en el interior del canal de una combinación de 3 antibióticos (ciprofloxacino, metronidazol y minociclina) durante 26 días. Cuando el paciente volvió a la clínica, la fístula había desaparecido y ya se había producido algo de disminución en el tamaño del área periapical. Entonces, el canal fue irrigado de nuevo con hipoclorito sódico y, una vez comprobado que no presentaba exudado inflamatorio, introdujeron un explorador endodóncico en el interior del conducto 15 mm para irritar el tejido y crear sangrado dentro del canal. El sangrado lo pararon a 3 mm por debajo del nivel de la unión amelocementaria y lo dejaron durante 15 minutos para que se creara un coágulo. Entonces colocaron MTA sobre el coágulo de sangre y lo cubrieron con un algodón húmedo. A las 2 semanas el paciente estaba totalmente asintomático, así que se le restauró el diente de forma definitiva.

Dos años después, el paciente continuó asintomático, se había producido el cierre del ápice así como el engrosamiento de las paredes dentinales y el diente respondía al frío de forma positiva. Los autores opinan que la revascularización es posible en dientes que presentan ápice abierto y pulpa desvitalizada pero no infectada y totalmente libre de bacterias. El coágulo de sangre proporciona una matriz hacia la cual los nuevos tejidos vitales pueden crecer. Para ello, lo más importante es la desinfección del canal con la medicación y crear un sellado apical coronal para inhibir la entrada de bacterias durante la revascularización, lo cual se consigue con MTA. El origen del nuevo tejido pulpar con odontoblastos funcionales, dado que la raíz siguió creciendo y las paredes de dentina engrosaron y se desarrollaron de forma convencional, puede proceder de algún tejido pulpar que sobrevivió apicalmente, a pesar de que la mayor parte de la pulpa se

encontraba desvitalizada, de forma que al desinfectar el canal y revertir la situación inflamatoria, los tejidos pulpaes pudieron proliferar.

Si en 3 meses no se hubiera producido el desarrollo radicular, los autores hubieran llevado a cabo un tratamiento de apicoformación convencional.

2.5.2- TRATAMIENTO DE LA PULPA VITAL

El recubrimiento pulpar se define como la colocación de un material sobre la pulpa, expuesta o casi expuesta, para promover la formación de dentina en el lugar donde se ha producido la injuria y mantener la vitalidad pulpar [Dominguez y cols., 2003; Glossary, 2003; MeSH; Olsson y cols., 2006].

El recubrimiento de una exposición pulpar está indicado cuando se produce una lesión pulpar reversible después de un trauma físico o mecánico en dientes permanentes maduros [Andelin y cols., 2003] o en desarrollo [Calderón, 2002], favoreciendo en este caso la madurogénesis, es decir, el cierre apical completo y desarrollo fisiológico radicular, que incluye deposición de dentina a lo largo de la raíz, lo que proporciona a ésta mayor fuerza y resistencia a la fractura [Patel y cols., 2006].

Hasta el momento, existía la creencia de que en dientes temporales las células indiferenciadas mesenquimales podían diferenciarse en odontoclastos como respuesta a este tratamiento, lo que conduciría a un proceso de resorción interna, aunque Bodem y cols. (2004) realizaron un recubrimiento pulpar directo con MTA en un primer molar temporal de un niño de 7 años y, tras 18 meses, el molar continuó vital y asintomático, y Tuna y cols. (2008) evaluaron la efectividad del MTA y del hidróxido de calcio (Dycal) en recubrimientos pulpares directos en molares temporales y con ambos materiales se obtuvieron los mismos resultados favorables clínicos y radiológicos a los 24 meses. Los autores consideran que los buenos resultados obtenidos con el hidróxido de calcio pudieron estar relacionados con el hecho de colocar una obturación de óxido de cinc-eugenol tras el recubrimiento, lo que permitió un sellado contra las bacterias y compensó la posible disolución del mismo.

El éxito de un tratamiento de recubrimiento pulpar se ve afectado por una serie de factores [Aeinechi y cols., 2002; Cohen y cols., 2002]:

- a. Edad del paciente
- b. Estado periodontal del diente afectado
- c. Desarrollo radicular
- d. Tamaño de la exposición
- e. Naturaleza de la misma (traumática, mecánica o cariosa)
- f. Contaminación bacteriana

Por lo que es importante eliminar los irritantes, controlar la infección y utilizar un material biocompatible [Stanley, 1989; Andelin y cols., 2003]. En cualquier caso, el principal factor para que el tratamiento sea un éxito depende de la capacidad de curación del diente afectado puesto que, como demostraron Kakehashi y cols. (1965), si al diente se le proporciona un medio adecuado libre de gérmenes, él mismo presenta la capacidad de sobreponerse al daño y formar dentina sobre la pulpa expuesta mecánicamente sin necesidad de la colocación de ningún material.

La pulpotomía es la remoción quirúrgica de una pequeña porción de tejido pulpar vital coronal como medio para preservar la vitalidad del tejido pulpar remanente [Domínguez y cols., 2003].

Cuando se hace una pulpotomía, las capas superficiales de la pulpa son eliminadas suavemente hasta una profundidad de 1 ó 2 mm por debajo del nivel de la exposición. En el caso de dientes temporales, la colocación de MTA en el tejido pulpar remanente hace que se mantenga la vitalidad y la función del complejo pulpo dentinario, lo que permite a los odontoblastos terminar de desarrollar la raíz del diente [Levitan y cols., 2006]. La clave de la curación pulpar consiste en proporcionar un sellado que evite la filtración bacteriana futura [Cox y cols., 1987].

El método habitual con el que tradicionalmente se ha realizado el recubrimiento pulpar es mediante la colocación de hidróxido de calcio en la zona de la exposición [Heys y cols., 1981; Pitt Ford, 1985; Stanley, 1989].

Diversos estudios han demostrado que el hidróxido de calcio destruye una fina capa de tejido por debajo del tejido pulpar recubierto, dejando una capa necrótica debido a su alto pH [Banchs y cols., 2004]. Como resultado, se retrasan la curación pulpar y la formación de tejidos duros y existe la posibilidad de que haya síntomas. Asimismo, produce cambios degenerativos tales como inflamación persistente y calcificación distrófica en el tejido pulpar remanente [Holland y cols., 1985]. Entre el hidróxido de calcio y el puente dentinario suele aparecer una zona de necrosis [Heys y cols., 1981].

El MTA ha demostrado inducir formación de tejidos duros de modo más predecible que el hidróxido de calcio en procedimientos de pulpotomía y recubrimiento pulpar [Abedi y cols., 1996; Koh y cols., 2001; Menezes y cols., 2004]. Hay menos inflamación pulpar [Junn y cols., 1998] y la falta de necrosis tisular localizada tras la aplicación de MTA en el tejido pulpar puede ser resultado del fraguado más rápido del mismo en comparación con el hidróxido de calcio, el cual mantiene un estado de alcalinidad local durante más tiempo.

En el estudio llevado a cabo por Pitt Ford y cols. (1996) donde se comparó al MTA con el hidróxido de calcio en recubrimientos pulpares en monos durante 5 meses, solo en 2 de los 6 casos tratados con éste último se formaron puentes dentinarios, mientras que en todos los casos tratados con MTA se hallaron puentes de dentina continuos con la dentina subyacente y con presencia de túbulos dentinarios. Los resultados están de acuerdo con Faraco y cols. (2001) en su estudio con perros, quienes hallaron formación completa de un puente dentinario tubular en las 15 muestras de MTA y sólo en 3 de las tratadas con hidróxido de calcio, y Tziafas y cols. (2002). Estos autores demostraron que el recubrimiento pulpar con MTA induce cambios citológicos y funcionales en las células pulpares que resultan en la formación de fibrodentina y dentina reparativa en la superficie de la pulpa expuesta. Parece ser que el MTA ofrece un sustrato biológicamente activo para las células pulpares, capaces de regular los procesos dentinogénicos. En su estudio, el efecto inicial del MTA sobre las pulpas expuestas mecánicamente fue la formación de una capa superficial de estructuras cristalinas sobre la superficie pulpar del material de protección. Entonces se puso en marcha un mecanismo de estimulación de la actividad biosintética de las células pulpares. A las 2 semanas se formó debajo del MTA una matriz atubular con inclusiones celulares y colágeno de naturaleza fibrodentinaria. A las 3 semanas se produjo la dentinogénesis reparativa asociada a la matriz fibrodentinaria y aparecieron odontoblastos elaborando una matriz celular. Estos datos confirman los mecanismos similares de reparación del MTA y del hidróxido de calcio puesto que con ambos materiales la formación de una matriz de fibrodentina precede la actividad de los odontoblastos.

Así, Myers y cols. (1996) demostraron formación de un puente de dentina tanto con el MTA como con el hidróxido de calcio (Dycal) en exposiciones pulpares de pequeño tamaño en perros. Sus resultados están de acuerdo con Iwamoto y cols. (2006), quienes no encontraron diferencias clínicas ni histológicas en los molares del estudio en el cual se realizaron recubrimientos pulpares en humanos con MTA blanco e hidróxido de calcio Dycal, y con Tuna y cols. (2007), aunque en este estudio se utilizaron molares temporales. También Accorinte y cols. (2008) muestran curación pulpar similar con ambos materiales, a pesar de que con el hidróxido de calcio fue más lenta.

Sin embargo, los resultados no coinciden con Nair y cols. (2008). Los autores realizaron recubrimientos pulpares directos en molares humanos y observaron que las muestras tratadas con MTA blanco no presentaron inflamación después de 1 semana y se cubrieron con una capa compacta de puentes de tejido duro que fue incrementando tanto en espesor como en extensión,

de forma que tras 3 meses de tratamiento se observó formación de dentina tubular y un puente de espesor uniforme y continuo con las paredes de dentina.

Las muestras obturadas con Dycal presentaron una alta tasa de inflamación crónica, lo que sugiere que algún componente del mismo produce irritación de la pulpa, y una barrera de tejido duro menos consistente y con numerosos defectos en túnel. Además, este cemento es hidrofóbico y es más difícil de aplicar puesto que es casi imposible conseguir una cavidad totalmente libre de humedad o de sangre.

Los autores opinan que en el estudio de Iwamoto no se presentan datos sobre la profundidad y extensión de la barrera de tejido duro formada y además no está claro cuántos dientes de ambos grupos presentaron formación de puentes completos. Sin embargo, el estudio de Nair presenta datos cuantitativos y cualitativos en los 3 períodos de observación sobre el puente de tejido duro y sobre la inflamación crónica de la pulpa.

Algunos estudios sugieren que la curación de la pulpa no se produce directamente por el material empleado si no por la capacidad del material de impedir la filtración [Cox y cols., 1987], sin embargo, las cavidades fueron selladas en ambos casos con óxido de cinc-eugenol y la mayoría de las muestras tratadas con Dycal sufrieron inflamación pulpar. Bajo las condiciones de este estudio parece que el MTA presenta unas propiedades de sellado excelentes y previene la microfiltración y la inflamación pulpar proporcionando una barrera secundaria bajo la superficie de sellado de la obturación coronal.

Estudios histológicos sobre animales muestran que el puente formado después de colocar MTA sobre el tejido pulpar era completo y de tipo tubular, sin la presencia de túneles ni imperfecciones [Andelin y cols., 2003], es más grueso y tiene menos porosidad que el tejido duro que induce el hidróxido de calcio [Junn y cols., 1998]. Aunque el MTA produce dentinogénesis cuando es utilizado como recubrimiento pulpar directo, el proceso por el cual esto ocurre no ha sido demostrado. De cualquier forma, con el MTA se produce un puente dentinario de mayor espesor y con más frecuencia, así como menor inflamación pulpar, como se observa en el estudio realizado por Aeinehchi y cols. (2002) sobre humanos, en el cual se muestra que con MTA se consigue un puente dentinario más grueso y la aparición de una capa odontoblástica, así como menos inflamación, hiperemia y necrosis comparándolo con el hidróxido de calcio. A los 6 meses se observó una capa de puente dentinario 0,43 mm de espesor en los casos tratados con MTA comparado con los 0,15 mm sin capa odontoblástica observados en los casos tratados con hidróxido de calcio. Estos resultados coinciden con otros autores que también utilizaron perros en sus estudios, como Abedi y cols. (1996), Junn y cols. (1998) y Domínguez y

cols. (2003), quienes observaron que el MTA fue superior al hidróxido de calcio y al adhesivo autograbante en los tratamientos de recubrimiento pulpar y pulpotomía, y Menezes y cols. (2004). Estos últimos compararon el MTA Angelus con el cemento Portland en pulpotomías y recubrimientos pulpares y observaron que con ambos materiales se obtuvieron puentes dentinarios gruesos y mineralizados así como una capa odontoblástica y total ausencia de inflamación, necrosis o calcificaciones, y que las exposiciones pulpares quedaron selladas, manteniéndose la vitalidad de todos los especímenes estudiados. También Parirokh y cols. (2005) observaron la formación puentes calcificados una semana después de realizar pulpotomías en dientes de perro.

La capacidad del MTA para formar un puente de dentina puede deberse a su capacidad de sellado [Torabinejad cols., 1993, 1994; Bates y cols., 1996; Fischer y cols., 1998; Wu y cols., 1998], su biocompatibilidad [Kettering y cols., 1995; Torabinejad y cols., 1997a; 1998; Holland y cols., 1999; Keiser y cols., 2000], a la creación de un medio alcalino pulpar [Camilleri y cols., 2005a] o a la liberación de citoquinas en los osteoblastos humanos [Koh y cols., 1998]. Además, posee suficiente resistencia para permitir la condensación de un material de obturación y no presenta solubilidad [Torabinejad y cols., 1995c].

Tunca y cols. (2007) estudiaron el efecto del MTA sobre los vasos sanguíneos, ya que en el tratamiento de la pulpa vital el control de la hemorragia es un paso importante para el éxito del tratamiento. Concluyeron que, a dosis clínicas, el mineral trióxido provoca la contracción de los músculos de los vasos (dosis-dependiente), contracción relacionada con el flujo de calcio, lo cual afecta positivamente a los tratamientos de pulpotomía y recubrimiento pulpar.

Técnica:

En el caso de que se produzca una exposición pulpar, siempre bajo aislamiento con dique de goma, se debe eliminar el tejido cariado con un instrumento rotatorio de baja velocidad y fresas redondas de carburo de tungsteno. En el caso de una pulpotomía [Maroto y cols., 2004; 2006; 2007], se debe eliminar primero el techo de la cámara pulpar y realizar la remoción de la pulpa cameral mediante un instrumento rotatorio a baja velocidad y fresa redonda de carburo de tungsteno y spray de agua. Después, se debe realizar la limpieza de la cavidad y la(s) zona(s) de la exposición con hipoclorito sódico diluido al 2,5% - 5% [Torabinejad y cols., 1999].

Si se hubiera producido alguna hemorragia importante ésta puede controlarse con un algodón humedecido en solución salina estéril y comprobar la integridad del suelo de la cámara pulpar.

Silva y cols. (2006) estudiaron el control de la hemorragia en recubrimientos pulpaes utilizando suero salino al 0,9%, digluconato de clorhexidina al 2% e hipoclorito sódico al 5,25% y demostraron que ninguno de los tres agentes hemostáticos impidió el proceso de curación del tratamiento de la exposición pulpar.

A continuación, se debe preparar el MTA siguiendo las instrucciones del fabricante y colocar la mezcla en la cavidad de acceso con un transportador de amalgama, adaptando el material a la cámara pulpar mediante una ligera presión con una bolita de algodón húmeda. Posteriormente, se debe sellar la cámara pulpar con cemento ionómero de vidrio fotopolimerizable, limpiando seguidamente el contorno de la cavidad.

La capa de ionómero de vidrio directamente en la superficie coronal del mismo produce una barrera protectora de la destrucción potencial mediante agentes de grabado ácido [Levitan cols., 2006].

Por último, se debe adaptar y cementar una corona metálica preformada previamente seleccionada con cemento de ionómero de vidrio autopolimerizable.

Se debe comprobar la vitalidad pulpar cada 3 y 6 meses.

Barrieshi-Nusair y cols. (2006) trataron mediante pulpotomías, con extirpación de unos 2 a 4 mm de tejido pulpar, y recubrimiento con MTA exposiciones pulpaes de primeros molares permanentes.

Según los autores, es preferible realizar una pulpotomía a un recubrimiento pulpar por las siguientes razones:

- 1- La tasa de éxito de un recubrimiento pulpar sobre tejido pulpar expuesto por caries en dientes permanentes después de 5 a 10 años es de un 37% y un 13% respectivamente [Barthel y cols., 2000].
- 2- En dientes jóvenes con caries y exposición pulpar tratados con pulpotomías la tasa de éxito aumenta hasta 91,4-93,5%.

Después de eliminar la lesión de caries, con una fresa en forma de llama y de diamante a alta velocidad e irrigación con agua, extirparon de 2 a 4 mm de tejido pulpar. Inmediatamente irrigaron con suero fisiológico hasta que dejó de sangrar. Colocaron una capa de 2 a 4 mm de MTA gris, mezclado según las instrucciones del fabricante y compactado con una bolita de algodón humedecida. Seguidamente, las exposiciones tratadas fueron recubiertas con una capa de ionómero de vidrio fotopolimerizable e inmediatamente todos los molares fueron restaurados de forma definitiva. Después de un período de evaluación de 12 a 26 meses, obtuvieron un 79% de vitalidad positiva y en los molares que no la presentaron no se detectó ningún signo de

fracaso clínico o radiológico. En un 64% observaron formación de un puente de tejido duro y los casos que presentaban ápice abierto al principio del tratamiento mostraron continuidad en la maduración radicular.

Los autores siguieron estrictos criterios de selección de los pacientes, presentando todos ellos una media de edad de unos 10 años. El hecho de que fueran molares jóvenes, lo que supone una pulpa más celular y con mayor aporte sanguíneo, y la colocación inmediata de una restauración definitiva puede haber afectado positivamente en el alto nivel de éxito del estudio.

Qudeimat y cols. (2007) realizaron un estudio similar, siguiendo el mismo protocolo de tratamiento, en pacientes con una media de edad de 10 a 13 años, y compararon los resultados obtenidos con MTA y con hidróxido de calcio no fraguable. Los autores concluyeron que no existen diferencias estadísticamente significativas en la tasa de éxito obtenida con ambos materiales en la realización de pulpotomías parciales en molares permanentes.

La pulpotomía en dientes temporales está indicada en los casos en el que el proceso de caries provoca inflamación pulpar limitada a la pulpa coronal sin afectación de la pulpa radicular. El objetivo de este tratamiento es la conservación de la vitalidad de la pulpa radicular, manteniendo así el diente asintomático para que cumpla sus funciones de masticación, estética, fonación y mantenimiento del espacio hasta el momento de su exfoliación, aunque también sirve para mantener el diente temporal en los casos en los que hay agenesia del diente permanente [Moretti y cols., 2007].

La pulpotomía es un tratamiento frecuente en dientes temporales que se ha realizado habitualmente con formocresol [Peng y cols., 2007], aunque las características tóxicas demostradas por éste último [Patchett y cols., 2006; Srinivasan y cols., 2006; Ramos y cols., 2008] llevaron a Maroto y cols. (2003, 2004, 2006, 2007) a evaluar el éxito a largo plazo (27 y 36 meses) del MTA en pulpotomías en dientes temporales.

El éxito clínico y radiográfico fue del 100% ya que ninguno de los molares tratados mostró ningún signo de degeneración pulpar. Se detectó la formación de neodentina en los conductos pulpares en forma de un puente dentinario radioopaco apical al MTA y adaptado a la cámara pulpar, y de estenosis pulpar, con la disminución del diámetro interno de los conductos pulpares radiculares. Este hallazgo puso de manifiesto que la vitalidad de la pulpa se mantiene tras el tratamiento puesto que si no, no existiría tal estimulación celular. Los autores también hallaron mayor formación de neodentina con el MTA gris que con el MTA blanco, lo que demuestra una reacción pulpar diferente a los dos tipos de cemento. Sus resultados están de acuerdo con

Agamy y cols. (2004) y Peng y cols. (2006), quienes realizaron un estudio en molares temporales que requerían de un tratamiento de pulpotomía y compararon el MTA blanco y gris con el formocresol. En sus resultados finales observaron que el MTA gris presentó los mejores resultados, puesto que en los dientes tratados con él se observó una arquitectura pulpar próxima a la normalidad y la formación de un puente dentinario más grueso, y con Salako y cols. (2003), quienes obtuvieron mejores resultados en pulpotomías realizadas en ratas con MTA que con formocresol o el resto de materiales estudiados. También Naik y cols. (2005), Whitterspoon y cols. (2006) y Farsi y cols. (2006) obtuvieron excelentes resultados clínicos y radiológicos en pulpotomías realizadas en molares temporales con MTA gris.

Saltzman y cols. (2005) realizaron un estudio para comparar dos tipos de tratamiento: pulpotomías realizadas con formocresol y selladas con óxido de cinc-eugenol frente a pulpotomías realizadas con láser de diodos y selladas con MTA. En sus resultados finales obtuvieron mejores resultados con la técnica del formocresol, aunque los autores no saben confirmar si el responsable del fracaso ha sido el láser de diodos por el posible daño térmico a los tejidos pulpares y consideran necesarios estudios del láser con el formocresol y del formocresol con el MTA para poder comparar los resultados.

Aeinehchi y cols. (2007) compararon el éxito a los 6 meses de pulpotomías realizadas en molares temporales y tratadas en unos casos con MTA y en otros con formocresol. A los 3 meses no se hallaron diferencias radiológicas significativas entre ambos grupos, pero a los 6 meses sí que se observaron algunos casos de resorción radicular y de patología periapical en los molares tratados con formocresol, mientras que en los molares tratados con MTA no se observó ninguna de las dos patologías.

2.5.3- OBTURACIÓN APICAL RETRÓGRADA

La terapia de obturación de canales por vía retrógrada se realiza en dientes con patología periapical persistente cuando:

[Arens y cols., 1998; Liñares, 2000; Soares, 2002; Rodríguez, 2003; Peydro y cols., 2004a-b; Islam y cols., 2005]

- 1- El tratamiento endodóncico convencional fracasa debido a:
 - 1.1- Perforación radicular
 - 1.2- Presencia de instrumentos rotos dentro del conducto
 - 1.3- Falsa vía
 - 1.4- Lesión periapical que no se ha reparado o ha aumentado de tamaño y produce dolor o sensibilidad periapical
 - 1.5- Obturación radicular incorrecta que no puede eliminarse
 - 1.6- Sobreinstrumentación que impide establecer un tope apical y evitar que los materiales de obturación penetren en los tejidos periapicales.
 - 1.7- Sobreobturación que produce dolor persistente, inflamación o radiolucidez apical.
 - 1.8- Patología periapical persistente

- 2- El tratamiento endodóncico convencional no es posible, debido a:
 - 2.1- Anomalías anatómicas (conductos accesorios no accesibles por vía ortógrada, curvatura del tercio apical, ...)
 - 2.2- Obliteración del conducto radicular debido a los depósitos de dentina secundaria que impiden la instrumentación
 - 2.3- Instrumentos rotos en el conducto radicular
 - 2.4- Cuando no podemos retirar una obturación radicular defectuosa y existe patología periapical
 - 2.5- Diente con corona de porcelana en el que repetir el tratamiento endodóncico puede producir una fractura de la prótesis
 - 2.6- Cuando hay un ápice muy abierto que sería muy difícil de obturar por vía ortógrada o cuando no ha dado resultado un tratamiento de apicoformación
 - 2.7- Cuando existe una perforación de la raíz y el conducto no tiene posibilidades de tratarse por vía coronal

La principal función de la obturación retrógrada es mejorar el sellado del sistema de conductos radiculares tras la cirugía periapical.

La cirugía periapical [Gay, 1995; Gay, 1998; Arens y cols., 1998; Frank y cols., 1984; Walton y cols., 1997] es el procedimiento quirúrgico de eliminación de una lesión periapical conservando el diente causal y engloba a todos aquellos procedimientos quirúrgicos que se realizan en el ápice radicular, después de levantar un colgajo mucoperiostico, y que son:

1- Curetaje periapical:

Consiste en eliminar el tejido patológico que se encuentra alrededor del ápice de un diente y puede realizarse como tratamiento único o ser el paso inicial de una resección apical con retroobturbación [Gay, 1995, 1998; Lasala, 1992].

2- Apicectomía o resección apical:

Consiste en eliminar una porción final de la raíz, bien para eliminar una parte de la raíz no obturada hasta donde el material de obturación del conducto está íntegro, o bien como un paso más en la preparación para la retroobturbación.

La resección radicular se realiza con un grado variable de bisel, que permite una visión directa de la apertura apical, lo que facilita la realización de la preparación y su obturación [Gilheany y cols., 1994; Beer y cols., 1998].

3- Obturación retrógrada

Supone la colocación de un material de obturación en una preparación radicular para conseguir un sellado y debe incluir todo el foramen apical, permitir un volumen suficiente de material de obturación y tener retenciones para mantener el material de la retroobturbación. Para la preparación de la cavidad apical, una vez efectuado el corte del ápice radicular, se están utilizando actualmente ultrasonidos con puntas de diamante, con los que el tiempo de trabajo es mucho menor [Fabra y cols., 2001].

Lamb y cols. (2003) evaluaron por medio de un método de filtración de fluidos la capacidad del MTA para proporcionar sellado apical y determinar la mínima profundidad requerida para mantener el sellado apical post-resección.

Para ello, a diez dientes humanos exodonciados, les seccionaron las coronas de modo que obtuvieron unas raíces de unos 12 á 14 mm. Se les realizó el tratamiento de conductos y la obturación de los mismos con MTA. Después, colocaron un algodón húmedo en la zona coronal

y cerraron la cavidad de acceso con Cavit. Introdujeron los dientes en una cámara a 37 °C y 100% de humedad durante 48 horas. Una vez pasado este tiempo, las piezas fueron conectadas una a una a una máquina en la cual se las sometió a una presión de 20 cm H₂O durante 2 minutos y se midieron los resultados.

Después, seccionaron 3 mm apicales y volvieron a ser sometidas a la misma presión y se midieron los resultados. Y así sucesivamente eliminando 1 mm de ápice cada vez.

En los resultados finales se observó que la filtración de fluidos aumenta después de cada resección radicular pero no se vieron diferencias significativas hasta que no se seccionaron 4 mm y sólo quedaron 2 mm de MTA en el ápice. Por lo tanto, llegaron a la conclusión de que eran necesarios como mínimo 3 mm de MTA obturando el ápice para conseguir un buen sellado apical, aunque se desconoce la diferencia biológica entre 3 mm y 4 mm de resección apical para producirse o no filtración. Según Valois y cols. (2004), el espesor necesario de MTA en las cavidades retrógradas debe ser de 4 mm para evitar la filtración apical.

La resección radicular por sí sola, sin un material de obturación, no está indicada. En el estudio llevado a cabo por Kontakiotis y cols. (2004) se compara, mediante un método de filtración de fluidos, la filtración apical antes y después de realizar una apicectomía sin obturar la cavidad apical y en sus resultados finales observan un 31% de filtración antes de realizar el tratamiento frente a un 54% de filtración una vez realizada la resección apical con un ángulo de 0° y la cavidad apical de 3 mm, resultados que coinciden con Wu y cols. (2001). Algunos autores indican que únicamente podría hacerse en aquellos casos en los que el agente irritante se ha eliminado por completo con la resección apical, la estructura dentaria remanente está completamente limpia y el tratamiento endodóncico ortógrado asegura que el conducto está sellado tanto coronalmente como en la zona apical [Johnson, 1999; Aranguren y cols., 2003]. En esos casos, Vignaroli y cols. (1995) recomiendan la aplicación de un agente adhesivo en la raíz seccionada para que proporcione un sellado de los túbulos dentinarios y del canal radicular.

En muchos casos, la cirugía periapical se convierte en el único tratamiento posible para salvar un diente. En los casos en los que no se pueda realizar un retratamiento endodóncico porque no se puede eliminar el material de relleno del interior de los conductos (perno-muñón, perno cementado, ...) la única manera de poder conservar en boca ese diente tratado y que mantiene una patología inicial (dolor o infección periapical) va a ser el tratamiento quirúrgico. Éste nos permitirá acceder directamente a la zona del ápice del diente, eliminar la zona apical de la raíz infectada y conseguir un sellado a retro efectivo allí donde no habíamos podido llegar por la vía del conducto [Fabra y cols., 2001].

En los estudios llevados a cabo por Rubinstein y cols. (1999, 2002a) se muestra un 96,8% de casos tratados con éxito, tras un una media de tiempo de 7,2 meses, y un 91,5% de éxito tras 5-7 años. E incluso se ha observado un porcentaje de éxito adecuado en casos sometidos a cirugía periapical por segunda vez, lo que es una alternativa válida a la extracción [Gagliani y cols., 2005]. Los autores han observado que los porcentajes de éxito aumentan si el tratamiento quirúrgico se combina con el tratamiento endodóncico convencional o con el retratamiento de dientes con conductos obturados y fracasados [Friedman y cols., 1986].

El material ideal para retroobturación debe presentar estas características [Stockdale, 1992; Torabinejad y cols., 1993; 1994; Shah y cols., 1996; Johnson, 1999; Aranguren y cols., 2003]:

- 1- Prevenir la filtración de microorganismos y sus subproductos
- 2- Estéril y ejercer una acción bacteriostática
- 3- No tóxico
- 4- Biocompatible
- 5- Favorecer la cicatrización
- 6- Adaptación y adherencia a las paredes dentinarias
- 7- Proporcionar un sellado efectivo
- 8- Fácil de manipular
- 9- Fraguado rápido
- 10- Insoluble por los fluidos tisulares
- 11- Dimensionalmente estable
- 12- No alterarse en presencia de humedad
- 13- No debe corroerse
- 14- No debe ser electroquímicamente activo
- 15- No debe teñir los tejidos perirradiculares
- 16- Radioopaco para asegurarnos de que el material se encuentra dentro de la cavidad apical, que está bien compactado sin defectos
- 17- No reabsorbible
- 18- Presentar una superficie suave

A lo largo de los años, muchos han sido los materiales que se han utilizado para realizar la retroobturación de dientes sometidos a cirugía endodóncica. Entre ellos encontramos en la literatura [Torabinejad y cols., 1996b; Johnson, 1999]:

Resinas compuestas y adhesivos dentinarios [Vignaroli y cols., 1995; Economides y cols., 2004], hojas de oro, cementos de policarboxilato y de fosfato de cinc [Vasudev y cols., 2003], pins de titanio [Danin y cols., 1994], gutapercha bruñida fría y caliente inyectable [King y cols., 1990; Wu y cols., 2001], cementos de polivinilo [Regan y cols., 2002], amalgama de plata, Cavit, cementos de ionómero de vidrio, cementos basados en óxido de cinc-eugenol (IRM y SuperEBA), Resilon/Epiphany⁴⁷, TC-1 y TC-2 (cementos experimentales de tetrasilicato producidos a partir de cemento Portland blanco) [Gandolfi y cols., 2007] y MTA, algunos de las cuales describiremos a continuación.

La amalgama de plata es el material que se ha venido utilizando por décadas.

De todos los inconvenientes que presenta [Torabinejad y cols., 1993; Torabinejad y cols., 1994; Johnson, 1999; Howard y cols., 2001; Aranguren y cols., 2003], enumerados ya en páginas anteriores, la expansión es lo más peligroso puesto que en muchas ocasiones la cavidad apical presenta paredes dentinarias remanentes frágiles que no son capaces de contenerla y se puede producir con facilidad un estallido de la raíz o una fractura vertical a nivel apical que nos hiciera fracasar el tratamiento años después [Aranguren y cols., 2003]. Aunque con la aparición de aparatos de ultrasonidos con los que se pueden realizar microcavidades se pueden mantener paredes dentinarias con suficiente resistencia. Aunque el uso de puntas de ultrasonido para hacer la cavidad y un ángulo más perpendicular en la resección apical, complica el uso de la amalgama por el acceso y visibilidad limitados. Los problemas de expansión, corrosión y filtración probablemente serían insignificantes si el material se colocara en un campo seco y la preparación cavitaria se realizara de al menos 3 mm de profundidad [Johnson, 1999]. Además, la amalgama ha sido utilizada durante décadas como material de restauración coronal, por lo tanto, sigue siendo un buen material en cavidades con paredes dentinarias resistentes y campo seco.

Al comparar la amalgama con el Cavit y el cemento de policarboxilato en la obturación de cavidades apicales [Delivanis y cols., 1978], se observó que, a diferencia de los otros materiales, el sellado de la amalgama se incrementó con el tiempo, posiblemente debido a la corrosión que presenta, que favorece la buena adaptación de la misma a las paredes dentinarias.

La amalgama debe utilizarse en cavidades pequeñas para evitar estallidos [Donado y cols., 2001b] y la más aconsejable es la non gamma 2 con alto contenido de cobre y sin cinc, más resistente, con menor corrosión y escaso cambio dimensional.

⁴⁷ Pentron Clinical Technologies, Wallingford, EEUU

La capacidad de sellado de la amalgama puede mejorar colocando primero un barniz tipo Copalite [Abdal y cols., 1982]. Vertucci y cols. (1986) compararon la diferencia que existía en cuanto a filtración de colorante al utilizar en obturaciones apicales amalgama de plata sola o junto con un barniz cavitario. Los resultados obtenidos fueron muy similares, aunque cuando se utilizó el barniz cavitario sobre los túbulos del ápice seccionado y sobre la cavidad antes de colocar la amalgama, la filtración fue muy escasa. Aunque en el estudio de King (1990) se observó que, después de tres semanas, la amalgama sola filtró menos que con el barniz, seguramente debido a la disolución del mismo, aunque en ambos casos se mostraron resultados adecuados.

Los cementos reforzados de óxido de cinc-eugenol, IRM y SuperEBA, se encuentran entre los cementos más recomendados como material para retroobtusión y, aunque se les suele agrupar juntos, cada uno presenta diferentes características y propiedades [Johnson, 1999].

El IRM es una resina reforzada de polimetil metacrilato que fue desarrollada para incrementar la resistencia y reducir la solubilidad y el tiempo de fraguado del cemento de óxido de cinc-eugenol [Fitzpatrick, 1997].

El SuperEBA es óxido de cinc-eugenol al que se le añade alúmina para aumentar la fuerza de compresión, disminuir el grosor de capa y ser menos soluble, y también contiene ácido ortoetoxibenzoico, que ayuda a reducir la cantidad de eugenol y lo hace más tolerable por los tejidos radiculares. De hecho, el eugenol fue el objeto de estudio de Ho y cols. (2006), quienes llegaron a la conclusión de que presenta toxicidad suficiente como para ser utilizado en los tejidos periapicales.

Ejerce un efecto quelante sobre el calcio de la dentina para mejorar la adherencia a la estructura dentaria. Se adhiere bien a sí mismo, por lo que puede ser compactado capa sobre capa, no como el IRM que debe ser compactado en una sola masa y no en incrementos [Fitzpatrick, 1997; Fayos y cols., 2002].

Presentan una serie de desventajas, como son:

- 1- irritación de tejidos vitales.
- 2- solubilidad.
- 3- sensible a la humedad.
- 4- dificultad de manejo clínico.

Ambos tienen una toxicidad moderada cuando están en estado fresco, probablemente por la presencia del eugenol [Torabinejad y cols., 1995e]. Pero la citotoxicidad disminuye cuando los cementos empiezan a fraguar y su potencial inflamatorio es mínimo. Ambos cementos generalmente obtienen buenos resultados en estudios de filtración, estudios con animales y estudios retrospectivos en humanos [Olsen y cols., 1994; Torabinejad y cols., 1995f; Testori y cols., 1999]. Tanto uno como otro se comportan muy bien en cuanto al sellado, capacidad antibacteriana e inflamación residual [Aranguren y cols., 2003].

Son preferidos para utilizarlos en cavidades grandes para evitar el estallido aunque tienen el inconveniente del largo tiempo de espatulado y de su escasa radioopacidad [Donado y cols., 2001b].

El IRM se comporta mejor cuando se consigue una mezcla espesa, lo que mejora su colocación en el ápice radicular y no suele afectar las propiedades de sellado. No se adhiere bien por sí mismo y debe ser insertado y condensado en una única masa mejor que ir colocándolo incrementalmente [Johnson, 1999].

Crooks y cols. (1993) evaluaron el comportamiento del IRM para obturación apical a diferentes concentraciones de polvo/líquido en distintos intervalos de tiempo y llegaron a la conclusión de que las diferencias de microfiltración eran poco significativas en las distintas proporciones y que tanto proporciones polvo/líquido elevadas como la recomendada en el prospecto por el fabricante son aceptables para la obturación a retro.

Lindeboom y cols. (2005) observaron un éxito del 84% en obturaciones apicales obturadas con MTA y un 75% en las obturadas con IRM.

El SuperEBA proporciona un sellado óptimo, mínima toxicidad en los tejidos y biocompatibilidad [Torabinejad y cols. 1995f] y buenas características de manipulación cuando se mezcla adecuadamente, ya que la mezcla requiere más esfuerzo y práctica que otros materiales de retroobturación. Se adapta bien en preparaciones realizadas con ultrasonidos [Testori y cols., 1999; Iqbal y cols., 2005] y debe ser colocado mediante el uso de la parte convexa de un excavador pequeño y condensado con un instrumento de tamaño adecuado. Pulirlo con una fresa a alta velocidad mejora la adaptación marginal [Johnson, 1999].

King y cols. (1990) evaluaron la filtración de diferentes materiales durante diferentes períodos en tres meses. El SuperEBA obtuvo resultados superiores a la amalgama, aunque no significativos, y al ionómero reforzado con plata y, además, la filtración no aumentó a lo largo de los tres meses. También Dorn y cols. (1990) y McKendry y cols. (1993) obtuvieron mejores resultados

con IRM y SuperEBA que con amalgama y tampoco observaron un incremento de la filtración conforme aumentó el tiempo de fraguado. En el estudio llevado a cabo por Arnold y cols. (1993) se observó que el sellado de EBA en cavidades apicales se incrementó con el paso del tiempo.

Cuando Fayos y cols. (2002) compararon en un estudio *in vitro* IRM, SuperEBA y Cavit en su capacidad de sellado apical, obtuvieron unos resultados interesantes en cuanto a que el Cavit era superior a ambos cementos de óxido de cinc-eugenol. Esto pudo ser debido a la reacción higroscópica de fraguado que presenta, que hace que el Cavit absorba agua y se adapte al principio muy bien al diente. Sin embargo, también presenta otras propiedades físicas como son: escasa resistencia a la compresión, dureza muy baja, no adhesión a la estructura dentaria y alta solubilidad, que produce un deterioro del cemento a largo plazo, dando lugar a su disolución por la acción de los fluidos tisulares. Por tanto, los cementos de óxido de cinc-eugenol están más indicados para este tipo de obturaciones que el Cavit.

Szeremeta-Browar y cols. (1984) compararon las propiedades de sellado de diferentes técnicas de obturación retrógrada. Para ello hicieron 6 grupos de 10 dientes endodonciados y obturados con gutapercha con técnica lateral y retroobturados con: amalgama sin cinc; gutapercha caliente; gutapercha fría bruñida; SuperEBA; preparación apical sin relleno y ápice sin preparación apical. El mejor sellado apical se produjo en el grupo obturado con SuperEBA, seguido por el grupo que únicamente presentaba la obturación del canal radicular con gutapercha y técnica de condensación lateral. El peor sellado se produjo con la gutapercha fría bruñida y con la amalgama libre de cinc.

Bondra y cols. (1989) determinaron la filtración *in vitro* de amalgama de plata con Copalite, IRM y EBA utilizando como marcador tinta india. En los resultados obtenidos, la amalgama mostró un 60% de casos inaceptables; EBA, 100% de casos aceptables; IRM, 13,3% de casos inaceptables. Así que concluyeron que tanto EBA como IRM son adecuados para el sellado apical, siempre que los estudios de toxicidad y solubilidad demuestren que son aptos para ello.

El estudio llevado a cabo por Pitt Ford y cols. (1994) concluye que la inflamación fue mucho menos severa con el IRM que con la amalgama en el tejido periapical de monos a los que se les había reimplantado molares obturados apicalmente con ambos materiales.

Trope y cols. (1996) realizaron un estudio *in vivo* sobre perros para determinar la cicatrización de periodontitis apical después de realizar la apicectomía y la retroobturación en dientes a los cuales se les había provocado una infección. Los materiales a estudiar fueron: amalgama de

plata libre de cinc con barniz, IRM, 2 tipos de ionómero de vidrio, resina de composite y SuperEBA. En cuanto a la cantidad de células inflamatorias observadas, SuperEBA fue el mejor material con menos cantidad que los dos tipos de ionómero de vidrio y resina de composite. Los demás materiales no mostraron diferencias significativas entre si. En cuanto a las condiciones periapicales, el SuperEBA fue superior a todos los materiales, aunque no se encontraron diferencias estadísticas con el IRM. El IRM fue superior a los dos tipos de ionómero de vidrio y a la resina de composite, y todos menos la resina de composite fueron superiores al grupo control. En cuanto al porcentaje de hueso, el SuperEBA mostró formación de hueso superior al resto de materiales. En resumen, SuperEBA mostró ser el mejor material aunque no se hallaron diferencias significativas con el IRM.

Pitt Ford y cols. (1995a) estudiaron la respuesta inflamatoria en molares de monos extraídos a los que se realizó una preparación apical que fue obturada con: IRM, Cavit, IRM con dentina desmineralizada humana estéril (ésta fue añadida para intentar la deposición de cemento en el ápice, aunque no se produjo), SuperEBA, óxido de cinc-eugenol (ZOE) y Kalzinol⁴⁸. Estos molares no se endodonciaron. Colocaron el material en el ápice preparado para la obturación apical y reimplantaron las piezas. Después de ocho semanas, sacrificaron a los animales y se estudiaron bloques de mandíbula en los que se incluía hueso y el diente a estudiar. En los resultados finales se observó que la mejor respuesta tisular (la inflamación menos severa) se obtenía con SuperEBA (5 de las 8 raíces sin células inflamatorias), Cavit (4 de 6 raíces con inflamación moderada), IRM (12 de 30 raíces sin inflamación) e IRM con dentina desmineralizada (8 raíces de 12 sin inflamación). La reacción con óxido de cinc-eugenol puro (5 raíces de 8 con inflamación moderada) y Kalzinol (4 raíces de 6 con inflamación moderada) fue peor, pero menos severa que la de amalgama. En ningún caso se observó formación de cemento. La mayor radiolucidez aparecía en las raíces obturadas con óxido de cinc-eugenol puro, en el que se observó una gran actividad de células gigantes y fagocitos.

Chong y cols. (2003a-b) compararon la tasa de éxito del MTA y del IRM como materiales de retroobturación para tratar dientes con patología periapical. En los resultados finales el MTA mostró mejores resultados a los 12 y 24 meses en cuanto a que se produjo completa curación de las lesiones, aunque las diferencias no fueron significativas entre los dos materiales.

Pichardo y cols. (2006) no encontraron diferencias significativas en un estudio de filtración en el que se utilizaron MTA y SuperEBA como material de obturación apical.

⁴⁸ Amalgamated Dental, Londres, Inglaterra

Tawil y cols., (2008) no hallaron diferencias radiológicas al utilizar MTA, IRM y Geristore en microcirugía periapical.

Las resinas de composite se utilizan junto con un adhesivo dentinario. Es necesario un campo seco para su colocación. La biocompatibilidad del adhesivo y la resina son favorables, como demostraron Rud y cols. (1996), quienes realizaron un estudio a largo plazo sobre dientes retroobturados con una resina de composite para determinar si la retroobturbación con la misma todavía presentaba curación al cabo de 8 ó 9 años de haberse realizado el tratamiento. La cicatrización se valoró radiográficamente y se consideró que había curación completa dependiendo de si existía o no un espacio del ligamento periodontal reconocible. De los 33 casos estudiados, 32 todavía presentaban reparación de hueso mientras que en uno de ellos aparecía una rarefacción recurrente a los 8 años después de la operación. Después de extraer la pieza, se observó que presentaba una fractura.

9 casos de entre los 32 presentaron un espacio de ligamento periodontal de anchura normal y lámina dura. De todas formas, debido a la divergencia en cuanto al nivel de resección radicular y la diferencia en la incidencia del rayo de radiografía resultó difícil la observación del ligamento así que no se interpretó como evidencia definitiva de cicatrización de la lesión.

El estudio sugiere que la unión entre la resina de composite y el diente permanece estable en el período de 8 y 9 años y que esta curación debe continuar a no ser que aparezca algún tipo de factor externo como una fractura radicular, por ejemplo. Por último, los autores citan en su artículo que para evitar que aparezcan huecos por la contracción del material es necesario que la cavidad presente un ángulo cavo superficial cerca de 180° cuando se utiliza un adhesivo dentinario.

El uso de un adhesivo dentinario y la resina de composite permiten una preparación conservadora de ápice radicular. Algunos autores sugieren una preparación que sea cóncava en lugar de una cavidad profunda seguida del adhesivo cubriendo toda la raíz seccionada, de manera que se sellan tanto los túbulos de dentina seccionados como el canal principal. Todas las resinas polimerizadas dejan una capa no polimerizada inhibida por el oxígeno que debe ser eliminada con una torunda de algodón antes de cerrar el colgajo [Vignaroli y cols., 1995]. Según este autor, si el operador cree que el sellado con gutapercha está bien no es necesario realizar la cavidad de clase I y que aplicar el agente adhesivo apropiado en la raíz seccionada, proporciona un buen sellado sobre el canal y los túbulos dentinarios. Presentan una citotoxicidad inicial que puede permanecer unos treinta días o más.

Abdal y cols. (1982) estudiaron *in vitro* diferentes tipos de materiales en cavidades de retroobtención para determinar la microfiltración apical utilizando para ello un colorante y en los resultados finales, las resinas de composite fueron las que obtuvieron los mejores resultados en cuanto a que la microfiltración fue prácticamente inexistente.

El empleo de un composite con adhesivo dentinario produciría un sellado apical mejor que ningún otro material. Pero el problema consiste en conseguir un aislamiento absoluto y perfecto y durante tiempo en la zona del ápice hasta que fragüe el composite y sin que la sangre contamine toda la zona [Aranguren y cols., 2003].

Safavi y cols. (1988) comprobaron que la adhesión de células sobre la superficie de composite era muy pobre, así que concluyeron que su uso clínico en obturaciones retrógradas no está justificado, a pesar de que la adaptación marginal fue buena.

Lai y cols. (2003) hallaron efectos antibacterianos en las resinas de composite al ser utilizadas como cemento de obturación retrógrada, posiblemente debido a la liberación de formaldehído y otros productos desde la capa no polimerizada inhibida por el oxígeno.

Los cementos de ionómero de vidrio presentan las mejores propiedades de los cementos de silicato, composite y policarboxilato:

- 1- Alta resistencia a la abrasión
- 2- Anticariogénicos por liberación de iones de flúor del silicato
- 3- Escasa expansión
- 4- Estética
- 5- Resistencia al ataque ácido
- 6- Capacidad de unirse directamente a la estructura dentaria
- 7- Inhibición de la microfiltración

Se han venido utilizando de dos maneras: cementos de ionómero de vidrio y cementos de ionómero de vidrio reforzado con plata, que se supone mejoran las propiedades de aquellos. De hecho, presentan un tiempo de fraguado de unos 5 minutos, frente a los 15 minutos que tarda el ionómero de vidrio, y son menos susceptibles a la humedad y la deshidratación. Otra ventaja es la radioopacidad que presentan [Schwartz y cols., 1988].

Estos autores compararon la efectividad del sellado apical obtenido con amalgama libre de cinc y barniz cavitario y cemento de ionómero de vidrio reforzado con plata, Ketac-Silver, utilizando

para el estudio la filtración de un colorante, el azul de metileno. En los resultados finales se observó que la amalgama de plata libre de cinc y con barniz cavitario filtraba una media de 1,07 mm más que Ketac-Silver. Sin embargo, en el estudio de King y cols. (1990) el Ketac-Silver fue el material que obtuvo los peores resultados en cuanto al sellado durante los tres meses que duró el ensayo. De todos los materiales comparados, fue el que obtuvo tasas más altas de microfiltración a las 24 horas, pero también fue el único en el que estos resultados tan altos fueron disminuyendo a lo largo del período de estudio, aunque sus resultados siempre fueron peores que los de amalgama y SuperEBA.

Esta diferencia entre los resultados obtenidos en ambos estudios puede ser debida a que la superficie dentaria de los dientes obturados con ionómero reforzado con plata en el ensayo de King no fue tratada con ácido poliacrílico para eliminar el smear layer y mejorar la adhesión.

En el estudio realizado por Bohsali y cols. (1998) en el cual compararon la capacidad de sellado apical de SuperEBA y Dyract (ionómero de vidrio reforzado con resina) concluyeron que éste último presentó mejores resultados a las 12 semanas. También el ionómero de vidrio obtuvo mejores resultados en cuanto a microfiltración apical en el estudio llevado a cabo por Economides y cols. (2004) en que se le compara con composite y agentes adhesivos.

Zmener y cols. (1986) estudiaron la toxicidad de diferentes cementos que podían ser utilizados en endodoncia observando el efecto inhibitor que producían estos sobre monocitos humanos. El ionómero de vidrio resultó ser el material menos tóxico de los estudiados, mientras que el óxido de cinc-eugenol presentó la mayor toxicidad.

El ionómero de vidrio presenta la capacidad de liberar flúor, el cual inhibe la actividad mitocondrial y la síntesis celular de proteínas, inhibiendo así el crecimiento bacteriano, lo cual es una de las cualidades deseables de los cementos de retroobtención [Lai y cols., 2003].

Tiene gran capacidad de adherencia a la dentina y más si ésta es tratada previamente con ácido poliacrílico [Schwartz y cols., 1988] o acondicionando la superficie dentinaria con ácido cítrico al 50% antes de colocar el ionómero de vidrio, con lo que se mejora la humectabilidad de la superficie dentinaria y se produce un mejor contacto entre el cemento y la dentina [Abdal y cols., 1982].

Para paredes dentinarias debilitadas que son incapaces de soportar la presión de condensación se pueden emplear los que fraguan por luz, cuyo endurecimiento es instantáneo al contacto con la misma [Aranguren y cols., 2003].

El resto de materiales, excepto el MTA, presentan deficiencias como solubilidad, filtración, problemas de biocompatibilidad, de manejo o incompatibilidad con la humedad, de modo que muchos de ellos actualmente no se utilizan puesto que el objetivo de un material de retroobtención debe ser proporcionar un sellado apical que pueda prevenir el movimiento de bacterias y productos bacterianos desde el sistema de conductos radiculares hasta los tejidos periapicales y debe permitir la cicatrización de estos tejidos mediante la regeneración de cemento, ligamento periodontal y hueso alveolar sobre la superficie de raíz seccionada [Balto, 2004].

Las conclusiones de todos los estudios llevados a cabo sobre el MTA en cuanto a propiedades químicas, estudios de microfiltración, adaptación marginal, actividad antimicrobiana, citotoxicidad y biocompatibilidad, demuestran que es material ideal para obturación de cavidades apicales.

Baek y cols. (2005) compararon la respuesta periapical y la regeneración de cemento de MTA con amalgama y SuperEBA como materiales de obturación de cavidades apicales. En sus resultados finales observaron que los mejores resultados se obtuvieron con MTA, seguido por SuperEBA y finalmente amalgama. Sólo sobre el MTA se creó nuevo cemento, por lo que la barrera biológica apical sólo puede ser obtenida con MTA, resultados que coinciden con Torabinejad y cols. (1995g, 1996a).

Tang y cols. (1997) compararon MTA con amalgama, IRM y SuperEBA en la prevención de filtración de endotoxinas cuando se utilizan como materiales de retroobtención y el MTA fue el material que mostró los mejores resultados en las 12 semanas que duró el estudio.

Bernabé y cols. (2007) compararon la respuesta histológica asociada al MTA gris y al óxido de cinc-eugenol al ser utilizados como materiales de obturación apical. Alrededor del MTA gris se formó cemento en todos los casos (en ninguno de los casos obturados con óxido de cinc-eugenol) y se observó ausencia de microorganismos en la interfase material-paredes de dentina, así como menor inflamación periapical y mejor respuesta tisular.

Una de las ventajas de obturar con MTA es que, una vez efectuada la resección apical del conducto, no importa la consistencia de las paredes remanentes de la cavidad realizada ya que el MTA no sufre expansión de fraguado y no va a producir estallido radicular y, como tampoco hay que hacer presión para su condensación, no hay peligro de que se pueda producir fractura de la pared radicular [Aranguren y cols., 2003]. Aunque este dato no coincide con Shipper y cols. (2004), quienes observaron en obturaciones apicales obturadas con MTA la presencia de grietas

en la interfase diente-obturación, posiblemente debido a que el MTA absorbe agua durante su solidificación y se expande, lo cual mejora su adaptación marginal pero también juega un papel en la incidencia de grietas en comparación con la amalgama.

Otra ventaja de la obturación con MTA es que puede ser utilizado en condiciones de humedad y puesto que la zona periapical siempre va a estar contaminada con sangre, se trata del material ideal para este tratamiento [Torabinejad y cols., 1994]. Los autores contaminaron las preparaciones apicales con sangre antes de la colocación de MTA gris y en sus resultados finales observaron que en presencia o ausencia de sangre no hubieron diferencias significativas en el sellado proporcionado por MTA. Estos resultados coinciden en general con Montellano y cols. (2006), quienes no observaron diferencias en la penetración bacteriana apical entre las muestras obturadas con MTA blanco y contaminadas con sangre y suero y las muestras no contaminadas. Sin embargo, sí descubrieron que las muestras contaminadas con saliva filtraron significativamente más que las muestras no contaminadas, posiblemente por las glicoproteínas presentes en la saliva humana. Los autores creen posible especular que las glicoproteínas crean espacios entre la interfase MTA-dentina durante el fraguado del MTA. Si las bacterias utilizan las glicoproteínas como fuente de alimento podrían sobrevivir en estos espacios existentes entre MTA y las paredes de dentina, lo cual permitiría la penetración de dichas bacterias a lo largo de todo el sistema de conductos.

Pero las principales desventajas del MTA como material de obturación apical son la dificultad de manipulación y su largo tiempo de fraguado, que no permite que el operador verifique su fraguado antes de cerrar el colgajo y que puede producir la disolución del material y su desaparición de la zona de sellado. Por ello, Maltezos y cols. (2006) compararon el MTA blanco con el sistema Resilon/Epiphany (RES: material de obturación endodóncico que parece dar mejores resultados que la gutapercha en cuanto a resistencia a la filtración) en un estudio de filtración bacteriana de obturaciones de cavidades apicales y obtuvieron buenos resultados con ambos materiales en condiciones de un campo con buena hemostasia, puesto que aún queda por determinar si RES puede mantener buena adaptación marginal y sellado en presencia de la humedad perirradicular. Sin embargo, para otros autores el hecho de que fragüe lentamente es favorable puesto que no producirá contracción de fraguado y mejorará su adaptación a las paredes de dentina con ello su capacidad para prevenir la filtración [Pitt Ford y cols., 1996].

Técnica:

Para realizar una apicectomía, después de realizar una incisión y levantar un colgajo de espesor total [Eicker y cols., 2002], se debe acceder quirúrgicamente a la raíz afectada realizando la ostectomía del hueso vestibular con una fresa redonda a baja velocidad e irrigación con agua y cortar al menos 3 mm del ápice en 90° [Saunders, 2008] con una fresa quirúrgica o con láser [Monteiro y cols., 2003]. Hay que preparar con punta de ultrasonidos [Aqrabawi, 2000; Roy y cols., 2001; Gondim y cols., 2003] o fresa una cavidad similar a una de clase I con una profundidad de 3 a 5 mm [Lamb y cols., 2003; Valois y cols., 2004; Pecora y cols., 2004] e intentar mantener el área libre de sangre mediante compresión de la zona con una gasa, que puede estar impregnada con adrenalina. Una falta de control de la humedad y la presencia de un excesivo sangrado durante la colocación del MTA en la cavidad a retro hace que el MTA sea muy blando e inmanejable [Torabinejad y cols., 1999]. Los autores proponen diferentes técnicas para llevar el MTA a la cavidad apical [Lee, 2000]. También se puede colocar con un portador específico de MTA⁴⁹ o con un portaamalgamas. Tras el relleno completo de la cavidad a retro, se eliminará el exceso de cemento y se limpiará la superficie radicular con una gasa húmeda. Como el MTA fragua en presencia de humedad, se debe crear una ligera hemorragia del ligamento periodontal y el hueso y llevar la sangre sobre la apicectomía y el MTA. No hay que lavar el campo quirúrgico tras colocar el MTA en la cavidad a retro. Seguidamente, se sutura el colgajo de tejido blando. Por último, se debe hacer una radiografía para confirmar que el material está correctamente emplazado, suturar el colgajo y terminar.

Hay que instruir al paciente para que no haga ejercicio físico, masticar o cepillar la zona operada y que se enjuague la boca con antiséptico durante una semana. Se recetarán antibióticos y analgésicos-antiinflamatorios y hielo en la zona para evitar o reducir el posible dolor y la inflamación, aunque el dolor que se experimenta suele ser de corta duración, con su máxima intensidad en las horas cercanas a la intervención pero que rápidamente disminuye con el tiempo, e incluso en ocasiones los pacientes refieren que no necesitaron tomar medicación para el dolor [Chong y cols., 2005; Christiansen y cols., 2008].

Martín y cols. (2006) proponen una técnica de apicectomía en la cual el ápice es obturado por vía ortógrada. Los autores sugieren que de esta forma, la técnica quirúrgica es más sencilla, el tiempo quirúrgico es menor y el postoperatorio es más favorable. Una vez hecha la correcta desinfección y limpieza del conducto radicular de un incisivo central superior derecho, los

⁴⁹ Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza

autores introdujeron MTA en el canal radicular con una jeringa MTA Gun System hasta lograr una obturación de 6 mm de MTA, chequeándolo con una lima K. Colocaron una bolita de algodón húmeda para favorecer su endurecimiento y, posteriormente, obturaron el resto del canal con gutapercha termoplástica. En el momento de la cirugía, únicamente fue necesario realizar el corte para la eliminación de los últimos 3 mm apicales.

Tobón y cols. (2007) estudiaron la relación de la utilización de las puntas de ultrasonidos con la aparición de microgrietas en las preparaciones apicales. Los autores concluyen que estos aparecen independientemente del grosor de las paredes de dentina y que pueden asociarse con la utilización prolongada del ultrasonido para eliminar la gutapercha durante la preparación de la cavidad apical.

2.5.4- TRATAMIENTO DE TRAUMATISMOS DENTALES

2.5.4.1- Tratamiento de fracturas verticales

Según Torabinejad y cols. (1999), para reparar una fractura vertical hay que eliminar el material de obturación del conducto radicular y rellenarlo a continuación con una resina de composite autopolimerizable para unir ambas partes de la fractura internamente, previo grabado ácido del interior del conducto y colocación de un adhesivo dentinario. De esta manera se consigue hacer maciza la raíz del diente evitando la progresión de la fractura radicular. Es decir, se evitaría que la fractura se abriera cada vez más por acción de la carga masticatoria y se estabilizaría [Fabra y cols., 2001]. Posteriormente se levanta un colgajo y se accede a la fractura radicular y se hace un surco a lo largo de toda ella con una fresa pequeña y abundante refrigeración acuosa. Una vez abierto el surco generado en la fractura se coloca en él MTA y luego se recubre la raíz y el MTA con una membrana reabsorbible. Posteriormente se repone el colgajo y se extreman las medidas de higiene oral. El diente no debe ser sondado en al menos 12 semanas.

Dada la capacidad regenerativa del ligamento periodontal que presenta el MTA [Schwartz y cols., 1999], podría ser factible intentar este procedimiento antes de extraer el diente [Fabra y cols., 2001].

2.5.4.2- Tratamiento de fracturas horizontales

Bramante y cols. (2006) trataron un incisivo central superior derecho de una niña de 12 años que presentaba una fractura horizontal a nivel cervical. Ferulizaron el diente y permeabilizaron el conducto radicular para poder introducir una pasta de hidróxido de calcio y yodo que dejaron durante 2 meses. Tras este tiempo, eliminaron la cura y realizaron un tope apical con MTA. Posteriormente rellenaron el resto del conducto con MTA e inmediatamente introdujeron sin presión un poste seleccionado de acuerdo con el diámetro del canal, el cual quedó totalmente rodeado por MTA. La cavidad de acceso fue obturada con composite. Se siguieron visitas de revisión cada 2 meses. La ferulización se mantuvo hasta que el diente mostró signos de inmovilidad. A los 18 meses la apariencia clínica y radiográfica era de salud y reparación de la fractura.

Los autores decidieron rellenar todo el conducto con MTA por la proximidad de la fractura al surco gingival, donde es necesario un material que fragüe en condiciones de humedad.

Schwartz y cols. (1999) trataron a un paciente que presentaba fracturas horizontales en los dos incisivos centrales superiores entre el tercio medio y apical. Los autores colocaron una ferulización rígida en los dientes, trabajaron la porción coronal de la fractura y los rellenaron con hidróxido de calcio. A las 6 semanas y comprobando que los dientes permanecían asintomáticos, realizaron un tope apical con MTA y obturaron el resto del conducto con gutapercha y cemento sellador. La porción apical de las raíces de las no fue tratada y consideraron que permanecerían vitales. A los 6 meses, los dientes se mostraron asintomáticos.

Greco y cols. (2006) describieron un caso de un incisivo central superior permanente con una fractura radicular horizontal a nivel apical. El fragmento coronal de la fractura fue tratado con MTA para crear un tope apical y el resto del conducto fue obturado con gutapercha y cemento sellador. El fragmento apical no fue tratado, ya que los autores opinan que normalmente presenta tejido vital y su remoción quirúrgica sólo está indicada cuando presenta signos de necrosis o el tratamiento del fragmento coronal no ha sido exitoso. En el caso que describen, el tratamiento del fragmento coronal mejoró el pronóstico del diente, con ausencia de síntomas clínicos, patología periapical y disminución de la movilidad.

2.5.4.3- Tratamiento de resorciones

Una resorción radicular interna es un fenómeno raro en los dientes permanentes. Se caracteriza por un agrandamiento ovalado del conducto radicular, con los márgenes bien definidos, y se produce una reabsorción de la cara interna de la raíz por células gigantes multinucleadas adyacentes al tejido de granulación situado en la pulpa [Trope y cols., 1999].

La razón de la transformación del tejido pulpar normal en granulomatoso no está clara, pero podría ser como consecuencia de un trauma [Martin y cols., 1982] o por la existencia de un espacio infectado de la pulpa coronal, de forma que el tejido pulpar necrótico coronal se pondría en contacto con la pulpa vital del conducto a través de los túbulos de dentina, y es en esta zona donde aparecería radiográficamente un agrandamiento radiotransparente y uniforme de la cavidad pulpar. Por lo demás, suele ser asintomática y su diagnóstico suele producirse en un examen radiográfico rutinario [Trope y cols., 1999; Sari y cols., 2006]. Para que se produzca este fenómeno es necesaria la existencia de tejido pulpar vital y para frenarlo es necesario realizar el tratamiento endodóncico del diente afectado.

Puede producirse en cualquier zona de la raíz, aunque se localiza más frecuentemente en la región cervical. Si afecta a la raíz se verá una zona rosada a través del esmalte. Si se extiende

hasta el punto de alcanzar la superficie externa radicular, se pierde la integridad de la raíz y puede producirse la destrucción de los tejidos periodontales adyacentes [Meire y cols., 2008].

Así, Hsien y cols. (2003) describen un caso de resorción radicular interna en un incisivo central maxilar permanente con perforación bucal. Se permeabilizó el conducto para su limpieza y conformación pero el canal no podía ser secado completamente debido a la continua exudación y hemorragia, por lo que fue necesario realizar el tratamiento quirúrgico. Se levanto un colgajo vestibular y se expuso el área de la perforación a través de una ventana en el hueso. El campo quirúrgico fue limpiado y secado y el canal radicular instrumentado y obturado con gutapercha y cemento sellador hasta la zona apical a la lesión de resorción. La perforación vestibular se agrandó hasta que el borde de la lesión pudo ser cureteado y toda la lesión fue debridada e irrigada. Entonces se compactó MTA en el defecto desde vestibular y se suturó el colgajo. Se colocó dentro del canal un algodón húmedo y una obturación provisional. Una semana más tarde, la porción coronal a la obturación de MTA se obturó con gutapercha caliente y el diente fue restaurado con resina. Un año después, el diente continuó asintomático clínica y radiológicamente.

Sari y cols. (2006) describen un caso de resorción radicular interna en el tercio coronal de la raíz mesial en un segundo molar mandibular temporal. Después de anestésiar al paciente, se realizó una cavidad de acceso con una fresa de fisura. Después de eliminar toda la lesión, la cámara pulpar fue irrigada profusamente y varias veces con hipoclorito de sodio al 2,5%. Después instrumentaron los canales radiculares con limas e irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5%. Se localizó el borde de la lesión con un excavador hasta comprobar que no había perforación externa. Después de obturar los canales radiculares hasta el nivel de la resorción, se aplicó MTA en el defecto interno con un portaamalgamas. Éste fue bien compactado en la cámara pulpar con un algodón húmedo, el cual se dejó en contacto con el MTA antes de sellar temporalmente la cámara con IRM. Al día siguiente y, después de comprobar que el paciente no presentaba dolor, el molar fue restaurado y 18 meses después, éste siguió asintomático clínica y radiográficamente.

Técnica:

Tras anestésiar al paciente y preparar la cavidad de acceso, el conducto radicular se debe limpiar y modelar completamente. Debido a la presencia de tejido de granulación y la presencia de comunicación entre el conducto radicular y el periodonto, aparece habitualmente una hemorragia importante durante la instrumentación de estos casos [Pace y cols., 2008]. El uso de

EDTA e hipoclorito sódico durante la limpieza y configuración de los conductos y la colocación de pasta de hidróxido de calcio entre las citas reducen el exceso de sangrado [Meire y cols., 2007]. Tras lavar el hidróxido de calcio del conducto radicular con hipoclorito sódico, se debe obturar la porción apical del conducto radicular con gutapercha y cemento sellador. Después, colocar la mezcla de MTA en el defecto y condensarla con la ayuda de atacadores y bolitas de algodón. La mezcla se debe cubrir con un algodón húmedo y se debe colocar una obturación provisional durante al menos 3 ó 4 horas. Pasado este tiempo se colocará la obturación permanente en la cavidad de acceso.

Schwartz y cols. (1999), una vez que el MTA había endurecido, prepararon el conducto radicular para la colocación de un poste, extendiéndose unos milímetros apicales al defecto de resorción. Cementaron el poste con composite y prepararon el diente para una corona. A los 6 meses el diente estaba totalmente asintomático.

La resorción radicular externa es una lesión del cemento y del periodonto que produce necrosis del cemento, inflamación del ligamento periodontal y, por último, resorción de la raíz. Ésta puede producirse mucho tiempo después del desplazamiento ortodóncico de un diente, de una intervención de cirugía ortognática, de un tratamiento periodontal, de algún traumatismo o de un blanqueamiento no vital [Al-Nazhan, 1991], producido porque la dentina es permeable y su permeabilidad aumenta con el producto de blanqueamiento, éste penetra a través de los túbulos de la dentina e irrita el periodonto, lo que produce la resorción inflamatoria caracterizada por una pérdida progresiva del cemento y la dentina que se ven reemplazados por tejido fibrovascular derivado del ligamento periodontal [Trope y cols., 1999]. En la mayoría de los casos la resorción cervical invasiva es idiopática y muchos pacientes no presentan factores predisponentes, así que se supone que ésta se produce por cambios en la composición del cemento que lo hace menos resistente [Gulsahi y cols., 2007].

Clínica y radiológicamente se observa como una resorción en laguna en el área cervical de la raíz del diente. Esta zona empieza siendo muy pequeña y rápidamente se ve colonizada por células de resorción de tejido duro. Normalmente, se trata de una lesión transitoria que suele repararse sin tratamiento en 2-3 semanas. Pero los subproductos bacterianos provenientes del surco gingival y la superficie radicular pueden producir a través de los túbulos cervicales de la dentina una actividad de resorción durante más tiempo, de forma que finalmente las células resorptivas penetren en el área denudada hasta la dentina del interior de la raíz y el área se extienda de forma irregular hasta que alcance la pulpa; por tanto, los microorganismos de la placa pueden alterar el balance desde un proceso reversible a uno patológico.

Si se alcanza la zona supragingival de la corona, el tejido de granulación bien vascularizado puede ser visible a través del esmalte como una discoloración rosa. Aunque en la mayoría de los casos no se observan signos y el diagnóstico se produce durante una revisión rutinaria.

Técnica:

Si se ha producido la perforación del canal radicular, es necesario el tratamiento endodóncico del diente antes del tratamiento periodontal, pudiendo utilizar como irrigante hipoclorito sódico, EDTA o BioPure MTAD para limpiar e instrumentar los conductos radiculares [Smith y cols., 2007a]. El realizar la endodoncia primero presenta la ventaja de poder limpiar y obturar desde el interior del diente la comunicación con la resorción externa, y con esto evitamos además que los irrigantes del conducto entren en contacto con el periodonto. Gonzales y cols. (2006) utilizan para ello un cemento de ionómero de vidrio fotopolimerizable. Posteriormente, es necesario eliminar el biofilm bacteriano subgingival, realizando el tratamiento periodontal de la zona, para después realizar la exposición quirúrgica de la resorción, eliminar el tejido de granulación y seguidamente reparar la resorción. El material de elección, según los autores, será MTA por su capacidad para promover la formación de cemento y regeneración del ligamento periodontal.

Gulsahi y cols. (2007) tratan la zona de la resorción con solución acuosa al 90% de ácido tricloracético con una bolita de algodón para producir necrosis de coagulación y después, curetaje de la zona. Si tras realizar este paso no se produce exposición pulpar, no hace falta endodonciar el diente. Si se produjese exposición pulpar o el diente estuviera sintomático, se realizará el tratamiento endodóncico. Posteriormente, se reparará el defecto con MTA y el resto de la cavidad con composite.

White y cols. (2002) muestran un caso de reparación de una resorción radicular externa en un incisivo central superior, que ya había sido sometida hacía unos años a una reparación con amalgama de plata y mostraba radiolucidez perirradicular y fístula gingival vestibular. Se realizó un tratamiento quirúrgico de la misma. Una vez levantado el colgajo se limpió la obturación de amalgama con una fresa redonda a alta velocidad y se alisó la superficie radicular de forma manual y con ultrasonidos. La zona fue irrigada en todo momento con suero salino estéril. Se colocó MTA en el defecto radicular. Después, la raíz fue tratada con tetraciclina durante 2 minutos para acondicionar la superficie radicular y eliminar el barrillo dentinario de la raíz y el defecto óseo recubierto con un injerto consistente en un 80% de hueso granulado descalcificado y un 20% de sulfato de calcio.

El MTA induce la expresión de la fosfatasa alcalina en el ligamento y fibroblastos gingivales [Bonson y cols., 2004]. Para estimular la mineralización, el material debe también liberar calcio, que reaccionará con el gas carbónico del tejido y formará carbonato cálcico que favorece la mineralización. Silva y cols. (2000) determinaron que la cantidad de iones calcio presentes en el MTA se incrementaba conforme aumentaba el tiempo de fraguado. Basándose en estas afirmaciones, Özdemir y cols. (2008) realizaron un estudio para comprobar si al colocar el MTA en el interior del conducto se producía liberación de iones calcio a través de los túbulos dentinarios de forma que pudiera tratarse y curarse una resorción externa (que no conectara con el canal radicular) de forma conservadora. En este estudio se observó que la liberación de iones calcio se incrementaba conforme pasaba el tiempo, por lo que los autores concluyeron que, bajo las condiciones de su experimento, es potencial el uso del MTA intraconducto para la curación de resorciones radiculares inflamatorias, aunque están llevando a cabo más estudios sobre este tema.

2.5.4.4- Tratamiento de dientes avulsionados

Goldbeck y cols. (2008) describen un caso de avulsión de un incisivo central permanente en una paciente de 7 años. El diente estuvo fuera de boca menos de 3 horas y sumergido en leche fría. Los autores reimplantaron el diente en el alveolo y colocaron una ferulización semirígida durante una semana. A los 14 meses, observaron resorción inflamatoria apical radicular con fístula vestibular, así que procedieron al tratamiento del conducto radicular y, después de instrumentarlo y desinfectarlo con hipoclorito sódico, colocaron hidróxido de calcio durante 3 meses. Posteriormente, y al observar la desaparición de la fístula, eliminaron el hidróxido de calcio del interior del conducto y, tras la limpieza y desinfección total del mismo con hipoclorito sódico, rellenaron la totalidad del conducto radicular del diente con ápice abierto con MTA. A los 14 meses se observó la totalidad curación periapical del diente reimplantado.

Villa y cols. (2005) trataron a una paciente de 8 años que había sufrido la avulsión de un incisivo central permanente superior. El diente estuvo fuera de boca 20 minutos envuelto en una servilleta de papel y, tras ser reimplantado, se le colocó una ferulización semirígida durante 3 meses. Al igual que en el caso anterior, el diente sufrió necrosis y periodontitis apical crónica, aunque no se observaron signos de resorción radicular. Los autores instrumentaron y desinfectaron el conducto y lo rellenaron con hidróxido de calcio durante 8 meses, tiempo en el que se produjo la curación de la lesión periapical. Una vez limpiado el conducto y comprobado

que el ápice permanecía abierto, éste fue rellenado con MTA en su totalidad. 24 meses después, el diente no presentó signos de resorción radicular y sí la formación de una barrera apical mineralizada.

2.5.5- OTRAS INDICACIONES

2.5.5.1- Barrera para blanqueamiento interno

En el estudio llevado a cabo por Cummings y cols. (1995) se evaluó el efecto de agentes blanqueadores sobre MTA, IRM y fosfato de cinc y en sus resultados confirmaron que el MTA obtuvo los mejores resultados y sí podría utilizarse como barrera para blanqueamiento interno. Para ello se debe colocar un grosor de MTA de 3 a 4 mm en la cavidad preparada, cubrirlo con una bolita de algodón húmeda y una obturación provisional. El material de obturación permanente se pondrá como mínimo de 3 a 4 horas después [Torabinejad y cols., 1999].

Sin embargo, Loxley y cols. (2003) observaron que solo el IRM se mantuvo inalterado después de entrar en contacto con los productos de blanqueamiento y que sobre el MTA y el SuperEBA habría de colocar primero una capa de ionómero de vidrio para aislarlos.

2.5.5.2- Sellado intracoronal

Barrieshi-Nusair y cols. (2005) compararon la capacidad del MTA y un ionómero de vidrio como selladores sobre gutapercha intracoronal para prevenir la filtración después de un tratamiento endodóncico. En sus resultados finales observaron que 4 mm de MTA gris evitaron la filtración coronal y sellaron el canal significativamente mejor que el ionómero de vidrio. Además, su eliminación resulta más fácil y rápida que la del ionómero de vidrio y otras resinas modificadas, de igual color que la dentina, si fuera necesario colocar un poste para restaurar el diente o en el caso de retratamiento.

John y cols. (2008) determinaron que 2 mm de MTA blanco, gris o ionómero de vidrio proporcionan una barrera efectiva a nivel coronal de la obturación endodóncica para reducir la microfiltración de fluidos.

2.5.5.3- Obturación de canales radiculares

Vizgirda y cols. (2004) estudiaron la posibilidad de utilizar MTA para obturación de canales radiculares y para ello evaluaron el sellado apical que se consigue comparándolo con la técnica de obturación radicular lateral con gutapercha y cemento sellador. Las muestras obturadas con MTA mostraron mayor filtración apical de colorante, por lo que concluyeron que el MTA no sirve como obturación de conductos radiculares. Sin embargo, los resultados no coinciden con Jaouni y cols. (2007), quienes durante el mes que duró el estudio no observaron diferencias entre las muestras obturadas con MTA y con gutapercha y concluyeron que el MTA sí proporciona un sellado adecuado del conducto radicular.

Andelin y cols. (2002) recomiendan en aquellos casos en los que seguro un diente ha de ser sometido a cirugía periapical, el relleno de la totalidad del conducto radicular con MTA en lugar de obturarlo con gutapercha y cemento sellador durante el tratamiento endodóncico, y no colocar nuevo MTA en el ápice seccionado, puesto que observaron que la capacidad de sellado del MTA no se ve afectada al seccionar la raíz una vez está fraguado dentro del conducto.

O'Sullivan y cols. (2001) mostraron un caso en el cual el MTA se utilizó para obturar el sistema de conductos radiculares de un segundo molar temporal mandibular en un paciente que presentaba agenesia del primer premolar. A los 4 meses el paciente se mantuvo asintomático y los hallazgos clínicos y radiográficos mostraron evidencias de curación. Sin embargo, los autores no lo recomiendan en el caso de dientes temporales que vayan a exfoliarse puesto que el MTA no se reabsorbería.

Panzarini y cols. (2007) realizaron un estudio en el cual obturaron los conductos radiculares de dientes reimplantados con MTA y los compararon con dientes reimplantados rellenos con pasta de hidróxido de calcio. Los datos del estudio demostraron que con ambos materiales se obtuvieron buenos resultados, por lo que se trata de una opción viable en dientes reimplantados.

2.5.5.4- Cementado de postes prefabricados

Vargas y cols. (2004) realizaron un estudio cuyo objetivo fue intentar encontrar un material que sirviera simultáneamente para reparar perforaciones radiculares y cementar postes. Para ello compararon la fuerza de un cemento de fosfato de cinc, de un cemento de ionómero de vidrio y

de MTA en la retención de postes prefabricados. En sus resultados finales observaron que los cementos de fosfato de cinc y de ionómero de vidrio fueron superiores al MTA como agentes de cementado de postes en dientes endodonciados, por lo que los autores no recomiendan el uso de MTA para este fin.

Sin embargo, Bramante y cols. (2006) rellenaron un conducto radicular completo con MTA en un diente con una fractura horizontal y colocaron a la vez un poste en el interior del canal y a los 18 meses el diente estaba totalmente asintomático clínica y radiológicamente.

2.5.5.5- Tratamiento de *dens evaginatus/dens invaginatus*

El *dens evaginatus* es una aberración de desarrollo de un diente que da lugar a la formación de una cúspide accesoria, cuya morfología se ha descrito de distintas maneras: como un tubérculo, una elevación, una protuberancia, una extrusión o un abultamiento anormales en la superficie oclusal. Ésta alteración infrecuente se proyecta sobre la superficie dental adyacente y presenta esmalte que recubre un núcleo dentinario que habitualmente contiene tejido pulpar, que puede tener un delgado cuerno pulpar que puede extenderse hasta la completa longitud del núcleo dentinario del tubérculo. Se presenta predominantemente en personas de ascendencia asiática (también esquimales y latinoamericanos nativos), con una herencia autosómica dominante y ligada al cromosoma X, aunque se sugiere una etiología multifactorial, tanto con factores genéticos como ambientales.

Como el tubérculo puede extenderse por encima de la superficie oclusal hasta 3,5 mm en dientes posteriores y hasta 6,0 mm en los dientes anteriores, a medida que los dientes afectados erupcionan, se produce una maloclusión con el diente antagonista. La fuerza traumática oclusal resultante causa desgaste anormal o fractura del tubérculo y es la manera usual de exposición pulpar para esta anomalías [Levitan y cols., 2006].

Es importante que el clínico sea capaz de reconocer y tratar la entidad tras la erupción dentaria para evitar alteraciones patológicas.

Existen diferentes clasificaciones para el *dens evaginatus*:

- 1- Schulze: según la localización del tubérculo en dientes posteriores
- 2- Lau: según la forma anatómica del tubérculo
- 3- Oehlers: según el contenido pulpar dentro del tubérculo

Levitan y cols. (2006) proponen seis categorías de *dens evaginatus* según el grado de afectación pulpar y los tratamientos a seguir [Koh y cols., 2001]:

DENS EVAGINATUS	ESTADO PULPAR	TRATAMIENTO
TIPO I	pulpa normal-ápice maduro	control y ajuste oclusal
TIPO II	pulpa normal-ápice inmaduro	control y ajuste oclusal
TIPO III	pulpa inflamada-ápice maduro	endodoncia convencional
TIPO IV	pulpa inflamada-ápice inmaduro	pulpotomía con MTA
TIPO V	pulpa necrótica-ápice maduro	endodoncia convencional
TIPO VI	pulpa necrótica-ápice inmaduro	apicoformación con MTA

El *dens invaginatus* o *dens in dente* es una malformación dental que resulta de un pliegue interno del órgano del esmalte durante la proliferación. Ha sido descrito como “diente dentro de otro diente”, ya que el órgano del esmalte invaginado produce un pequeño diente dentro de la futura cámara pulpar [Sathorn y cols., 2007] y es un error en la morfodiferenciación, cuyas causas se han expuesto en varias teorías, como un fallo en el crecimiento del órgano del esmalte, proliferación de la parte interna del epitelio del esmalte o fusión de gérmenes dentales [Vaz de Lima y cols., 2007]. Clínicamente, la corona puede presentar un aspecto normal o puede presentar tamaños y formas alteradas, como mayor diámetro buco-lingual, forma de tonel o cúspide en forma de garra [Soares y cols., 2007]. Debido a la presencia de la invaginación, que favorece la acumulación de restos de comida, el diente presenta mayor susceptibilidad a tener caries, que puede progresar rápidamente en patología pulpar, necrosis y lesiones periapicales [Walton y cols., 199; Vaz de Lima y cols., 2007].

La clasificación más utilizada para el dens invaginatus es la propuesta por Oehlers (1957):

TIPO I: invaginación de esmalte dentro de la corona.

TIPO II: invaginación de esmalte por debajo de la línea amelocementaria terminando en un saco ciego.

TIPO III: invaginación de esmalte a través de la raíz formando un foramen apical o lateral adicional.

En caso de patología y dependiendo del grado de afectación pulpar, el tratamiento puede limitarse sólo a la invaginación (tipo I y II) o el tratamiento endodóncico del diente completo, removiendo la parte central de tejido duro (tipo II-III) para mejorar la instrumentación, desinfección y sellado utilizando técnicas convencionales, como creación de un plug apical con MTA en un diente con ápice abierto, como proponen Silberman y cols. (2006) y, o con hidróxido de calcio, como proponen Soares y cols. (2007), quienes utilizaron para crear un plug apical en un dens invaginatus tipo III hidróxido de calcio en lugar de MTA por las siguientes razones:

- 1- Presenta el mismo mecanismo de acción que el MTA
- 2- El hidróxido de calcio mantiene su alcalinidad, ya que en presencia de humedad no fragua.
- 3- La continua solubilidad del hidróxido de calcio liberando iones hidroxilo favorece la curación periapical.
- 4- Más barato que el MTA.

Por otra parte, Jaramillo y cols. (2006) trataron un caso tipo II con ápice abierto con MTA y un tipo III con hidróxido de calcio y con ambos obtuvieron resultados satisfactorios.

Sathorn y cols. (2007) utilizaron en un tipo II con ápice inmaduro puntas de ultrasonidos para limpiar el conducto y eliminar el septo de tejido duro antes de crear un tope apical de 4 mm de MTA y obturación del canal radicular con gutapercha termoplástica.

Er y cols. (2007) comenzaron el tratamiento de un premolar inferior afectado además con una gran lesión periapical. Después de limpiar el conducto radicular con hipoclorito sódico y EDTA, lo rellenaron con pasta de hidróxido de calcio que iban cambiando cada 15 días durante 3 meses. En este tiempo se dieron cuenta que la lesión periapical se agrandaba así que cambiaron el plan de tratamiento. Introdujeron en el conducto una pasta de 3 medicamentos (ciprofloxacino, metronidazol y minociclina) que fueron cambiando cada mes durante 3 meses, tiempo en el que comprobaron que la lesión periapical casi había desaparecido. Eliminaron la pasta de medicamento con hipoclorito sódico y obturaron el ápice con MTA para rellenar los espacios irregulares en esta área, y el resto del conducto con gutapercha y cemento sellador AH 26 a las 24 horas. La apertura coronal fue restaurada con composite y a los 12 meses el diente se mostró totalmente curado y asintomático. Los dientes con esta malformación presentan una variedad de morfologías en el canal con recovecos, concavidades, comunicaciones, áreas inaccesibles, ramificaciones periapicales y zonas donde los instrumentos no pueden acceder, así que es necesario utilizar una gran variedad de técnicas y materiales y elegir los más apropiados para la eliminación total del tejido necrótico y las bacterias.

2.5.6- REPARACIÓN DE PERFORACIONES RADICULARES

Takehashi y cols. (1965) mostraron que cuando existe una exposición pulpar en un medio sin gérmenes no se desarrolla ninguna patología pulpar ni periodontal, mientras que las lesiones periapicales se producen cuando estos tejidos son expuestos a bacterias. Así que los microorganismos son los principales responsables de la enfermedad pulpar y periodontal.

Cuando existe una vía de comunicación entre el sistema radicular y el periodonto, como cuando ocurre una perforación radicular, esta debe sellarse con un material que sea capaz de prevenir la filtración bacteriana. Este material debe ser, además, biocompatible y favorecer la regeneración de las estructuras de soporte.

Producidas durante el tratamiento de conductos, durante la preparación para alojar postes radiculares o como consecuencia de una resorción interna [Hsien y cols., 2003; Sari y cols., 2006], las perforaciones se pueden reparar, lo cual se puede conseguir a través de la cavidad de acceso o con una intervención quirúrgica. En los dos casos, lo importante es conseguir un buen sellado entre el diente y el material de reparación. Esto puede verse afectado por la localización y tamaño de la perforación y la habilidad del operador [Lee y cols, 1993].

Como ya hemos comentado anteriormente, muchos materiales han sido utilizados a lo largo de los años para reparar las perforaciones radiculares (Cavit, óxido de zinc-eugenol, hidróxido de calcio, amalgama, gutapercha, fosfato tricálcico, hidroxiapatita,...). Torabinejad y cols. (1999) fue el que promovió el uso de MTA para reparar perforaciones radiculares, tanto las de acceso quirúrgico como las de no quirúrgico.

Main y cols. (2004) evaluaron la tasa de éxito de perforaciones radiculares localizadas en cualquier nivel y que habían sido reparadas con MTA. Después de un año de reparada la perforación, todos los dientes habían curado completamente. Ninguno desarrolló una profundidad de sondaje mayor de 3 mm. Los que presentaban radiolucidez previa al tratamiento, a los 12-45 meses ya había desaparecido y los que no la presentaban no la desarrollaron. Por todo ello concluyeron que el MTA es el material ideal para reparar cualquier tipo de perforación radicular.

Una de las consecuencias de reparar perforaciones radiculares es la reacción inflamatoria de los tejidos circundantes. El MTA no sólo ha mostrado ser compatible con los tejidos si no que también ha demostrado su capacidad para reparar estos tejidos duros [Main y cols., 2004]. Koh y cols (1998) mostraron en un estudio que el MTA estimulaba la propagación de osteoblastos

humanos ofreciéndoles un sustrato biológicamente activo para las células. Histológicamente los materiales usados para reparar perforaciones radiculares han sido asociados con la formación de una cápsula de tejido conectivo fibroso en contacto con el hueso adyacente. De hecho, el hallazgo más común es la formación de un defecto periodontal con la mayoría de los materiales utilizados. La característica que diferencia MTA de otros materiales es su capacidad para promover la regeneración de cemento y de facilitar la regeneración del aparato periodontal. En su estudio, Main y cols. (2004) comprobaron *in vivo* la respuesta de los tejidos perirradiculares al MTA al ser utilizado para reparar perforaciones radiculares a diferentes niveles en 16 dientes. A lo largo del estudio ninguno de los dientes desarrolló bolsas periodontales mayores de 3 mm. De las 16 muestras, 7 presentaban radiolucidez previa a la reparación y ésta desapareció a lo largo de 12 a 45 meses, mientras que los que no la presentaban no la desarrollaron. El reestablecimiento del aparato periodontal depende de la regeneración del cemento sobre el defecto radicular. Una vez el cemento ha cubierto el área reparada el reestablecimiento del ligamento periodontal es mucho más predecible. Por los resultados obtenidos en este estudio MTA es un material excelente para la reparación de perforaciones en todos los niveles de la raíz.

Después de reparar una perforación con MTA, debe realizarse el tratamiento endodóncico del diente reparado. Para ello se utilizan diferentes productos para limpiar los conductos radiculares, como por ejemplo hipoclorito sódico al 5,25%, clorhexidina al 2% o Glyde⁵⁰, ácido etilendiamintetracético (EDTA), quelante de iones calcio utilizado habitualmente para trabajar los conductos radiculares y evitar el riesgo de perforación radicular. Yan y cols. (2006) estudiaron si la utilización de estos medicamentos podría iniciar alguna reacción química que degrade el MTA e interfiera en su fuerza de unión a la dentina. El MTA es un material bioactivo que parece unirse químicamente a la dentina mediante una reacción de difusión controlada entre su superficie apatítica y la dentina, formando una capa que se adhiere firmemente a las paredes de la dentina. De hecho, esta unión química MTA-dentina parece estar relacionada con la mayor capacidad de sellado del MTA en comparación con otros materiales [Sarkar y cols., 2005]. En sus conclusiones finales mostraron que la resistencia al desplazamiento del MTA es altamente dependiente del agente en el cual está inmerso y que el Glyde tiene un efecto adverso sobre la fuerza de unión MTA-dentina. Estos resultados coinciden con Lee y cols. (2007), quienes realizaron un estudio para comprobar cómo influía el EDTA sobre el MTA y descubrieron que interfiere en la

⁵⁰ Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, EEUU

hidratación del mismo, disminuyendo su dureza y disminuyendo la adhesión celular, empobreciendo así su biocompatibilidad.

La detección de filtración de bacterias anaerobias a través de un material que se utiliza para reparar perforaciones radiculares es muy importante puesto que la filtración bacteriana es la mayor causa de patología perirradicular. Por ello, Ferris y cols. (2004) evaluaron la capacidad de MTA blanco y gris para sellar perforaciones de furca en molares humanos exodonciados utilizando un método de filtración bacteriana. A los 60 días observaron que 2 molares de 18 reparados con MTA gris y 3 de 18 reparados con MTA blanco presentaron filtración de *Fusobacterium nucleatum*, no hallándose diferencias significativas entre ambos cementos. Sin embargo, en el estudio de Nakata y cols. (1997, 1998) no se observó filtración de *Fusobacterium nucleatum* en los 45 días que duró el estudio, posiblemente por diferencias en la realización del mismo.

Tampoco Hamad y cols. (2006) observaron diferencias entre MTA blanco y gris cuando son utilizados para la reparación de furcas perforadas. Además, el estudio mostró mayor filtración de colorante por vía ortógrada, que traducido a condiciones clínicas podría suponer la filtración de bacterias y sus subproductos, lo cual influiría en el éxito a largo plazo de las perforaciones reparadas, así que consideran que quizá debería colocarse un material barrera sobre el material de reparación contra la microfiltración coronal.

En el siguiente capítulo se describe el uso de MTA como material reparador de perforaciones en tercio coronal, medio y apical.

3

Técnicas de reparación de las perforaciones radiculares

3.1- TRATAMIENTO DE LAS PERFORACIONES DEL TERCIO CORONAL Y DE LA FURCA

La principal diferencia entre las perforaciones del tercio coronal y las del suelo de la furcación es la forma del defecto radicular resultante. Las perforaciones mecánicas que ocurren en el suelo de la furca suelen ser redondeadas, mientras que las que tienen lugar en las caras laterales de las raíces son ovaladas [Cohen y cols., 2002].

La perforación en la furca es una perforación radicular en medio de la curvatura que penetra en el ligamento periodontal. Una cavidad de acceso excesivamente grande, el uso incorrecto de las limas, la búsqueda de conductos cuyo calibre ha disminuido por acumulación de dentina, la reducción del tamaño de la cámara pulpar en pacientes de edad avanzada, así como el empleo inapropiado de fresas Peeso o Gates Glidden, constituyen las causas fundamentales de la aparición de este accidente operatorio.

Estas perforaciones presentan un pronóstico comprometido debido a la dificultad del tratamiento y se debe intentar su sellado con el material adecuado o en el caso de perforaciones grandes, mediante hemisecciones o amputaciones radiculares [Rodríguez, 2003]. El tratamiento quirúrgico en las perforaciones de la furca no está recomendado debido a que es una zona inaccesible quirúrgicamente, especialmente si la perforación está lingualizada en un molar mandibular o en la trifurcación de un molar maxilar [EIDeeb, 1982]. Sin embargo, Goon y cols. (1995) describen un caso tratado con regeneración tisular guiada que fue reparado con éxito.

La longitud del tronco del diente se mide desde la unión cemento-esmalte hasta la bifurcación. Esta longitud puede ser un factor importante en la reparación de perforaciones en el suelo de la cámara pulpar. Una perforación en un diente con un tronco corto y su reparación pueden llevar a una rotura de la bifurcación, mientras que una perforación en un diente con un tronco largo queda introducida en el hueso y es susceptible de una reparación no quirúrgica [Frank y cols., 1986].

Técnica:

En el tercio coronal, para reparar una perforación supracrestal, después de aislar con dique de goma el diente a tratar, es necesario controlar la hemorragia irrigando copiosamente con hipoclorito sódico. Después hay que colocar un algodón embebido en suero fisiológico sobre los canales pulpares y sellar la perforación con MTA. Seguidamente hay que colocar una obturación

provisional y al cabo de 48 horas ya podrá terminarse el tratamiento endodóncico [Menezes y cols., 2005].

Las perforaciones subgingivales que están localizadas ligeramente apicales a la cresta ósea pueden repararse con una combinación de tratamiento endodóncico-ortodóncico mediante la extrusión del diente afectado para elevar el defecto por encima del nivel de la cresta alveolar. De esta manera la perforación sería accesible y permitiría la restauración del diente. Sin embargo esta técnica está limitada por su complejidad, coste, tiempo y la necesidad de retención. La ventaja obvia es que, en el paciente adecuado, se puede reparar la perforación sin alteración quirúrgica del periodonto [Alhadainy, 1994a].

Técnica:

En las perforaciones de furca, lo primero que se debe hacer es aislar el lugar de la perforación y limpiar cuidadosamente la zona con hipoclorito sódico diluido. Por regla general, si la perforación es mecánica y acaba de ocurrir, lo más probable es que esté limpia. Si además existe hemostasia, el defecto se puede reparar de inmediato. Pero si es crónica y presenta microfiltraciones, antes de aplicar el material restaurador debe limpiarse y prepararse. Torabinejad y cols. (1999) recomiendan en estos casos dejar hipoclorito sódico diluido en los conductos durante unos pocos minutos y desinfectar la zona de la perforación. Los instrumentos ultrasónicos son ideales para preparar los focos de la perforación por su forma, su revestimiento y las salidas que poseen.

Una vez controlada la hemorragia con un algodón estéril, se mezcla el MTA en una proporción polvo/líquido 3/1 y se coloca en la zona de la perforación con un portaamalgamas estéril. Seguidamente, se puede cubrir con una capa de ionómero de vidrio fotopolimerizable [De Carli y cols., 2006] y continuar con el tratamiento endodóncico o instrumentar y obturar completamente los conductos radiculares primero, colocar el MTA como hemos indicado anteriormente, cubrirlo con una bolita de algodón húmeda y una obturación provisional durante al menos 3-4 horas [Torabinejad y cols., 1999].

Al colocar el MTA en perforaciones con un alto grado de inflamación, el material continúa blando cuando se comprueba en una segunda cita. Esto se debe a la presencia de un pH bajo, lo que evita un fraguado correcto del MTA. En estos casos se debe lavar el MTA y repetir el proceso [Torabinejad y cols., 1999].

Espinosa (2005) muestra dos casos con perforaciones de furca producidas durante la realización de la cavidad de acceso de más de 5 mm. Ambos casos son tratados con MTA. En uno de ellos,

primero se eliminó el tejido de granulación que invaginaba hacia el interior de la cámara pulpar y esto favoreció la extravasación del MTA al espacio interradicular. Por este motivo, en el segundo caso no se eliminó dicho tejido, de forma que creara un tope para adaptar el MTA. En ambos casos el resultado final fue satisfactorio.

Tsatsas y cols. (2005) evaluaron el sellado en perforaciones de furca de ProRoot MTA, SuperEBA, Vitremer, Hémarcol (matriz interna) con SuperEBA, Hémarcol con Vitremer, fosfato tricálcico con AH26, Cavit y amalgama en un estudio de filtración de nitrato de plata. Los resultados mostraron que MTA y Hémarcol con Vitremer mostraron estadísticamente menor filtración de colorante que el resto de materiales estudiados y concluyeron que ambos pueden ser utilizados para el tratamiento de perforaciones de furca.

Hashem y cols. (2008) realizaron un estudio para reparar perforaciones de furca con diferentes materiales y los resultados obtenidos fueron los siguientes de mejor a peor:

ProRoot MTA con/sin matriz interna>MTA Angelus con matriz interna>IRM con matriz=MTA Angelus con matriz interna>IRM sin matriz interna.

Así que basándonos en los resultados de ambos estudios, consideramos que el MTA solo sin matriz es el tratamiento de elección para tratar las perforaciones de furca. El hecho de que se produzca extrusión del MTA a través de la furca perforada no altera la resolución de la lesión [Schwartz y cols., 1999].

Zabalegui y cols. (2005) repararon una perforación de furca con MTA llevado hasta el defecto en seco con un portaamalgamas. El agua la incorporaron posteriormente con una bolita de algodón húmeda. Los autores opinan que el sellado no debe cubrir exclusivamente los límites del defecto sino que se debe ampliar, total o parcialmente, al suelo de la cámara pulpar para evitar la microfiltración marginal y, si fuera necesario, el empleo de ultrasonidos hará posible la retirada del MTA de aquellas zonas en las que fueran necesarias para establecer la retención y restauración.

Arens y cols. (1996) muestran 2 casos de reparación de perforación de furca.

En el primer caso, la perforación se había producido por un poste en un molar inferior endodonciado y reconstruido con amalgama hacía 12 años y al que hacía 3 años le habían colocado un poste y una corona. Desde ese momento el paciente refería dolor y supuración. A la exploración, el diente estaba sensible a la percusión, presentaba una fístula de pus entre las raíces y una profundidad de sondaje de 12 mm en vestibular y lingual. En la radiografía se

observaba una radiolucidez desde el ápice hasta la furca y que el poste había perforado la furca y la pared mesial de la raíz distal. Lo primero que hicieron para tratar el molar fue eliminar la obturación de amalgama con una fresa y el poste con ultrasonidos, lo que amplió la perforación a un área de 4x5 mm y empujó un fragmento de amalgama en el defecto de la furca. Se procedió a curetear la zona de la perforación hasta eliminar la amalgama, excepto una pequeña espícula. Seguidamente se irrigó la cámara pulpar y el defecto óseo con hipoclorito sódico al 2,5%, se secó con bolitas de algodón y puntas de papel y se procedió a colocar MTA en la cámara pulpar con un portaamalgama, que se fue condensado con una bolita de algodón húmeda. Se tomó una radiografía para determinar la extensión de la obturación y se vio que había extrusión de MTA en los tejidos perirradiculares y en la perforación. El MTA se cubrió con un algodón húmedo y una capa de IRM. Al año del tratamiento la radiografía mostró la curación completa de la lesión.

En el segundo caso, después de reparar la perforación de furca con MTA y comprobar a los 9 meses que ésta había curado, la paciente fue sometida a cirugía periapical. El ápice de ambas raíces fue seccionando y preparado para una obturación retrógrada con MTA. Al año de tratamiento la radiografía mostró la total resolución de la radiolucidez periapical y de la furca.

El éxito del tratamiento en ambos casos se debe a la eliminación de los contaminantes con fresas y ultrasonidos y a la limpieza de la cámara pulpar, la perforación y la zona quirúrgica con copiosas cantidades de hipoclorito de sodio al 2,5%, además de que el alto pH del MTA contribuye a la reducción de las bacterias. La ausencia de la bolsa periodontal en el 1º caso y la cicatrización de las lesiones de furca en ambos casos indican que no ha existido microfiltración en las obturaciones de MTA. El hecho de que no haya habido efectos adversos a la extrusión del MTA en la furca indica la biocompatibilidad del mismo, lo que está de acuerdo con los hallazgos de Pitt Ford y cols. (1995b), quienes no encontraron reacciones adversas en perros con perforaciones de furca que se habían sobreobturado.

Las bolsas periodontales no resueltas a pesar del tratamiento necesitan además un tratamiento periodontal.

3.2- TRATAMIENTO DE LAS PERFORACIONES DEL TERCIO MEDIO

Las causas que pueden motivar este tipo de accidente son:

- 1- Escalones creados como consecuencia de una cavidad de acceso inadecuada [Moldauer, 2005] y una preparación biomecánica incorrecta.
- 2- Intentar localizar conductos de acceso difícil o ensanchar en exceso la preparación de un conducto radicular.
- 3- Presencia de obstrucciones internas en el conducto, desarrollando excesivas fuerzas en un intento por sobrepasarlas [Peix, 1998].
- 4- Preparar el espacio para la colocación de un poste o cualquier dispositivo de retención, sin tener en cuenta la relación entre el eje longitudinal de la corona con la raíz [Behnia y cols., 2000].
- 5- Traumatismos o alteración del tejido pulpar o del ligamento periodontal.

Observar atentamente la radiografía preoperatoria es indispensable puesto que nos da información sobre el tamaño y posición de la cámara pulpar y dirección y grado de curvatura del conducto [Rodríguez, 2003].

Técnica:

Por la forma de producirse, estos defectos son de forma ovalada y típicamente representan unas áreas superficiales grandes para el sellado [Schwartz y cols., 1999]. En los casos en que los defectos están localizados más profundamente y más alejados de la cavidad de acceso es importante aumentar la visión creando un acceso directo de forma quirúrgica. En estos casos se levanta un colgajo y se expone la perforación a través de una ventana en el hueso. El campo quirúrgico se limpia y se seca y el canal radicular se instrumenta y se obtura. El material de obturación se elimina justo hasta apical de la lesión a tratar. Después de que la zona sea cureteada e irrigada y la lesión totalmente desbridada, se aplica MTA compactándolo en el defecto. Seguidamente se sutura el colgajo y se coloca dentro del canal un algodón húmedo y una obturación provisional. Una semana después y tras comprobar que el diente está asintomático, se eliminan la obturación provisional y el algodón y se obtura el resto del canal [Hsien y cols., 2003].

Sin embargo, en algunos casos esto no es posible sin comprometer irreversiblemente la integridad estructural del diente, por lo que se requerirán técnicas de reparación indirectas.

Las perforaciones secundarias a una instrumentación excesiva del conducto suelen ser estériles, sin embargo, los fracasos endodóncicos debidos a microfiltraciones pueden requerir una instrumentación con ultrasonidos para limpiar y refinar el defecto de la preparación que debe ser reparado.

En las perforaciones del tercio medio con un defecto pequeño, si es posible detener la hemorragia y secar el conducto, la perforación podrá sellarse y repararse durante la obturación tridimensional; sin embargo, si el defecto es grande y existe humedad o si no es posible secar definitivamente el conducto, antes de la obturación tridimensional debe repararse primero la perforación. Lo más aconsejable es que el conducto esté preparado antes de la reparación puesto que se facilitará el acceso al defecto y se minimizará la instrumentación posterior a la reparación. Para prevenir la obstrucción del conducto radicular durante los procedimientos de reparación, se coloca un material fácilmente recuperable dentro del conducto antes de empezar (una punta de gutapercha por ejemplo) [Nicholls, 1962; Cohen y cols., 2002].

La presencia de sangre sobre una punta de papel introducida en el interior del conducto nos indicará la altura en la cual se creó la perforación. El sangrado aumentará a medida que se ensanche el conducto falso, acompañándose de dolor, así como de un cambio de dirección del instrumento en el interior del conducto, lo que facilitará el diagnóstico de certeza. Dicho diagnóstico se confirmará mediante la realización de una radiografía en dos proyecciones como mínimo [Rodríguez, 2003]. Si la perforación está en una cara bucal o palatina, con una radiografía no será posible localizarla porque la raíz se superpone en la imagen [Nicholls, 1962]. Para intentar localizar la perforación se introduce una lima en el conducto principal y otra en el orificio de la perforación. Si las limas tienen la misma inclinación la perforación estará en una cara mesial o distal de la raíz. Si las limas son divergentes, la perforación estará localizada en la cara bucal o palatina radicular. Si la perforación se encuentra localizada en la cara mesial o distal se puede intentar el tratamiento conservador a través de la raíz. En estos casos, con la radiografía se puede medir exactamente donde se encuentra el defecto, lo que permite la limpieza y obturación exactas del defecto; si la perforación está en la pared bucal será necesario el tratamiento quirúrgico de la misma, combinado con curetaje radicular o apicectomía. Después de realizar el colgajo para acceder a la raíz, la perforación se amplía con fresas y se rebaja de nivel en relación con la superficie del cemento. Entonces se limpia y desinfecta y se obtura con el material elegido, colocando antes en el conducto una punta de papel para asegurarse que el conducto no se obstruye por el exceso de material. Pero si la perforación está localizada en la

pared palatina el pronóstico del diente se verá muy comprometido por la dificultad de acceso y lo más probable es que el diente tenga que ser extraído [Nicholls, 1962].

Cuando el canal se curva apicalmente y la dirección de la perforación sigue el eje axial de la parte coronal del canal, la obturación exacta de la parte apical del conducto radicular no será posible puesto que la reparación de la perforación se forma un reborde o existe exceso de material que impide llegar al ápice dentario. Pero tampoco se puede sellar primero la porción apical del canal, por lo que normalmente, la extracción del diente es casi inevitable [Nicholls, 1962].

Peix (1993) muestra buenos resultados en un caso de perforación radicular en el tercio medio tratado únicamente con técnica de condensación lateral mixta reblandeciendo la gutapercha mediante el empleo de Endotec⁵¹ (transportador de calor eléctrico).

Sin embargo, normalmente hay que recurrir a técnicas quirúrgicas [Rodríguez, 2003]. Así, Behnia y cols. (2000) describen un caso en el cual tienen que reparar una perforación radicular en el tercio medio de un incisivo lateral maxilar producida por un poste. Los autores, después de eliminar la restauración coronal y el poste y la instrumentación y limpieza del conducto radicular, colocaron en su interior hidróxido de calcio y una obturación provisional durante una semana. En una segunda fase realizaron un colgajo vestibular y la exposición del área perforada para la limpieza y eliminación del tejido de granulación. Una vez limpia la zona y el conducto radicular limpio y seco con puntas de papel, cementaron un poste de plástico con Geristore para conseguir, por una parte extravasación de cemento al área perforada, y por otra mantenimiento del espacio del poste para la restauración definitiva. Una vez fotopolimerizada la resina de ionómero, curetearon y afinaron la raíz para eliminar los restos de cemento. Los autores realizaron a la vez la apicectomía de la raíz, con la obturación de la cavidad apical también con Geristore. Posteriormente suturaron el colgajo, retiraron el poste provisional y mantuvieron una obturación provisional 2 meses. Una vez comprobado que el diente se mantenía asintomático, se reconstruyó el diente con un poste y una restauración definitivos.

El material elegido, en todo caso, será principalmente el MTA, debido al acceso difícil, visibilidad limitada y a la humedad en la zona [Lee y cols., 1993]. Tras levantar un colgajo y localizar la zona de la perforación, el defecto debe modificarse con una fresa pequeña si está indicado. Como el

⁵¹ Dentsply Maillefer, Montigny le Bretonneux, France

MTA no fragua hasta que han transcurrido de 3 a 4 horas, es imperativo controlar la hemorragia totalmente al intentar reparar la zona perforada. La presencia de un exceso de humedad en el campo operatorio provoca que el material se vuelva blando e inmanejable. Tras mezclar el polvo de MTA con agua estéril, hay que colocar la mezcla en la cavidad preparada y condensarla bien con un atacador. Se debe eliminar el exceso con un excavador y/o con un trozo de gasa húmeda. No se debe lavar el área tras colocar el MTA en la perforación. Por último, se sutura el colgajo y se controla periódicamente la zona [Torabinejad y cols., 1999].

Tsai y cols. (2006) nos muestran un caso de una perforación en el tercio medio y cervical de un conducto en C en un segundo molar mandibular. Después de desinfectar e instrumentar el conducto, obturan la totalidad del mismo con MTA. A los 9 meses el molar se muestra recuperado y asintomático, demostrando que se trata de una estrategia alterativa para el tratamiento de este tipo de perforaciones.

3.3- TRATAMIENTO DE LAS PERFORACIONES DEL TERCIO APICAL

Estas perforaciones tienen su origen normalmente en fracasos ocurridos durante los procedimientos de limpieza y conformación. Los bloqueos y los escalones favorecen las perforaciones profundas y son el resultado de una irrigación inadecuada, una instrumentación inapropiada y del fracaso para mantener la permeabilidad [Cohen y cols., 2002]. La realización de una cavidad de acceso inadecuada, el no precurvar convenientemente los instrumentos cuando vamos a tratar piezas dentarias con una gran curvatura apical o el empleo de instrumentos de gran calibre para determinar la longitud de trabajo, son causas que pueden determinar este accidente operatorio.

Según Nicholls (1962) una vez limpiado el conducto radicular los dientes que quedan obturados a un nivel levemente más corto que el foramen apical tienen mejor pronóstico que los que se obturan hasta éste o lo sobrepasan. Si la distancia entre el ápice radicular y la perforación es apreciable (más de 2 mm) o si ocurre después de que se haya ensanchado considerablemente la porción apical del canal, estará indicada la obturación radicular junto con la apicectomía. Cuando la perforación está entre 2 ó menos mm del ápice el caso resulta como un tratamiento endodóncico en el cual la obturación del canal radicular se haya quedado incompleta a la misma distancia. El tratamiento conlleva la obturación del conducto y reevaluaciones periódicas del diente, clínica y radiológicamente. Normalmente la corrección quirúrgica no es necesaria. Ocasionalmente, la porción apical del canal perforado se obtura satisfactoriamente. Así, por ejemplo, Arıkan y cols. (2006) muestran un caso de perforación radicular apical producida por la colocación de los tornillos de fijación de miniplacas de fijación de hueso. El tratamiento lo realizan endodonciando los dientes afectados y obturándolos con gutapercha y cemento sellador, dejando la gutapercha 1 mm corta de la longitud de trabajo con extrusión de cemento y sin cirugía periapical.

Técnica:

La presencia de dolor durante la limpieza y preparación de los canales, la pérdida repentina del tope apical creado y la posible presencia de hemorragia en el interior del conducto orientan sobre la posible creación de una perforación apical. Ante una perforación apical es obligado determinar nuevamente la longitud de trabajo, siendo necesario para el operador crear un nuevo tope apical y realizar una correcta obturación posterior. El empleo de hidróxido de calcio para crear una

barrera a la altura de la perforación puede proporcionar, en algunas ocasiones, resultados óptimos frente a este tipo de accidentes [Rodríguez, 2003].

El reconocimiento de la causa de esta perforación puede inclinar a la corrección quirúrgica mediante la apicectomía y la obturación retrógrada, puesto que no todas las perforaciones pueden ser corregidas por medios no quirúrgicos; sin embargo primero se realiza un tratamiento no quirúrgico para favorecer el tratamiento endodóncico ya realizado. El odontólogo debe sopesar los riesgos y los beneficios entendiendo que, en ocasiones, lo mejor para el paciente puede ser la cirugía o la extracción del diente.

El material de elección será el MTA [Cohen y cols., 2002]. Debe colocarse el MTA mezclado en el ápice con un pequeño atacador de amalgama y condensarse con atacadores pequeños o puntas de papel. Se debe crear un tapón de 3 a 5 mm para evitar la filtración y la extrusión de material de obturación a los tejidos perirradiculares. Tras inducir un tapón apical, se debe colocar una bolita de algodón mojada y cerrar la cavidad de acceso con un material de obturación temporal durante al menos 3 ó 4 horas. Pasado este tiempo se obturará el resto del conducto con gutapercha y cemento sellador. En casos con una perforación apical grande y mucha humedad, la colocación del tapón apical y la obturación del conducto radicular puede conseguirse en una visita [Torabinejad y cols., 1999].

4

Objetivos

La literatura ha demostrado las propiedades del MTA y sus aplicaciones en las diferentes áreas de la Endodoncia y la Odontología Conservadora.

A pesar de que los autores han demostrado en estudios *in vitro* e *in vivo* que el MTA es un material biocompatible y no citotóxico, los artículos sobre filtración no son tan concluyentes. La mayoría destaca que el MTA filtra menos que los materiales con los que se le compara [Hashem y cols., 2008], otros relatan que la media de filtración es tan baja que ni siquiera consideran que tenga afectaciones clínicas [Stefopoulos y cols., 2008], algunos muestra claramente filtración [Peydro y cols., 2004a] y otros concluyen que no filtra [Lamb y cols., 2003]. Así que el objetivo de nuestro trabajo fue realizar un estudio de microfiltración de colorante y observar qué resultados obteníamos al reparar perforaciones de furca con MTA.

4.1- OBJETIVO PRINCIPAL

Estudiar la capacidad de sellado del MTA al ser utilizado para la reparación de perforaciones de furca en molares extraídos humanos y comparar los resultados con los obtenidos al reparar perforaciones de furca con ionómero de vidrio fotopolimerizable, ionómero de vidrio autopolimerizable, composite fluido y composite convencional.

4.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Determinar si existe filtración de colorante entre el material restaurador y las paredes de dentina.
- 2- Determinar si existe filtración de colorante en el interior del material reparador
- 3- Establecer la adaptación de los materiales a las paredes de dentina.
- 4- Constatar si el material reparador permanece en los límites de la perforación o si se produce infraobturación o sobreobturación del mismo.

5

Materiales y métodos

5.1- PLANTEAMIENTO GENERAL

Se realizó un estudio sobre molares extraídos humanos con el propósito de determinar la capacidad del cemento de MTA para evitar la filtración de un colorante en perforaciones de furca hechas con fresa y comparar los resultados con los obtenidos reparando las perforaciones con ionómero de vidrio (fotopolimerizable y autopolimerizable) y con composite (fluido y convencional).

5.2- MUESTRA

Para el estudio se seleccionaron 60 molares extraídos humanos. Después de su extracción, los molares fueron conservados en formol al 10% hasta su utilización.

Para formar parte de la muestra, los molares debían cumplir una serie de requisitos:

- 1- Ser multiradiculares
- 2- Tener las raíces divergentes
- 3- Excepto en la cara oclusal, no podían presentar caries
- 4- No presentar restauraciones filtradas
- 5- No presentar grietas visibles
- 6- No presentar defectos por resorción



Fig. 2. Molares de la muestra

Los molares se dividieron en 7 grupos:

GRUPO	NÚMERO DE MOLARES	MATERIAL RESTAURADOR
1	10	MTA (GRIS)
2	10	IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE
3	10	IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE
4	10	COMPOSITE FLUIDO
5	10	COMPOSITE CONVENCIONAL
6	5	CONTROL POSITIVO
7	5	CONTROL NEGATIVO

5.3- INSTRUMENTAL

- Las raíces fueron limpiadas con ultrasonidos⁵² (punta Satelec-Suprasson número 1) y cureteadas con una cureta periodontal Gracey 1/2 para dientes anteriores⁵³.
- La cavidad de acceso a la cámara pulpar se realizó con una fresa redonda de diamante de 2 mm de diámetro⁵⁴ y endoZ⁵⁵ a alta velocidad e irrigación con agua con turbina Kavo⁵⁶.
- Los conductos radiculares fueron localizados y permeabilizados con limas K-file⁵⁷ del número 10 y como irrigante fue utilizado hipoclorito sódico al 5,25%.
- Los conductos radiculares fueron secados con puntas de papel⁵⁸.

⁵² Satelec Acteon Group, Merignac, Francia

⁵³ Hu Friedy Mfg. Co, Inc., Illinois, EEUU

⁵⁴ Komet 6801L, Illinois, EEUU

⁵⁵ Maillefer, Montigny le Bretonneux, Francia

⁵⁶ Kavo, Biberach, Alemania

⁵⁷ Dentsply Maillefer, Montigny le Bretonneux, Francia

⁵⁸ Kerr, Karlsruhe, Alemania

- La entrada de los conductos radiculares se selló con composite fluido⁵⁹ para prevenir la filtración coronal a través de los mismos, realizando antes el acondicionamiento de la entrada con grabado ácido con ácido ortofosfórico al 37% Total Etch⁶⁰ y adhesivo dentinario Excite⁶¹.
- La superficie radicular y coronal fue impermeabilizada con cianocrilato⁶².
- La perforación de la cámara pulpar se realizó con una fresa redonda de diamante de 2 mm de diámetro.
- Los alveolos artificiales fueron realizados con silicona densa⁶³.
- Para mezclar el MTA y el ionómero de vidrio fotocurable se utilizaron una loseta de vidrio y una espátula de mezcla de cemento doble S-2⁶⁴.
- Para mezclar el ionómero de vidrio autocurable se utilizó un mezclador de amalgama Softly⁶⁵.
- Para llevar el MTA a la perforación se utilizó un portaamalgamas⁶⁶.
- Para condensar el MTA se utilizó un condensador de bola⁶⁷
- Como lámpara de polimerizar se utilizó la Astralis 5⁶⁸.
- El ionómero de vidrio se llevó a la furca y a la cámara pulpar con un pich⁶⁹.
- El composite fluido se distribuyó en la perforación y la cámara pulpar con una sonda de exploración.
- El composite convencional se manipuló con una espátula de boca⁷⁰ y un condensador de bola.
- Como colorante se utilizó rodamina B⁷¹ (2 gr por 200 ml)
- El sistema de filtración se construyó con:
 - Una botella de suero vacía donde se introdujo el colorante
 - Una goma de gotero
 - Un soporte para elevar la botella de suero
 - Composite fluido

⁵⁹ Tetric Flow, Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan / Liechtenstein

⁶⁰ Total Etch, Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan / Liechtenstein

⁶¹ Excite, Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan / Liechtenstein

⁶² SuperGlue3, Henkel Ibérica, S. A., Barcelona, España

⁶³ Zhermack, Rovigo, Italia

⁶⁴ Quirurgical Bontempi, España

⁶⁵ Acteon Satelec, Barcelona, España

⁶⁶ Hu Friedy Mfg. Co, Inc., Illinois, EEUU

⁶⁷ Hu Friedy Mfg. Co, Inc., Illinois, EEUU

⁶⁸ Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan / Liechtenstein

⁶⁹ Hu Friedy Mfg. Co, Inc., Illinois, EEUU

⁷⁰ Hu Friedy Mfg. Co, Inc., Illinois, EEUU

⁷¹ Panreac Química, S. A., Barcelona, España

5.4- MATERIALES DE OBTURACIÓN

Como material de obturación de las perforaciones de furca se utilizaron los siguientes:

1. Mineral Trióxido Agregado de color gris
2. Ionómero de Vidrio Fotopolimerizable⁷²
3. Ionómero de Vidrio Autopolimerizable⁷³
4. Composite Fluido⁷⁴
5. Composite Convencional⁷⁵

5.4.1- MINERAL TRIÓXIDO AGREGADO (MTA)

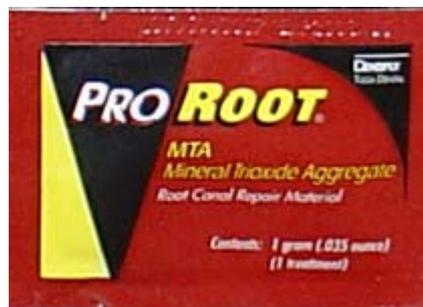


Fig. 3. ProRoot MTA gris

5.4.1.1- Presentación:

Sobres individuales con polvo de MTA de 1 ó 2 gramos y ampollas micro-dispensadoras de agua destilada estéril.

Se trata de un polvo fino compuesto de partículas hidrófilas que endurece en presencia de agua. La hidratación del polvo crea un gel coloidal que solidifica formando una fuerte barrera impermeable.

⁷² Dental Products 3M, Ontario, Canadá

⁷³ 3M ESPE, Seefeld, Alemania

⁷⁴ Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan Liechtenstein

⁷⁵ Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan Liechtenstein

5.4.1.2- Composición:

75%	Silicato tricálcico: 3CaOSiO_2
	Aluminato tricálcico: $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$
	Silicato dicálcico: 2CaOSiO_2
	Aluminato férrico tetracálcico: $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$
20%	Óxido de bismuto: Bi_2O_3
4,4%	Sulfato de calcio dihidratado: $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
0,6%	Sílice cristalina
	Residuos insolubles: <ul style="list-style-type: none"> • sulfato de potasio y sodio • óxido de calcio

5.4.1.3- MANIPULACIÓN:

- Se abrió la bolsa y se pusp el polvo en un papel de mezcla.
- Se cortó la ampolla micro-dispensadora del líquido y se vertió su contenido en el papel de mezcla cerca del material reparador.
- Se incorporó gradualmente el líquido en el cemento usando una espátula de mezcla.
- Se mezcló el material con el líquido, alrededor de un minuto, asegurando que todas las partículas de polvo estuvieran hidratadas.

El MTA debe prepararse inmediatamente antes de usarse. El polvo solo no tiene ninguna acción, por ello necesita ser hidratado en una proporción polvo-líquido 3:1 [Lee, 2000; Fabra y cols, 2001]. De esta forma obtenemos un gel coloidal que solidifica en una estructura dura a las 3 horas aproximadamente. Tiene un tiempo de trabajo de unos 30 segundos y debe ser espatulado en una loseta de vidrio o papel con espátula de cemento hasta obtener una pasta densa y granulada y llevarlo a la cavidad con un portaamalgamas de plástico o metal. Se debe eliminar el sobrante de humedad con un trozo seco de gasa o algodón. Si está muy seco es muy difícil de manipular y condensar, con lo que hay que añadirle agua para hidratarlo [Fabra y cols, 2001].

El material se conservó en recipientes bien cerrados y alejados de la humedad.

5.4.2- IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE



Fig. 4. Ionómero de vidrio Vivaglass Liner

5.4.2.1- PRESENTACIÓN

Vivaglass Liner es un cemento fotopolimerizable de ionómero de vidrio, desarrollado especialmente para obturaciones de base. Se adhiere a dentina y libera iones de flúor.

Se presenta en dos botes: uno de polvo de 10 gramos y uno de líquido de 8 gramos.

El polvo es radioopaco y liberador de ion de fluoraluminosilicato y es fotosensible. Para protegerlo de la desactivación por la luz ambiente éste se almacena en una botella color ámbar.

El componente líquido es también sensible a la luz por la presencia del fotoiniciador. Se presenta en un vial opaco para protegerlo de la luz ambiente.

Los envases se guardaron a temperatura ambiente (12-28°C).

5.4.2.2- COMPOSICIÓN

POLVO	Vidrio de aluminio silicato	99,8%
	Catalizadores y pigmentos	0,2%
LÍQUIDO	Ácido poliacrílico	27,5%
	HEMA	38%
	Dimetacrilatos	12%
	Catalizadores	0,1%
	Agua	22,4%

5.4.2.3- MANIPULACIÓN

Según las instrucciones del fabricante, se vertió en el bloc de mezcla una cucharada de polvo y una gota de líquido, en una proporción polvo/líquido de 1,4/1. Esta consistencia se alcanza con una medida Vivaglass rasa y una gota de líquido, manteniendo el frasco del mismo vertical con la apertura hacia abajo. Se dividió el polvo en dos porciones iguales, mezclando, con una espátula de cemento, una primera porción durante 5-10 segundos con la cantidad total de líquido, añadiendo después la segunda porción de polvo y volviendo a mezclar durante 10-15 segundos. Se evitó la inclusión de burbujas de aire al incorporar el líquido en la mezcla. El tiempo total de manipulación sobrepasó los 20 segundos.

La fotopolimerización se realizó con una lámpara halógena durante 40 segundos. Al tratarse de cavidades de más de 2 mm, se utilizó la técnica de estratificación.

5.4.3- IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE



Fig. 5. Cápsula de Ketac-Bond Aplicap

5.4.3.1- PRESENTACIÓN

Ketac Bond Aplicap es un cemento de ionómero vítreo de fraguado rápido en cápsula. Gracias a su adherencia química al esmalte y a la dentina permite una preparación cuidadosa. Ketac Bond Aplicap emite iones de fluoruro y es radiopaco. Está a la venta en color amarillo. La cantidad contenida de una cápsula es de 0,1 ml.

5.4.3.2- COMPOSICIÓN

POLVO	Polvo de vidrio	80-85%
	Ácido polietilen-policarbónico	10-20%
LÍQUIDO	Agua	80-90%
	Ácido tartárico	10-20%

5.4.3.3- MANIPULACIÓN

Activación:

Las cápsulas se activaron con el activador Aplicap⁷⁶, manteniendo éste completamente apretado durante 2 segundos.



Fig. 6. Activador Aplicap

Mezcla:

Posteriormente, las cápsulas se mezclaron en un aparato mezclador de alta frecuencia a unas 4000 vibraciones/minuto. En este caso fue utilizado un mezclador de amalgama Softly durante 10 segundos.



Fig. 7. Mezclador de amalgama Softly

Una vez mezcladas las cápsulas, se colocaron en el aplicador Aplicap⁷⁷ para verter el ionómero de vidrio en las cavidades a reparar.

⁷⁶ 3M, ESPE, Seefeld, Alemania

⁷⁷ 3M ESPE, Seefeld, Alemania



Fig. 8. Aplicador Aplicap

La aplicación de Ketac Bond Aplicap se realizó a temperatura ambiente (20-25°C).

Tiempos:

A temperatura ambiente rigen los tiempos siguientes:

- Mezcla: 10 segundos.
- Tratamiento (incluida la mezcla): 1 minuto 45 segundos.
- Fraguado (a partir del inicio de la mezcla): 4 minutos.
- Tiempo de fraguado en boca: 2 minutos 15 segundos.
- Temperaturas más altas reducen y temperaturas más bajas amplían el tiempo de tratamiento.

5.4.4- COMPOSITE FLUIDO



Fig. 9. Composite fluido Tetric EvoFlow

5.4.4.1- PRESENTACIÓN

Tetric EvoFlow es un composite fluido, fotopolimerizable, radioopaco y nanohíbrido que se polimeriza con luz en el rango de longitudes de onda entre 400-500 nm (luz azul).

En el estudio fue utilizado el color A3 en jeringa de 2 gramos.

5.4.4.2- COMPOSICIÓN

Matriz de monómero	Dimetacrilatos (38% en peso)
Rellenos	Vidrio de bario
	Trifluoruro de iterbio
	Dióxido de silicio altamente disperso
	Óxidos mixtos
	Copolímeros (62% en peso)
Otros componentes	Aditivos
	Catalizadores
	Estabilizadores
	Pigmentos (1% en peso)

El contenido total de rellenos inorgánicos es de 57,7% en peso o 30,7% de volumen. El tamaño de las partículas de los rellenos inorgánicos oscila entre 40 nm (0,04 μm) y 3000 nm (3 μm). El tamaño de partícula principal es de 550 nm (0,55 μm).

5.4.4.3- MANIPULACIÓN

Después de preparar la cavidad y acondicionar con ácido ortofosfórico y aplicar el agente adhesivo, se fue colocando Tetric EvoFlow en capas con un grosor máximo de 1,5 mm ó 2 mm. Posteriormente, se polimerizó cada capa durante 20 segundos utilizando una intensidad lumínica de 530 mW/cm².

La aplicación de Tetric EvoFlow se realizó a temperatura ambiente.

5.4.5- COMPOSITE CONVENCIONAL



Fig. 10. Composite convencional Tetric EvoCeram

5.4.5.1- PRESENTACIÓN

Se trata de un composite fotopolimerizable, nano-híbrido y radioopaco. En el estudio fue utilizado el color A3 en formato jeringa de 2 gramos.

Se polimeriza con una gama de longitud de onda de 400-500 nm (luz azul).

5.4.5.2- COMPOSICIÓN

Matriz de monómero	Dimetacrilatos (17-18% en peso)
Rellenos	Vidrio de bario
	Trifluoruro de iterbio
	Óxidos mezclado
	Prepolímeros (82-83% en peso)
Otros componentes	Aditivos
	Catalizadores
	Estabilizadores
	Pigmentos (<1% en peso)

El contenido total de rellenos inorgánicos es de 75-76% en peso ó 53-55% en volumen. El tamaño de las partículas de relleno inorgánico está entre 40 nm y 3000 nm, con un tamaño principal de partícula de 550 nm.

5.4.5.3- MANIPULACIÓN

Después de preparar la cavidad y acondicionar con ácido ortofosfórico y aplicar el agente adhesivo, se colocaron capas de Tetric Evoceram con un espesor máximo de 1,5 a 2 mm y se adaptaron con una espátula de boca y un bruñidor de bola.

Cada capa fue fotopolimerizada con una lámpara de luz halógena con una intensidad lumínica de 530 mW/cm² durante 40 segundos, manteniendo el extremo del conducto de luz lo más próximo posible a la superficie del material de restauración.

La aplicación de Tetric EvoCeram fue a temperatura ambiente.

5.5- MATERIALES COMPLEMENTARIOS

5.5.1- LÁMPARA DE POLIMERIZACIÓN ASTRALIS 5



Fig. 11. Lámpara de polimerización Astralis 5

Se trata de una lámpara de polimerización de alto rendimiento con 75 Watos de potencia. Presenta una densidad de potencia de 530 mW/cm².

5.5.2- ÁCIDO ORTOFOSFÓRICO AL 37% TOTAL ETCH



Fig. 12. Ácido Ortofosfórico

5.5.2.1- PRESENTACIÓN:

Se trata de un gel para grabado de esmalte y acondicionamiento de dentina.

Se presenta en jeringas de 2 gramos.

5.5.2.2- COMPOSICIÓN:

Contiene ácido fosfórico (37% en peso en agua), espesantes y colorantes.

5.5.2.3- MANIPULACIÓN:

Se aplicó sobre el esmalte y sobre la dentina y se dejó actuar durante 15 segundos.

A continuación, la superficie del diente se lavó con agua en spray y se secó con aire libre de aceite hasta que la superficie del esmalte tuvo un aspecto blanco tiza, evitando asimismo el desecamiento excesivo de la dentina.

5.5.3- ADHESIVO DENTINARIO EXCITE



Fig. 13. Adhesivo dentinario Excite

5.5.3.1- PRESENTACIÓN:

Se trata de un adhesivo a esmalte y dentina con relleno, fotopolimerizable y monocomponente para utilizar conjuntamente con la técnica de grabado ácido.

5.5.3.2- COMPOSICIÓN

HEMA
Dimetacrilatos
Acrilato de ácido fosfónico
Dióxido de silicio altamente disperso
Iniciadores
Estabilizadores en solución alcohólica

5.5.3.3- MANIPULACIÓN:

Después del acondicionamiento con ácido ortofosfórico al 37%, se saturó el esmalte y la dentina con una generosa cantidad de Excite utilizando un aplicador durante 10 segundos.

Seguidamente, para evitar encharcamientos o insuficiente recubrimiento adhesivo, se utilizó una corriente suave y limpia de aire durante unos 3 segundos a 5 mm de la superficie de preparación.

La superficie adhesiva adquirió una apariencia brillante y uniforme.

A continuación, se fotopolimerizó durante 20 segundos con la lámpara de polimerizar halógena Astralis 5.

5.6- PROCEDIMIENTO

5.6.1- MANIOBRAS PREVIAS

Para el estudio fueron utilizados 60 molares exodonciados humanos superiores e inferiores íntegros, los cuales fueron almacenados en formol al 10% para su conservación, que cumplían con criterios de inclusión en la muestra previamente establecidos.

Después de ser limpiados con ultrasonidos y cureteados con una cureta periodontal Gracey ½, se les realizó una apertura de endodoncia con una fresa de diamante redonda de 2 mm de diámetro y una fresa endoZ para ampliar la cámara de acceso.

Los conductos radiculares fueron permeabilizados con una lima K del número 10 e irrigados con hipoclorito sódico al 5,25%. Los molares fueron guardados a partir de ese momento en suero fisiológico. Una vez eliminada la pulpa dental, se selló la entrada a los conductos radiculares con composite fluido, grabando antes con ácido ortofosfórico al 37% y colocando seguidamente un adhesivo dentinario.

El siguiente paso consistió en impermeabilizar toda la superficie externa coronaria y radicular con cianocrilato.

Para realizar la perforación en la región central de la cámara pulpar se utilizó una fresa redonda de diamante de 2 mm de diámetro, hasta que hubo comunicación con la superficie externa.



Fig. 14. Fresa redonda de 2 mm de diámetro

Para simular las condiciones clínicas, se obtuvieron alveolos artificiales [De-Deus y cols., 2007] introduciendo las raíces dentarias en silicona densa, particularizando de esta forma a cada diente, de forma que no hubiese movimiento de los mismos durante la colocación del material restaurador en la perforación.

Previamente a la inclusión de los molares en la silicona, se colocaron bolitas de algodón humedecidas con una gota de suero fisiológico entre las raíces dentarias, adyacentes a las

perforaciones, simulando las condiciones clínicas tanto en el aspecto de la humedad como en el de la resistencia a la compresión de los tejidos de soporte.

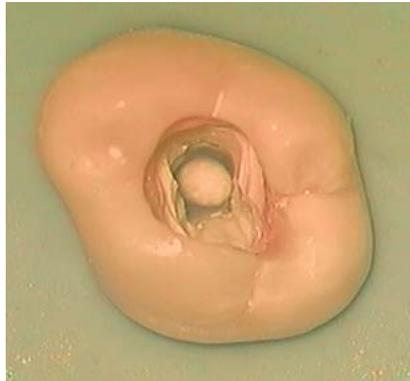


Fig. 15. Molar en alveolo de silicona con apertura y algodón en la zona de la furca perforada

Una vez elaborados los alveolos artificiales, se procedió a reparar las perforaciones radiculares con los materiales del estudio.

5.6.2- REPARACIÓN DE LAS PERFORACIONES RADICULARES

5.6.2.1- Grupo 1: MTA

El MTA se mezcló, según instrucciones del fabricante, en una loseta de vidrio y con una espátula de mezcla.

Para ello:

- Se abrió la bolsa y se vertió el polvo en una loseta de vidrio.
- Se cortó la ampolla micro-dispensadora del líquido y se vertió su contenido en la loseta de vidrio cerca del material reparador.
- Se incorporó gradualmente el líquido en el cemento usando una espátula de mezcla.
- Se mezcló el material con el líquido, alrededor de un minuto, asegurándose que todas las partículas de polvo estuvieran hidratadas hasta conseguir una consistencia cremosa.

Una vez mezclado el MTA, se secó el interior de la cámara pulpar con una bolita de algodón. Se utilizó un portaamalgamas para transportar el MTA y un condensador para adaptarlo bien a la perforación y a la cavidad pulpar.

Una vez reparada la perforación de furca, se cubrió el MTA con una bolita de algodón húmeda para el fraguado del mismo.

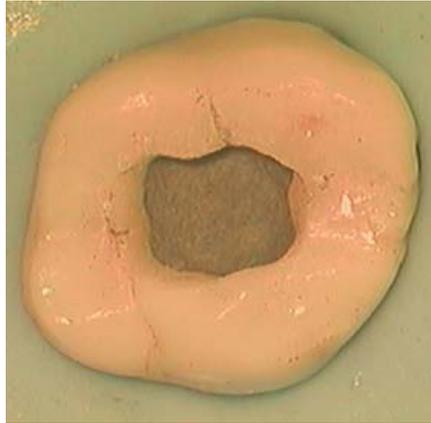


Fig. 16. Perforación obturada con MTA

5.6.2.2- Grupo 2: ionómero de vidrio fotopolimerizable

- Se mezcló el ionómero de vidrio según instrucciones del fabricante.
- Para ello se puso una medida de polvo en una loseta de vidrio y se vertió una gota de líquido.
- Se fue incorporando el polvo gradualmente al líquido con una espátula de mezcla hasta conseguir una consistencia cremosa.
- Se secó el interior de la cámara pulpar y la perforación con una bolita de algodón y, mediante la ayuda de un pich, se fue reparando la perforación.
- Se polimerizó el cemento durante 40 segundos con la lámpara de fotocurado.

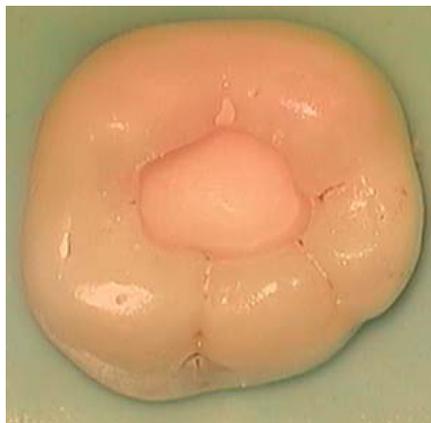


Fig. 17. Perforación reparada con ionómero de vidrio fotopolimerizable

5.6.2.3- Grupo 3: ionómero de vidrio autopolimizable

- Se insertó la cápsula en el activador y activó durante 2 segundos.
- A continuación, se colocó en el vibrador de amalgama.
- La cápsula fue mezclada durante 10 segundos.
- Seguidamente, se colocó en el dispensador.

- Se secó el interior de la cámara pulpar con un algodón y se vertió en la perforación la cantidad necesaria de cemento, que se fue adaptando a la cavidad con un condensador de bola.

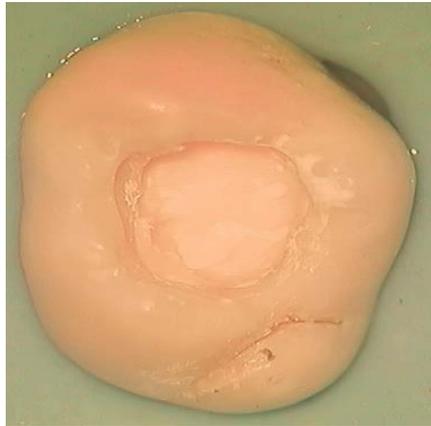


Fig. 18. Perforación reparada con ionómero de vidrio autopolimerizable

5.6.2.4-Grupo 4: composite fluido

- Se secó el interior de la cavidad con una bolita de algodón.
- Se grabó la cámara pulpar con ácido ortofosfórico al 37% durante 15 segundos.
- A continuación, se lavó con agua y se secó la cámara pulpar con aire.
- Se secó de nuevo con una bolita de algodón el interior de la cámara pulpar y se colocó el adhesivo con un micropincel.
- Se secó con aire durante 5 segundos y se polimerizó durante 20 segundos.
- A continuación, se fue reparando la perforación radicular con capas de composite fluido, con ayuda de una sonda de exploración para su distribución y polimerizando 40 segundos entre cada capa con la lámpara de fotocurado.

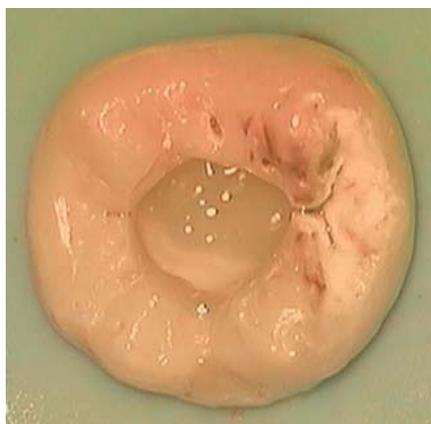


Fig. 19. Perforación reparada con composite fluido

5.6.2.5- Grupo 5: composite convencional

- Se secó el interior de la cavidad con una bolita de algodón.
- Se grabó la cámara pulpar con ácido ortofosfórico al 37% durante 15 segundos.
- A continuación, se lavó con agua y se secó la cámara pulpar con aire.
- Se secó de nuevo con una bolita de algodón el interior de la cámara pulpar y se colocó el adhesivo con un micropincel.
- Se secó con aire durante 5 segundos y se polimerizó durante 20 segundos.
- Seguidamente, se fue colocando el composite a capas con una espátula de composite y un condensador de bola, polimerizando 40 segundos entre cada capa con la lámpara de fotocurado.

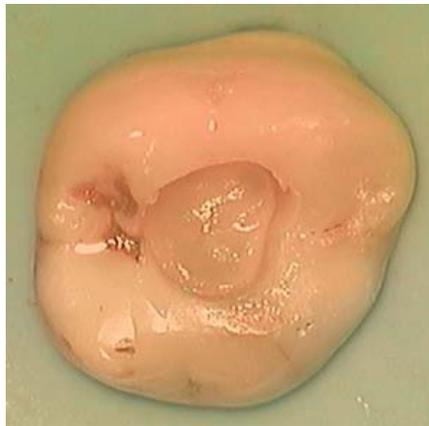


Fig. 20. Perforación reparada con composite convencional

5.6.3- SISTEMA DE FILTRACIÓN

Una vez reparadas las perforaciones de furca, el siguiente paso consistió en comprobar si los materiales presentaban o no filtración a través de la furca reparada y para ello se confeccionó un sistema de filtración de colorante;

- Se utilizó una botella de suero vacía en la cual se introdujeron 200 ml de colorante.
- A la botella de suero se le conectó una goma de gotero. Se colgó la botella a una altura de forma que hubiese 20 cm entre el colorante y el final de la goma donde se iba a conectar la muestra a estudiar.



Fig. 21: Sistema de filtración de fluidos

Para conectar las perforaciones al sistema se utilizó composite fluido, de forma que la parte apical de la perforación (zona interradicular) quedara conectada a la goma del gotero.



Fig. 22. Muestra conectada al sistema de fluidos

El tiempo de medición fue de 4 minutos, de forma que al poner el cronómetro en marcha, se abría el dispositivo de la goma del gotero para que el colorante fluyera hacia la perforación.

Una vez terminados los 4 minutos, se cerraba el gotero para el cese del flujo, se desconectaba la muestra del final de la goma y se conectaba otra muestra con composite fluido.

5.6.4- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Una vez concluido el ensayo de filtración de fluidos, los molares fueron desgastados apoyando su cara vestibular y su cara palatina contra la superficie del papel de lija de grano grueso⁷⁸ de una recortadora⁷⁹, de forma que únicamente quedara una lámina de unos 4 mm de diente que mostrara exactamente la zona de la perforación reparada.

Se fueron cambiando los papeles de lija por granos de cada vez menor grosor para terminar de pulir⁸⁰ la superficie y llevar las muestras al microscopio óptico⁸¹ y al microscopio electrónico⁸².

5.6.5- OBSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para observar la filtración de colorante se utilizó un microscopio óptico 1, 1,6 y 2,5 aumentos.

Para estudiar la adaptación de los materiales de obturación a las paredes de dentina se utilizó un microscopio electrónico de emisión de campo modelo 4100.

5.6.6- CRITERIOS DE EVALUACIÓN

5.6.6.1- Criterio de filtración de colorante

El criterio que se estableció para considerar que las muestras presentaban filtración fue observar la presencia del mismo en algún punto de la obturación, tanto si estaba presente en todo el espesor de material como si sólo aparecía en la zona más apical.

5.6.6.2- Criterio de filtración de colorante en el interior del material reparador

Para cumplir este requisito se debía observar colorante en el interior del material restaurador

5.6.6.3- Criterio de adaptación a las paredes de dentina

El criterio que se siguió para considerar que la obturación estaba bien o mal adaptada fue que al menos una parte de la obturación mostrara desadaptación.

⁷⁸ Lijas de agua con grosores de 80-320 y 1000, Wolcraft, Alemania

⁷⁹ Grinder Plisher Model 990, South Bay Technology, San Clemente, EEUU

⁸⁰ Disco de fieltro, Wolcraft, Alemania

⁸¹ Carl Zeiss, AAlen, Alemania

⁸² Hitachi S-4100, Tokio, Japón

5.7- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Además de un estudio descriptivo de los resultados obtenidos, se usó el test de la χ al cuadrado para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los datos obtenidos en cada tipo de material y para las distintas variables analizadas.

6

Resultados

6.1- MTA

6.1.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES

		MICROSCOPIO ÓPTICO		MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE EMISIÓN DE CAMPO 4100
MUESTRA	FILTRACIÓN	OBTURACIÓN	ADAPTACIÓN	
1	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	
2	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	
3	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	
4	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	
5	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	
6	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO	
7	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO	
8	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	
9	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO	
10	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO	

6.1.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS

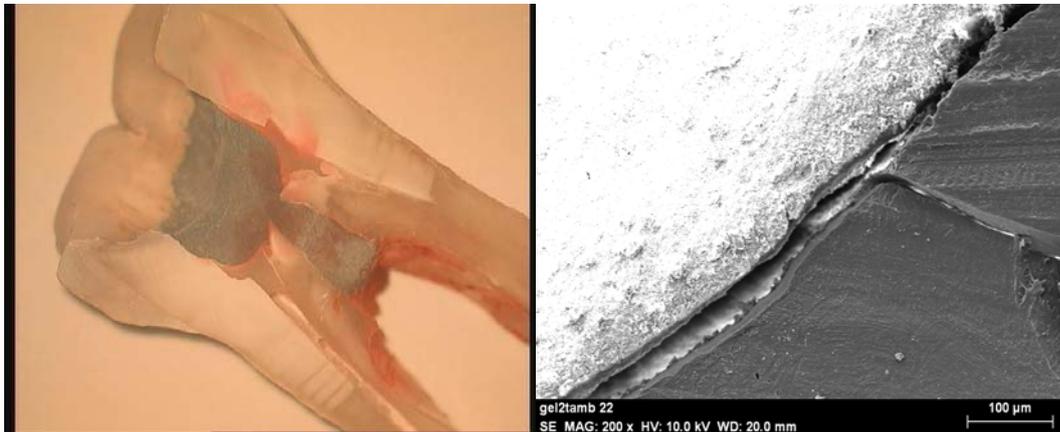


Fig. 23. Muestra 1: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante localizada en la zona de la perforación y en el suelo de la cámara pulpar.

Fig. 24. Muestra 1: microscopio electrónico a 200 aumentos.

Izquierda: MTA; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.



Fig. 25. Muestra 2: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante localizada en toda la obturación de MTA.

Fig. 26. Muestra 2: microscopio electrónico a 40 aumentos.

Vista general de la obturación: centro: MTA; ambos lados: grietas de desadaptación; exterior: dentina.

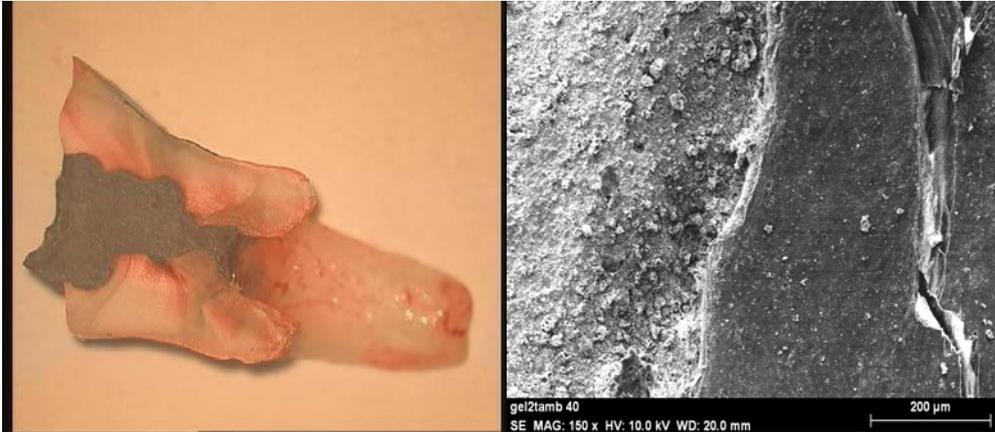


Fig. 27. Muestra 3: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante localizada en toda la obturación de MTA.

Fig. 28. Muestra 3: microscopio electrónico a 150 aumentos.

Una zona de adaptación MTA-dentina: izquierda: MTA; derecha: dentina

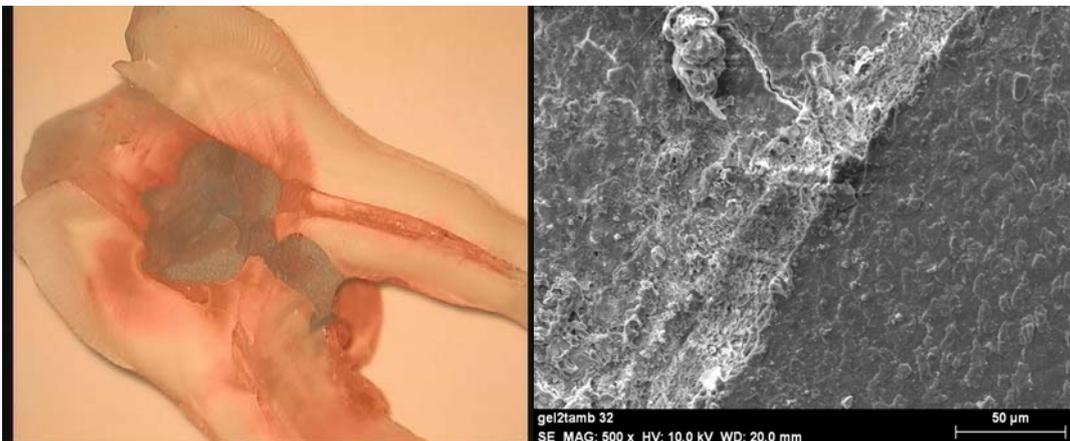


Fig. 29. Muestra 4: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante localizada en toda la obturación de MTA

Fig. 30. Muestra 4: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Una zona de adaptación MTA-dentina (derecha de la obturación en zona apical): izquierda: MTA; derecha: dentina.

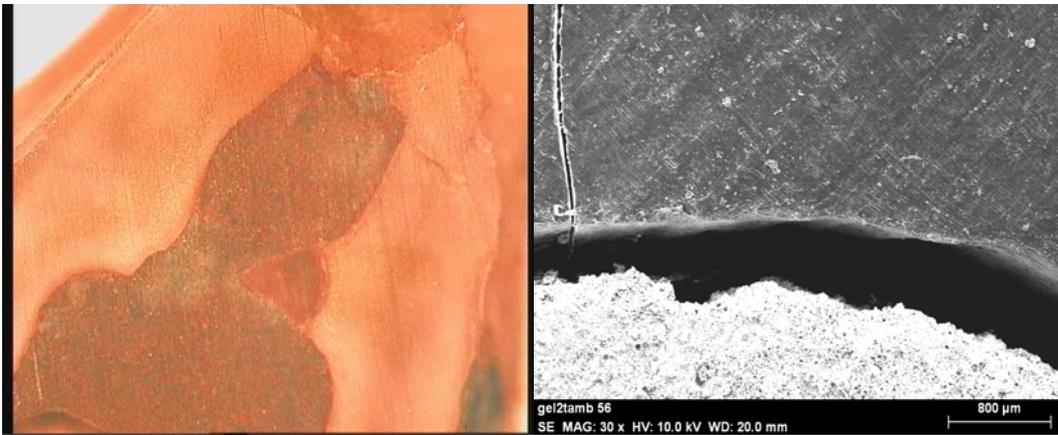


Fig. 31. Muestra 5: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de MTA.

Fig. 32. Muestra 5: microscopio electrónico a 150 aumentos.

Superior: dentina; centro: zona de desadaptación; inferior: MTA.

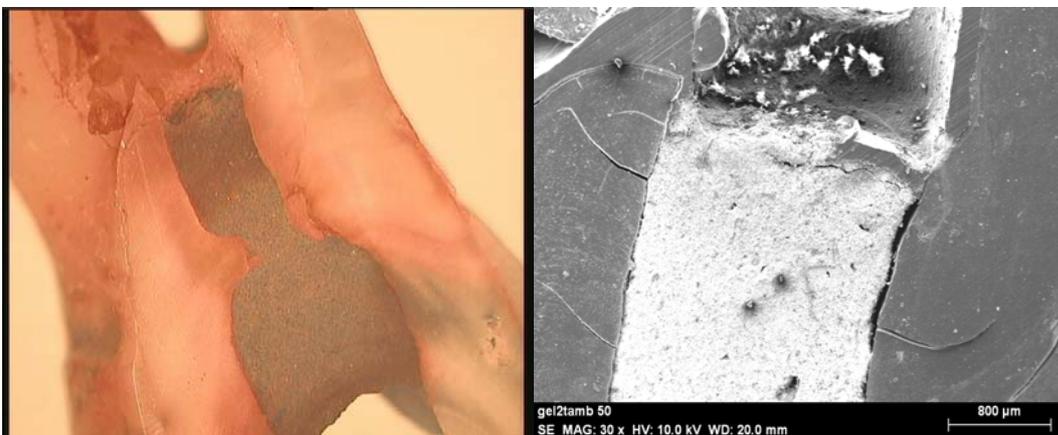


Fig. 33. Muestra 6: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de MTA.

Fig. 34. Muestra 6: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Vista general de la perforación obturada: centro: MTA; a ambos lados: grietas de desadaptación y a continuación la dentina.

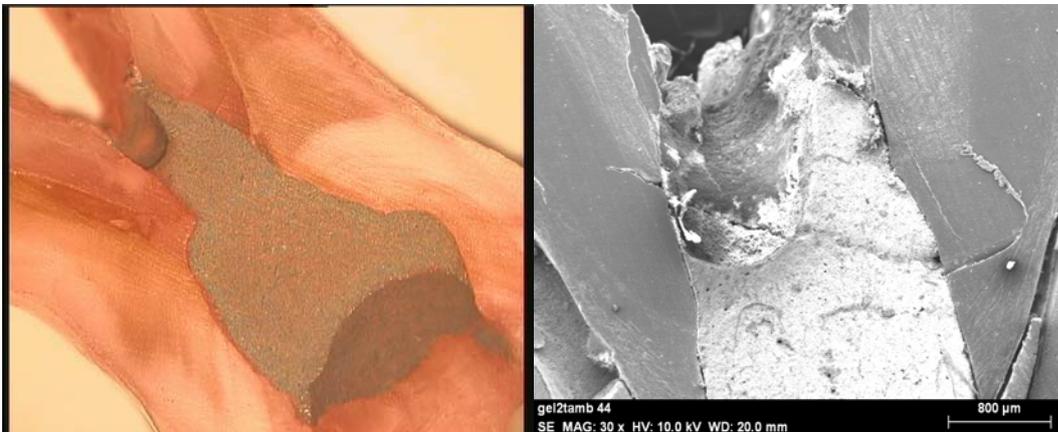


Fig. 35. Muestra 7: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de MTA.

Fig. 36. Muestra 7: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Vista general de la perforación obturada: centro: MTA; detalle del MTA infraobturado.

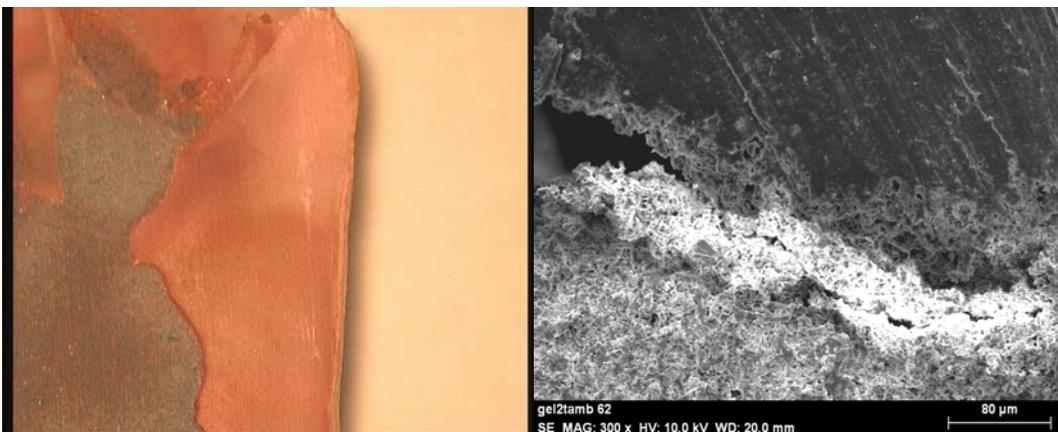


Fig. 37. Muestra 8: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de MTA.

Fig. 38. Muestra 8: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Superior: dentina; centro: zona de desadaptación; inferior: MTA.

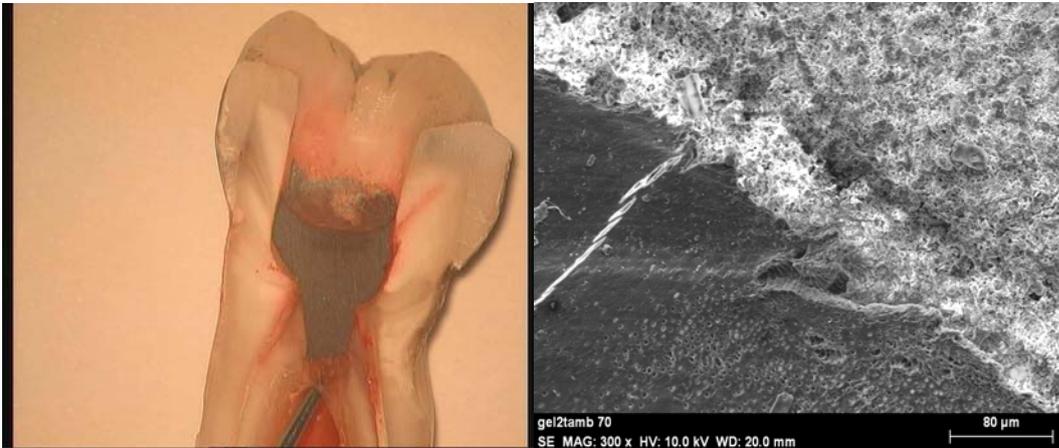


Fig. 39. Muestra 9: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante en toda la obturación de MTA. Detalle del MTA infraobturado.

Fig. 40. Muestra 9: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Una zona de la obturación con el MTA bien adaptado a la dentina: izquierda: dentina; derecha: MTA.

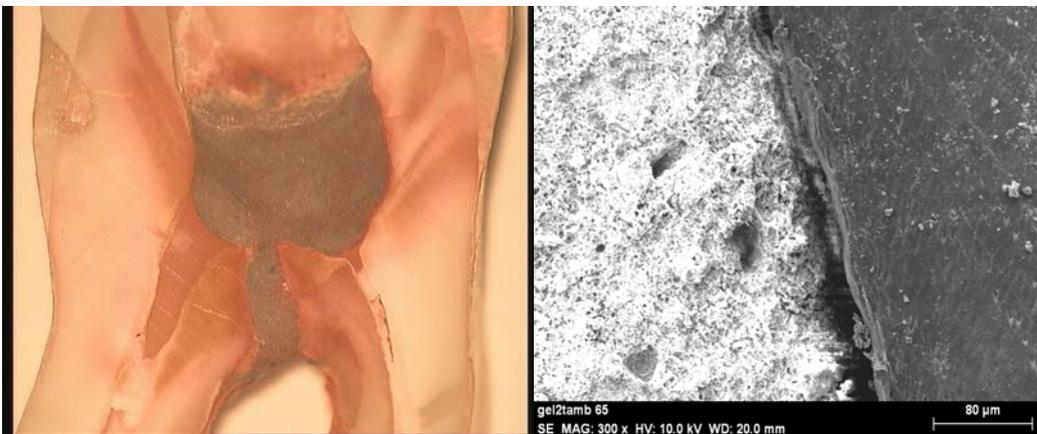


Fig. 41. Muestra 10: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de MTA.

Fig. 42. Muestra 10: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Izquierda: MTA; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.

6.2- IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE

6.2.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES

MICROSCOPIO ÓPTICO			MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE EMISIÓN DE CAMPO 4100
MUESTRA	FILTRACIÓN	OBTURACIÓN	ADAPTACIÓN
1	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO
2	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
3	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
4	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
5	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
6	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
7	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
8	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
9	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADO
10	SÍ	INFRAOBTURADA	NO VALORABLE

6.2.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS

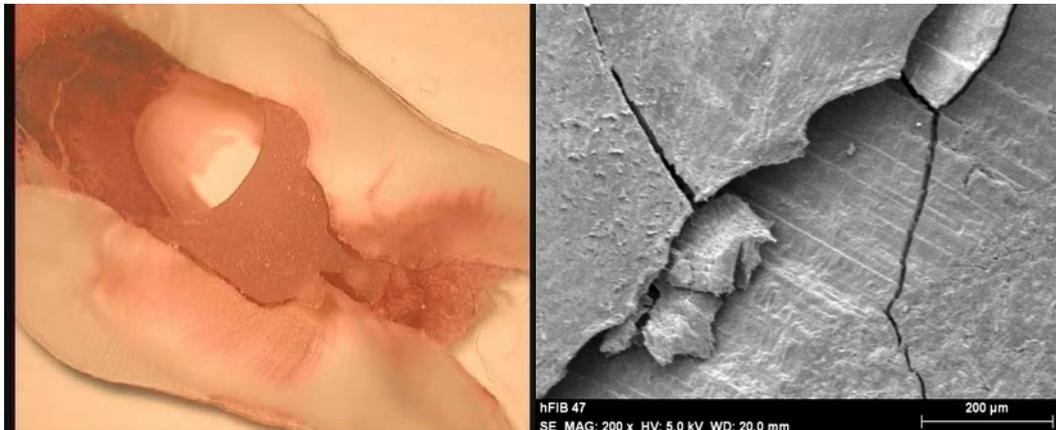


Fig. 43. Muestra 1: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 44. Muestra 1: microscopio electrónico a 200 aumentos.

Izquierda: dentina; centro: zona de desadaptación; derecha: ionómero de vidrio.

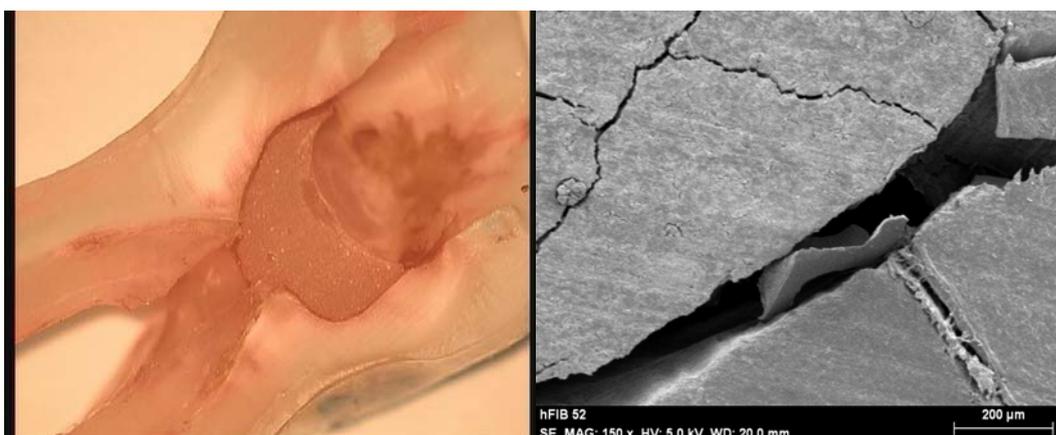


Fig. 45. Muestra 2: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 46. Muestra 2: microscopio electrónico a 150 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.



Fig. 47. Muestra 3: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 48. Muestra 3: microscopio electrónico a 150 aumentos.

Superior: dentina con ionómero de vidrio adherido; centro: zona de desadaptación; inferior: dentina.



Fig. 49. Muestra 4: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 50. Muestra 4: microscopio electrónico a 150 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio; centro: grieta; derecha: dentina.

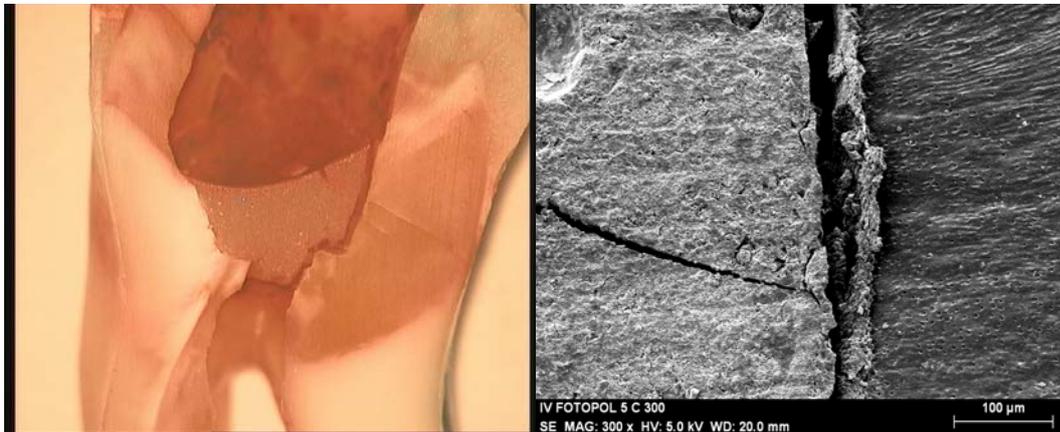


Fig. 51. Muestra 5: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 52. Muestra 5: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.



Fig. 53. Muestra 6: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 54. Muestra 6: microscopio electrónico a 150 aumentos.

Izquierda: dentina; centro: zona de desadaptación; derecha: ionómero de vidrio.

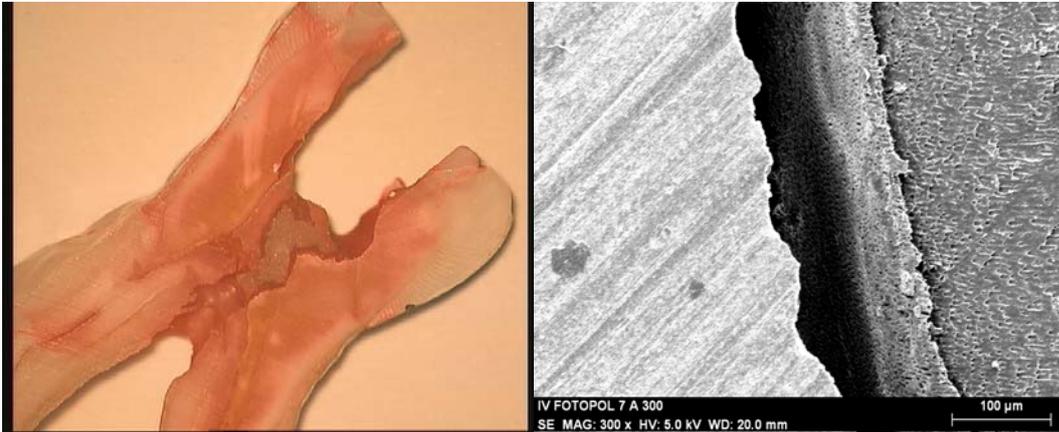


Fig. 55. Muestra 7: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 56. Muestra 7: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.

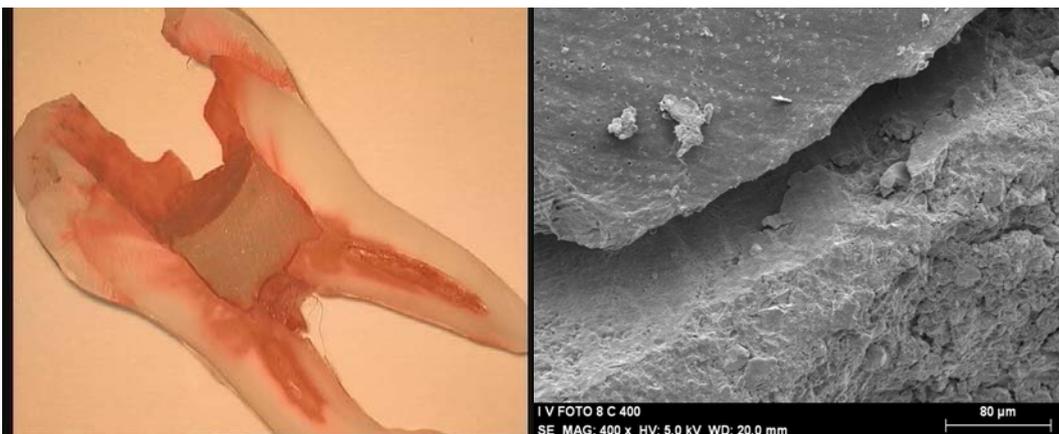


Fig. 57. Muestra 8: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 58. Muestra 8: microscopio electrónico a 400 aumentos.

Superior: dentina; centro: zona de desadaptación; inferior: ionómero de vidrio.

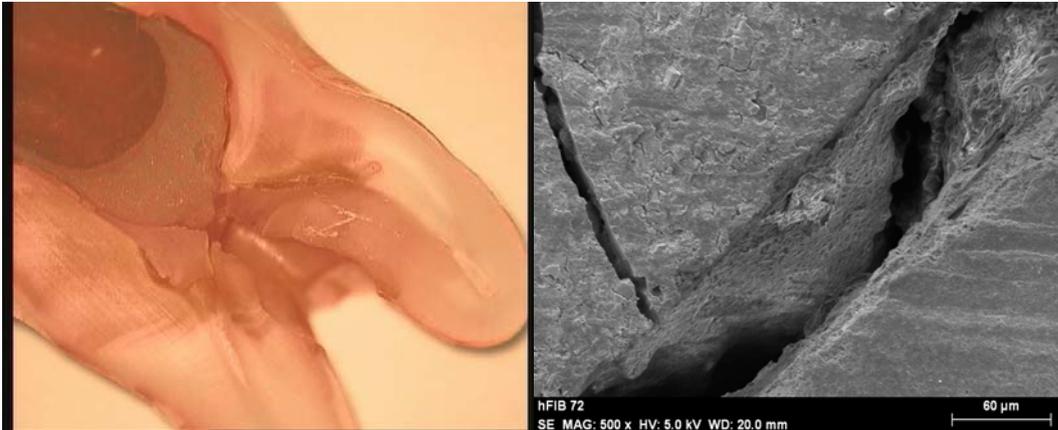


Fig. 59. Muestra 9: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 60. Muestra 9: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio con dentina adherida; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.

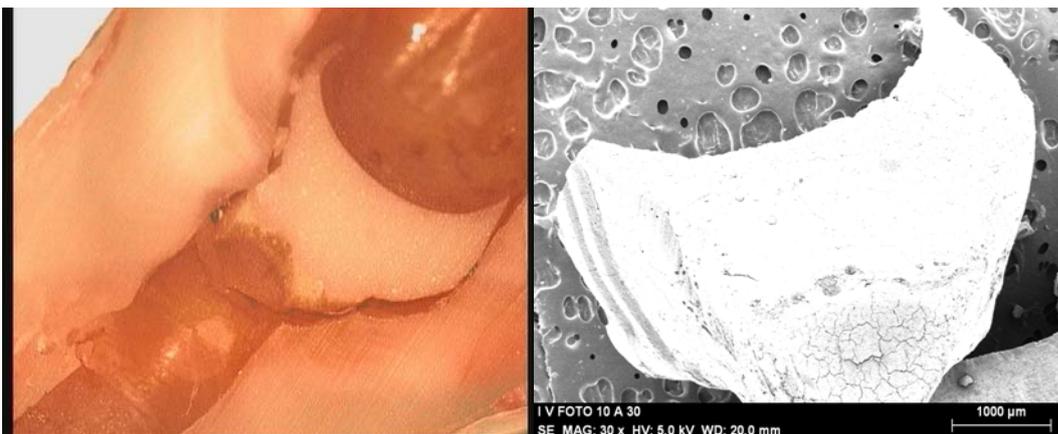


Fig. 61. Muestra 10: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 62. Muestra 10: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Obturación desplazada de la cavidad. Muestra no valorable.

6.3- IONOMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE

6.3.1- TABLA DE RESULTADOS

		MICROSCOPIO ÓPTICO	MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE EMISIÓN DE CAMPO 4100
MUESTRA	FILTRACIÓN	OBTURACIÓN	ADAPTACIÓN
1	SÍ	SOBREOBTURADA	DESADAPTADO
2	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO
3	SÍ	SOBREOBTURADA	DESADAPTADO
4	SÍ	SOBREOBTURADA	DESADAPTADO
5	SÍ	SOBREOBTURADA	DESADAPTADO
6	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO
7	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO
8	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO
9	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO
10	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADO

6.3.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS

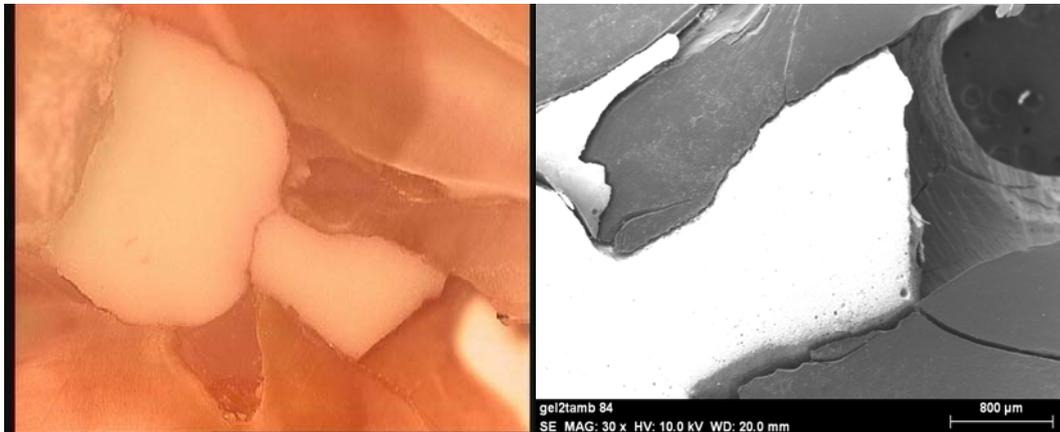


Fig. 63. Muestra 1: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 64. Muestra 1: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Vista general de la obturación de ionómero de vidrio. Detalle de la infraobturación apical.



Fig. 65. Muestra 2: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 66. Muestra 2: microscopio electrónico a 200 aumentos.

Superior: dentina; centro: zona de desadaptación; inferior: ionómero de vidrio (con grieta interna).

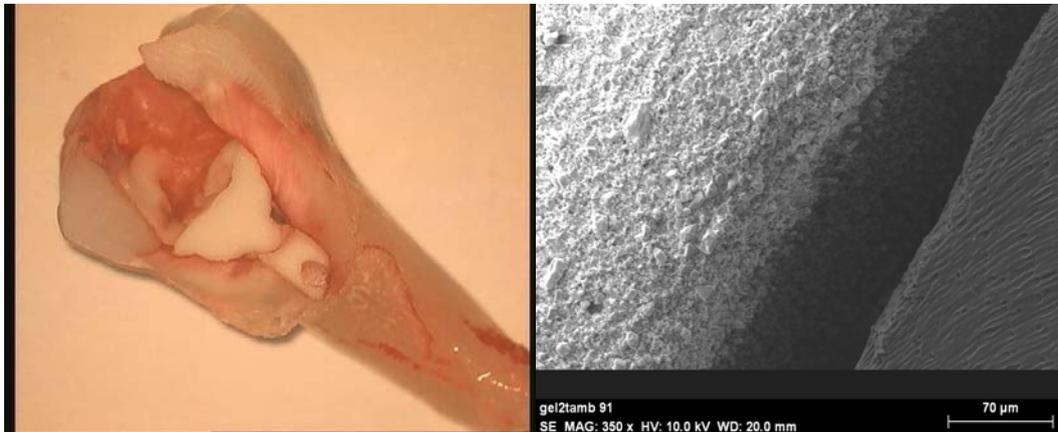


Fig. 67. Muestra 3: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 68. Muestra 3: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina

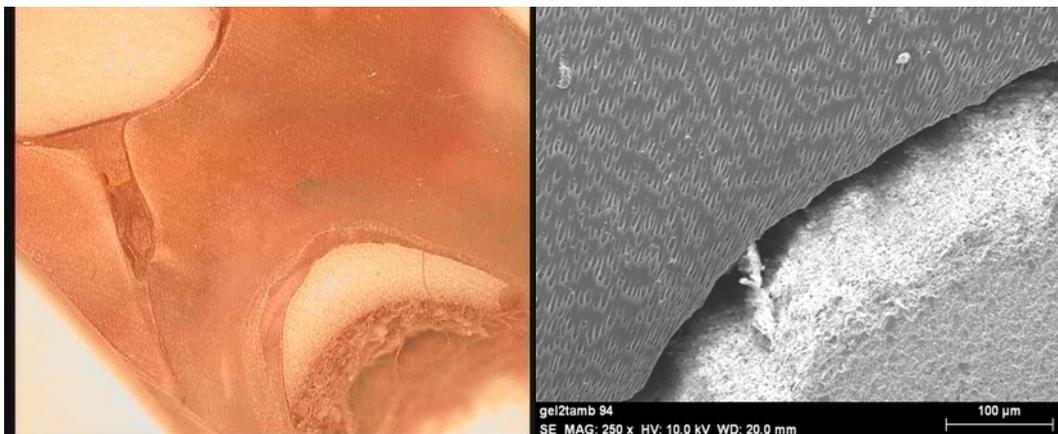


Fig. 69. Muestra 4: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 70. Muestra 4: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Izquierda: dentina; centro: zona de desadaptación; derecha: ionómero de vidrio.

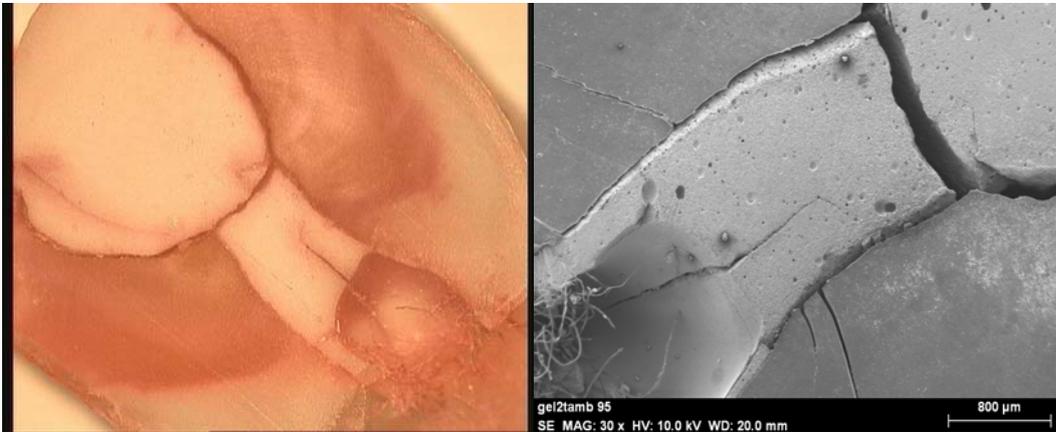


Fig. 71. Muestra 5: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 72. Muestra 5: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Vista general de la obturación: centro: ionómero de vidrio; detalle de la infraobturación. A los laterales: zonas de desadaptación y grieta interna en la obturación de ionómero de vidrio.

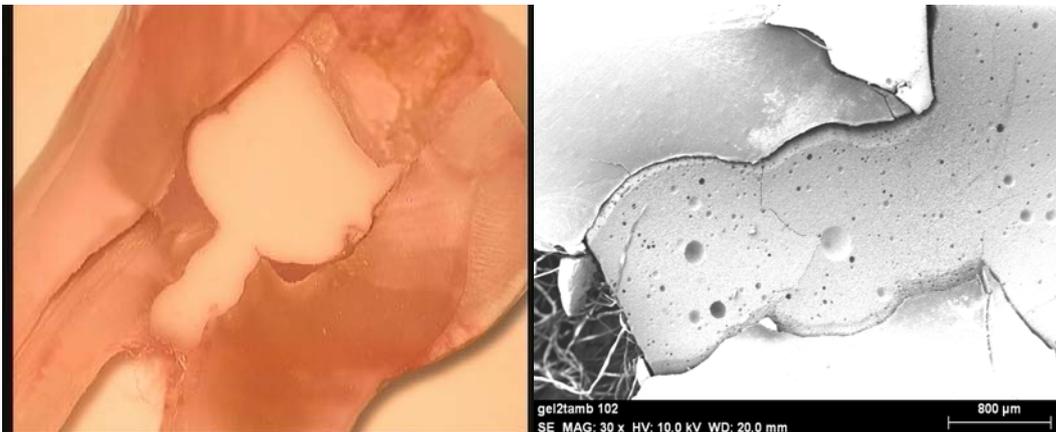


Fig. 73. Muestra 6: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 74. Muestra 6: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Vista general de la obturación: centro: ionómero de vidrio; detalle de la obturación correcta. A los laterales: zonas de desadaptación y grieta interna en la obturación de ionómero de vidrio.



Fig. 75. Muestra 7: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 76. Muestra 7: microscopio electrónico a 900 aumentos.

Zona de adaptación: izquierda: ionómero de vidrio; derecha: dentina.

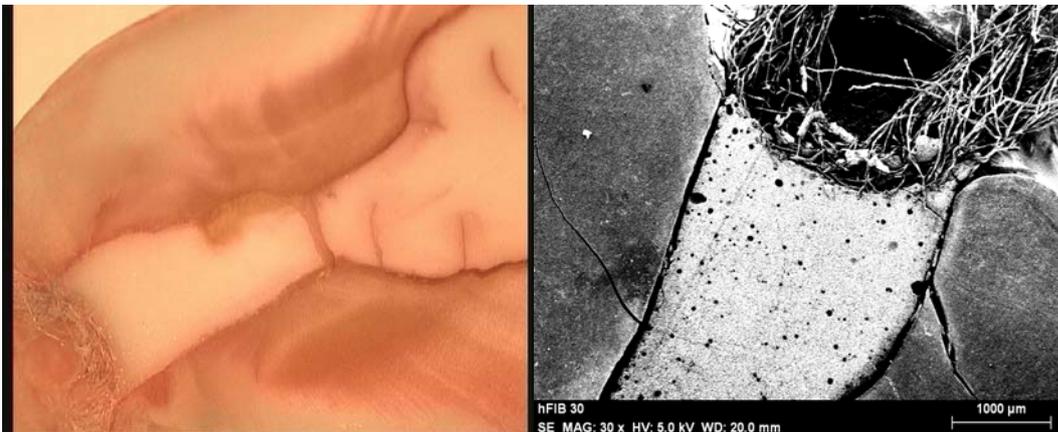


Fig. 77. Muestra 8: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 78. Muestra 8: microscopio electrónico a 30 aumentos.

Obturación correcta en los límites de la dentina apical; grietas de desadaptación a ambos lados del ionómero de vidrio (al centro).



Fig. 79. Muestra 9: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 80. Muestra 9: microscopio electrónico a 700 aumentos.

Izquierda: dentina con fragmentos de ionómero adheridos; centro: zona de desadaptación; derecha: ionómero de vidrio.

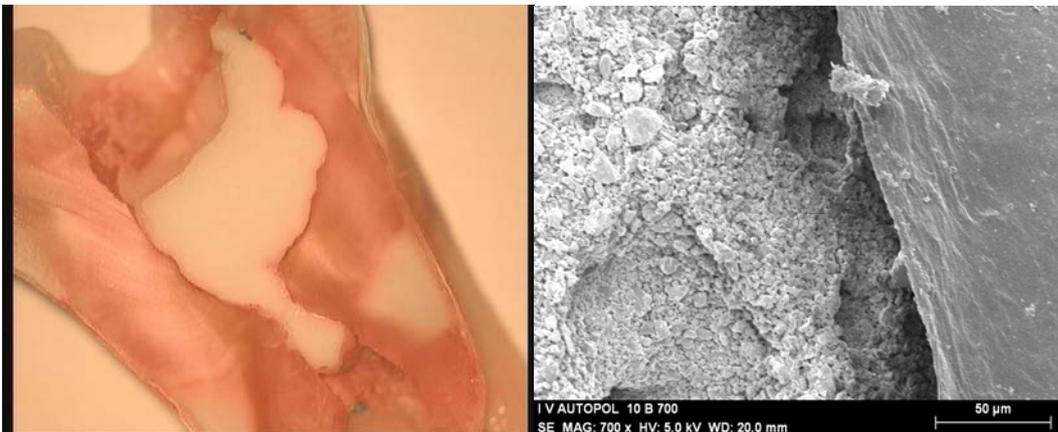


Fig. 81. Muestra 10: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de ionómero de vidrio.

Fig. 82. Muestra 10: microscopio electrónico a 700 aumentos.

Izquierda: ionómero de vidrio; centro: zona de desadaptación; derecha: dentina.

6.4- COMPOSITE FLUIDO

6.4.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES

MUESTRA	MICROSCOPIO ÓPTICO		MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE EMISIÓN DE CAMPO 4100
	FILTRACIÓN	OBTURACIÓN	ADAPTACIÓN
1	NO FILTRADA	CORRECTA	ADAPTADA
2	SÍ	CORRECTA	ADAPTADA
3	SÍ	CORRECTA	ADAPTADA
4	NO FILTRADA	SOBREOBTURADA	ADAPTADA
5	NO FILTRADA	CORRECTA	ADAPTADA
6	NO FILTRADA	CORRECTA	DESADAPTADA
7	NO FILTRADA	CORRECTA	ADAPTADA
8	NO VALORABLE	NO VALORABLE	NO VALORABLE
9	NO FILTRADA	CORRECTA	DESADAPTADA
10	NO VALORABLE	NO VALORABLE	NO VALORABLE

6.4.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS

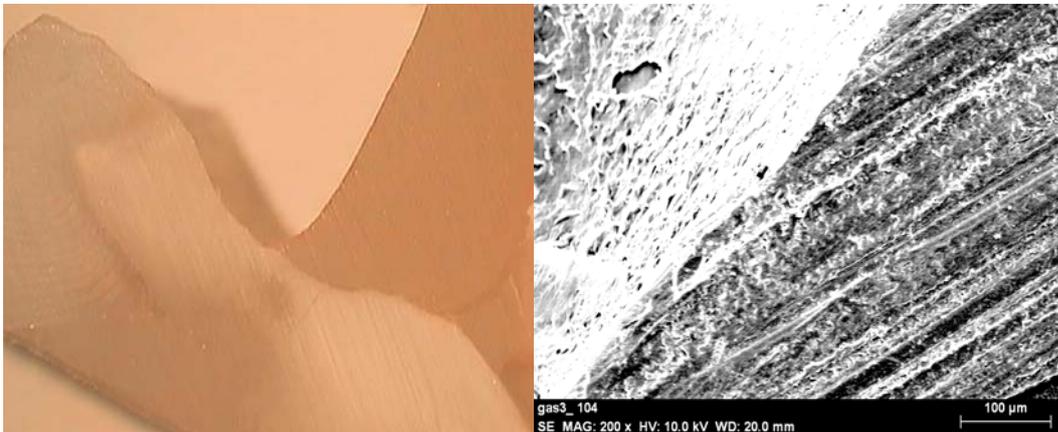


Fig. 83. Muestra 1: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

No filtración de colorante.

Fig. 84. Muestra 1: microscopio electrónico a 200 aumentos.

Interfase bien sellada: superior: composite; inferior: dentina.

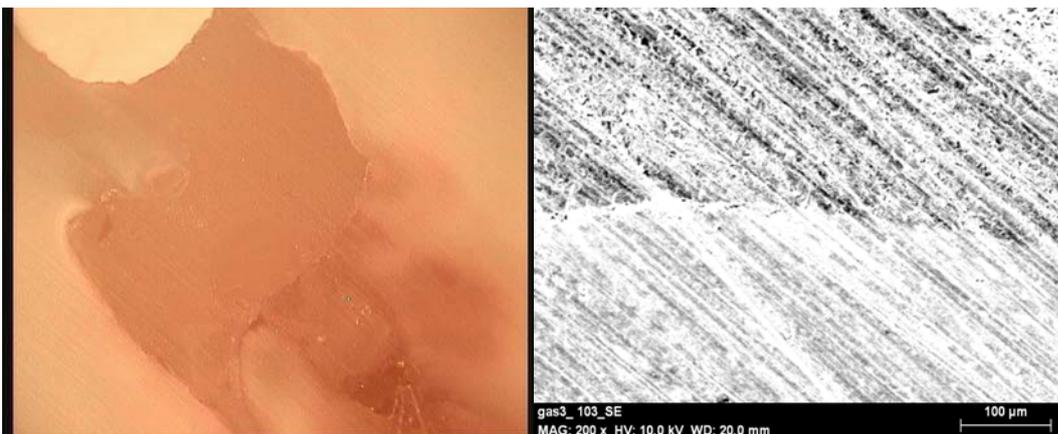


Fig. 85. Muestra 2: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante sólo en la zona más apical de la obturación.

Fig. 86. Muestra 2: microscopio electrónico a 200 aumentos.

Interfase bien sellada: superior: dentina; inferior: composite.

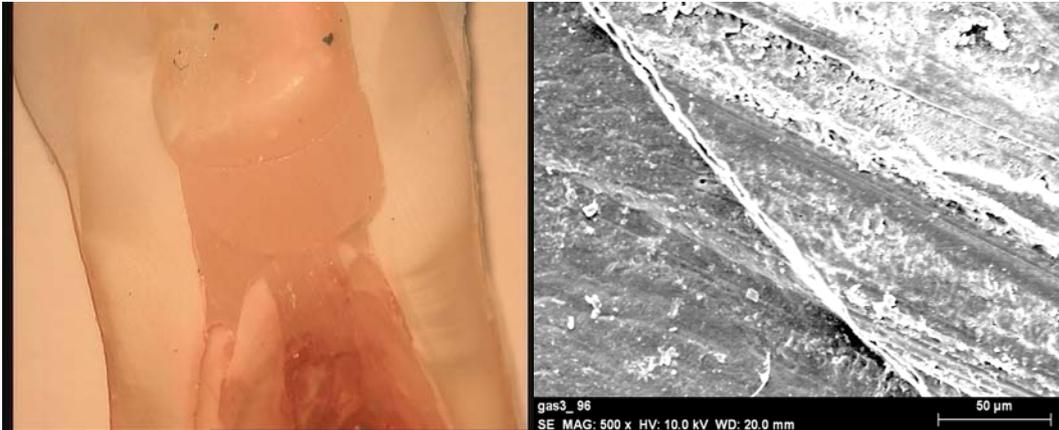


Fig. 87. Muestra 3: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante sólo en la zona más apical de la obturación.

Fig. 88. Muestra 3: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Interfase bien sellada: izquierda: dentina; derecha: composite.

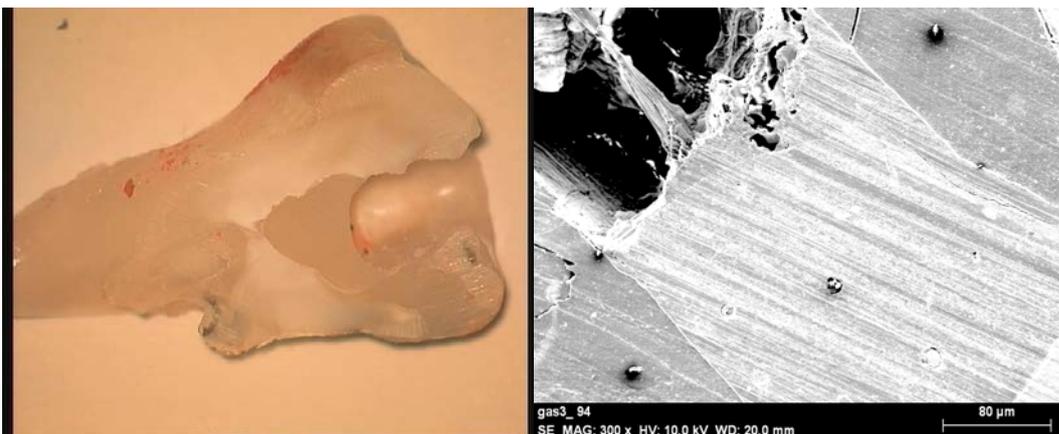


Fig. 89. Muestra 4: microscopio óptico a 1 aumento.

No filtración de colorante.

Fig. 90. Muestra 4: microscopio electrónico a 40 aumentos.

Visión general de la obturación; centro: composite; a ambos lados: dentina.

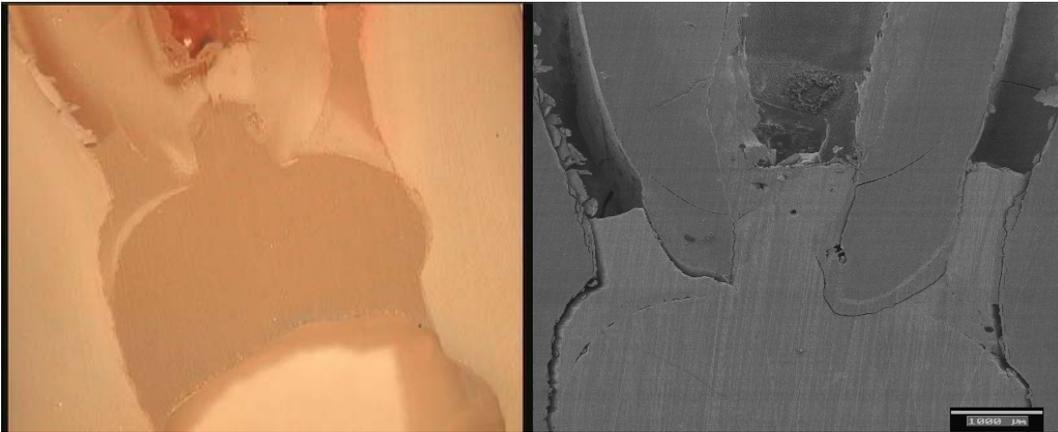


Fig. 91. Muestra 5: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

No filtración de colorante.

Fig. 92. Muestra 5: microscopio electrónico a 20 aumentos.

Visión general de la obturación; centro: composite; a ambos lados: dentina.

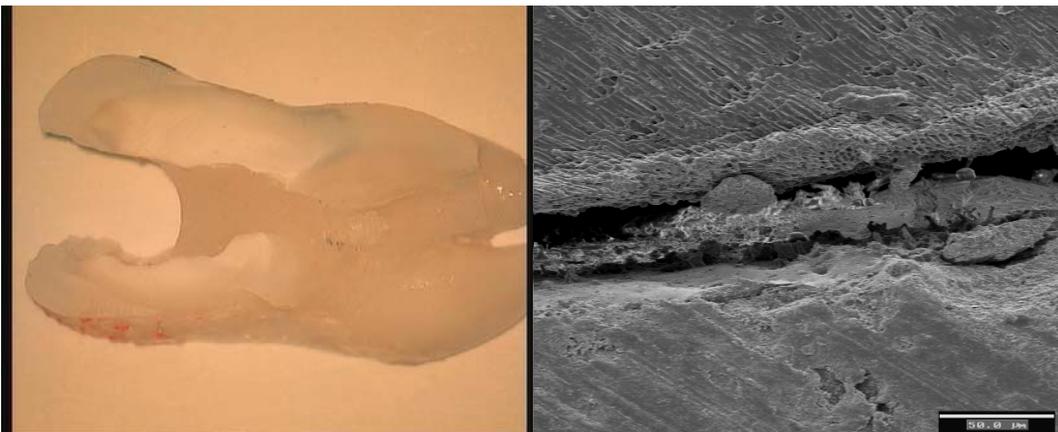


Fig. 93. Muestra 6: microscopio óptico a 1 aumento.

No filtración de colorante.

Fig. 94. Muestra 6: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Interfase mal sellada: superior: dentina; centro: zona de desadaptación; inferior: composite.

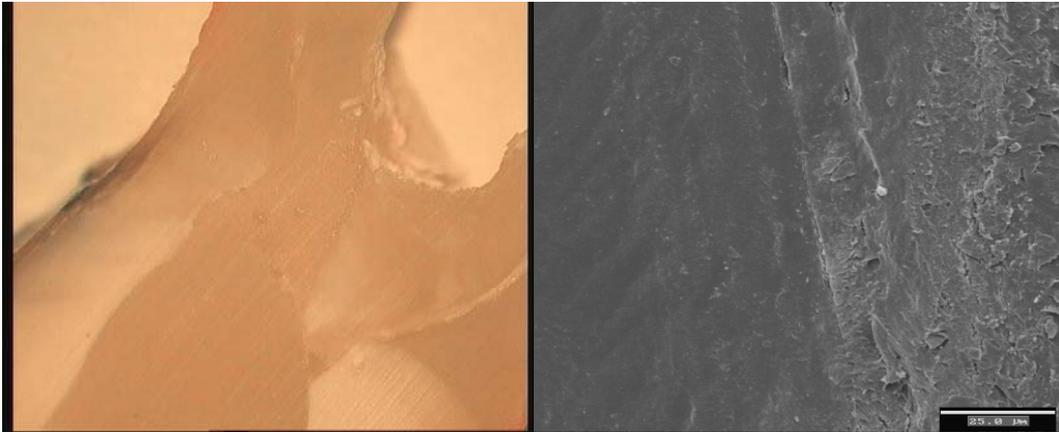


Fig. 95. Muestra 7: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Sin filtración de colorante.

Fig. 96. Muestra 7: microscopio electrónico a 1000 aumentos.

Interfase bien sellada: izquierda: dentina; derecha: composite.

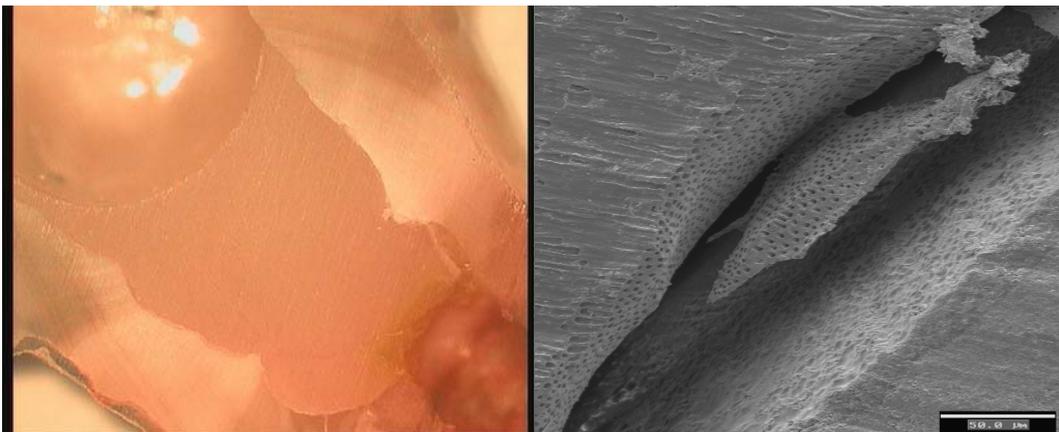


Fig. 97. Muestra 9: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Sin filtración de colorante.

Fig. 98. Muestra 9: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Izquierda: dentina; centro: grieta con dentina desprendida; derecha: composite.

5- COMPOSITE CONVENCIONAL

6.5.1- TABLA DE RESULTADOS GENERALES

	MICROSCOPIO ÓPTICO		MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE EMISIÓN DE CAMPO 4100
MUESTRA	FILTRACIÓN	OBTURACIÓN	ADAPTACIÓN
1	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADA
2	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADA
3	NO	CORRECTA	DESADAPTADA
4	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADA
5	SI	CORRECTA	DESADAPTADA
6	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADA
7	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADA
8	SÍ	INFRAOBTURADA	DESADAPTADA
9	SÍ	CORRECTA	ADAPTADA
10	SÍ	CORRECTA	DESADAPTADA

6.5.2- IMÁGENES OBTENIDAS CON EL MICROSCOPIO ÓPTICO Y CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO DE TODOS LOS ESPECÍMENES ESTUDIADOS

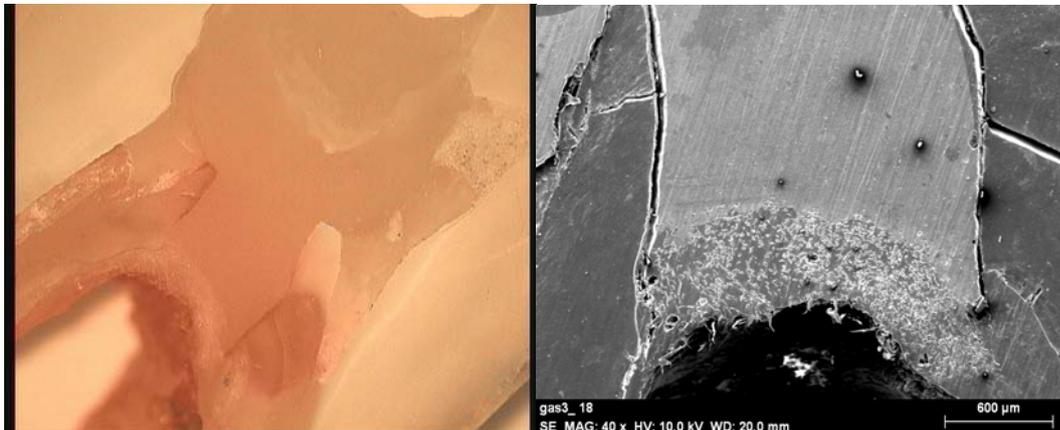


Fig. 99. Muestra 1: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración colorante localizada en la zona de la perforación.

Fig. 100. Muestra 1: microscopio electrónico a 40 aumentos.

Vista general de la perforación obturada: centro: composite; a ambos lados: grietas de desadaptación y, a continuación, la dentina.

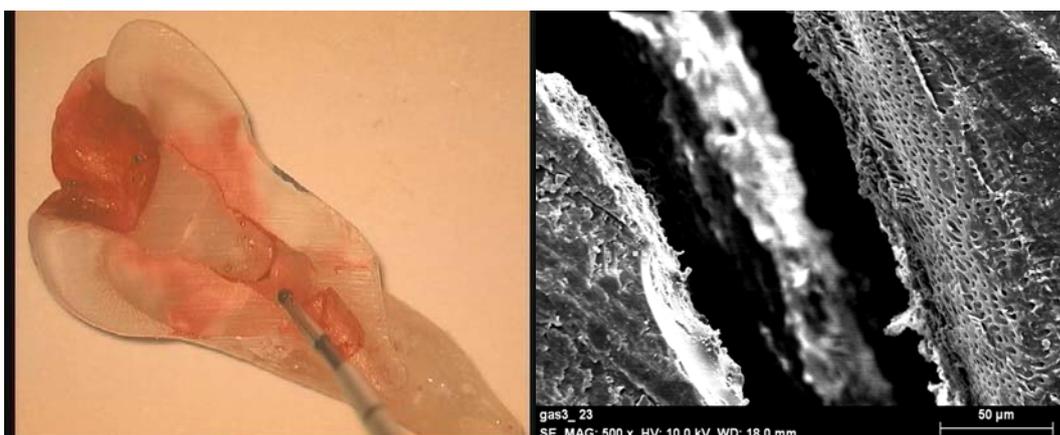


Fig. 101. Muestra 2: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 102. Muestra 2: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Izquierda: composite; centro: grieta; derecha: dentina.



Fig. 103. Muestra 3: microscopio óptico a 1 aumento.

No filtración de colorante.

Fig. 104. Muestra 3: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Zona de adaptación: a la izquierda: dentina; centro: pequeña grieta; a la derecha: composite.



Fig. 105. Muestra 4: microscopio óptico a 1 aumento.

Filtración de colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 106. Muestra 4: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Superior: dentina; centro: grieta; inferior: composite.

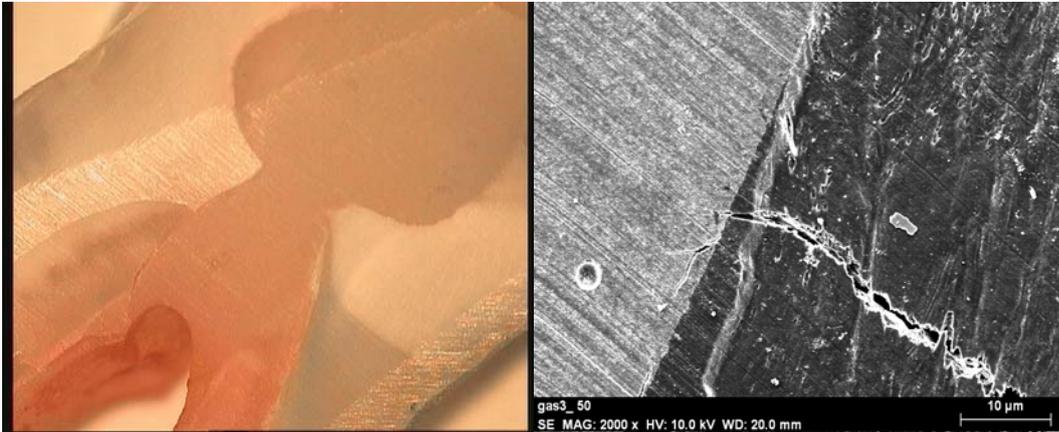


Fig. 107. Muestra 5: microscopio óptico 2,5 aumentos.

Filtración de colorante sólo en la zona apical de la perforación.

Fig. 108. Muestra 5: microscopio electrónico a 250 aumentos.

Una zona de buena adaptación composite-dentina: izquierda composite; derecha: dentina.

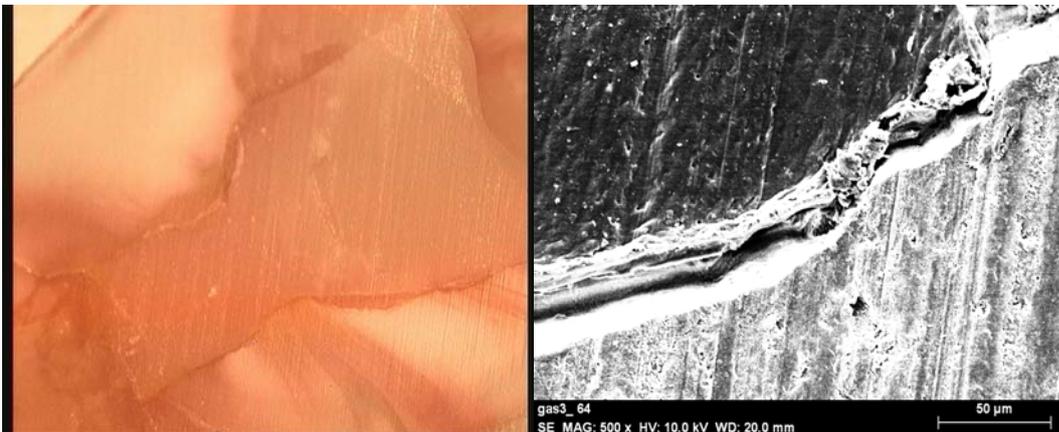


Fig. 109. Muestra 6: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración del colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 110. Muestra 6: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Mala adaptación: superior: dentina; centro: grieta; inferior: composite.

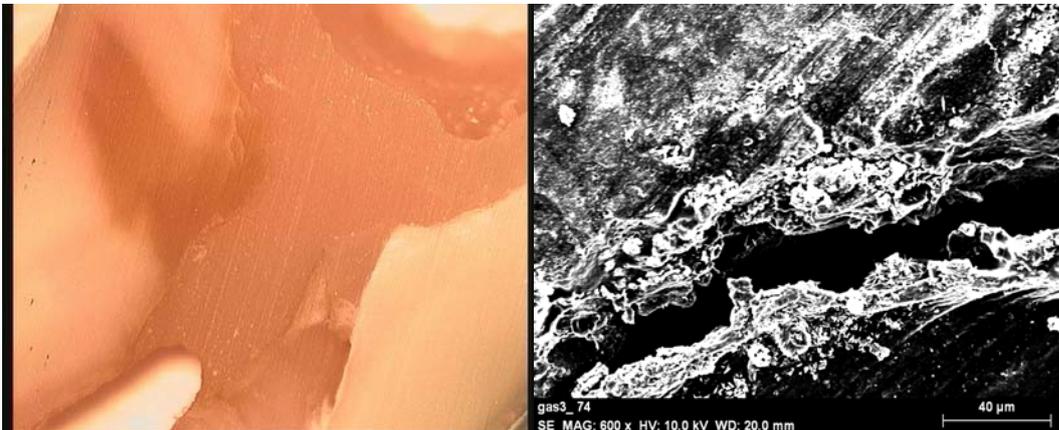


Fig. 111. Muestra 7: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 112. Muestra 7: microscopio electrónico a 600 aumentos.

Mala adaptación: superior: composite; centro: grieta; inferior: dentina.

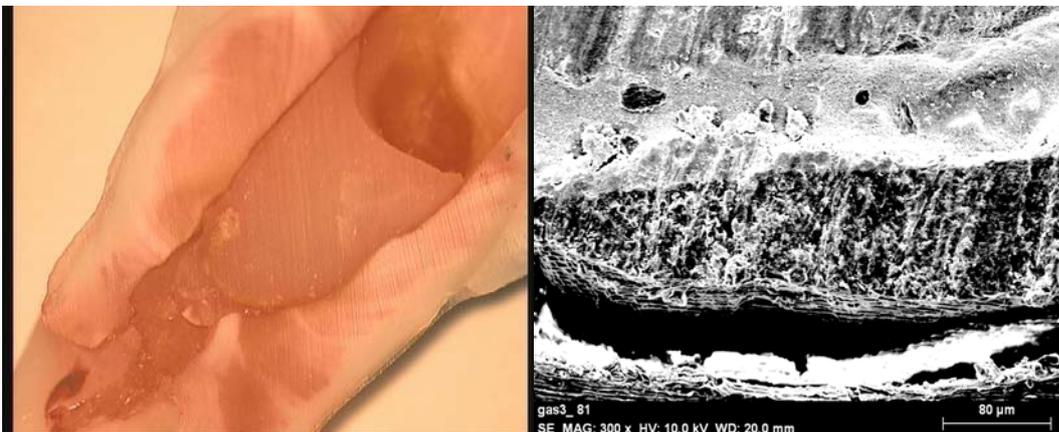


Fig. 113. Muestra 8: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 114. Muestra 8: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Mala adaptación: desde arriba: composite-adhesivo dentinario-dentina arrancada-grieta-dentina.

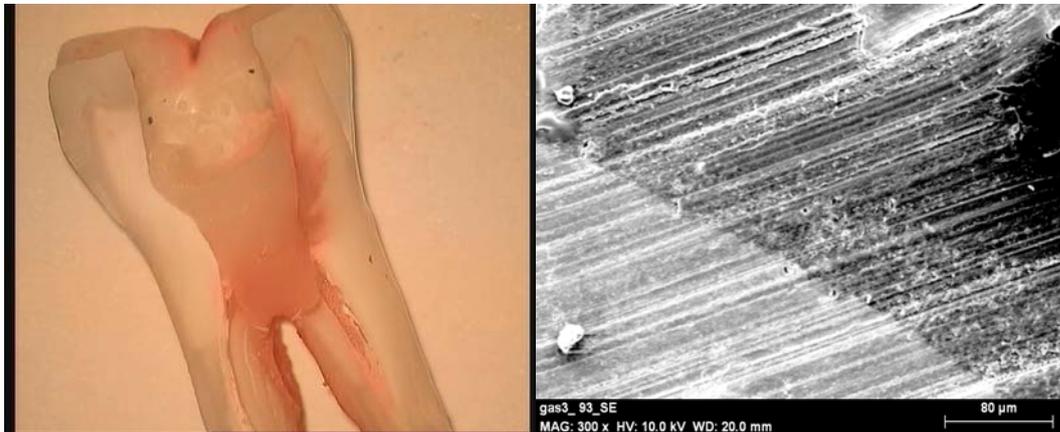


Fig. 115. Muestra 9: microscopio óptico a 1,6 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 116. Muestra 9: microscopio electrónico a 300 aumentos.

Buena adaptación composite-dentina: izquierda: composite; derecha: dentina.

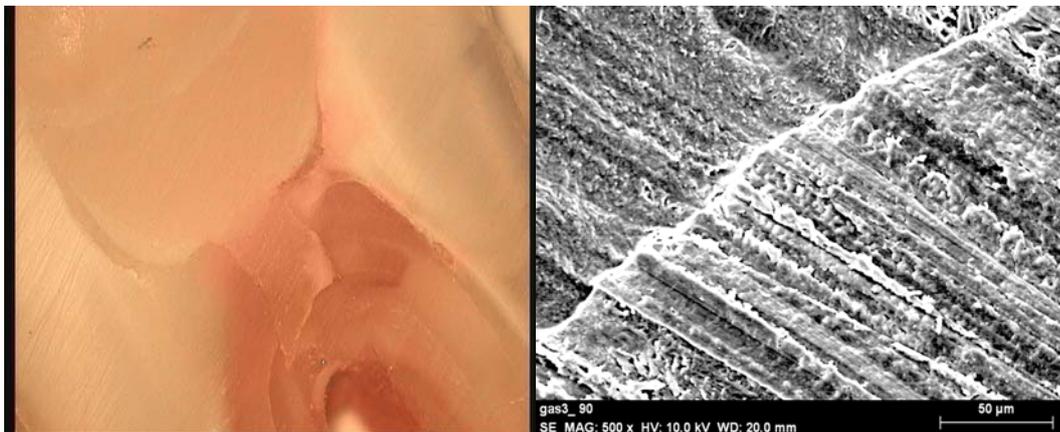


Fig. 117. Muestra 10: microscopio óptico a 2,5 aumentos.

Filtración de colorante en toda la obturación de composite.

Fig. 118. Muestra 10: microscopio electrónico a 500 aumentos.

Una zona de buena adaptación: superior: dentina; centro: zona de unión; inferior: composite.

6.6- CONTROL POSITIVO

Todas las muestras filtraron



Fig. 119: microscopio óptico a 1 aumento

Muestra 1 filtrada



Fig. 120: microscopio óptico a 1,6 aumentos

Muestra 2 filtrada

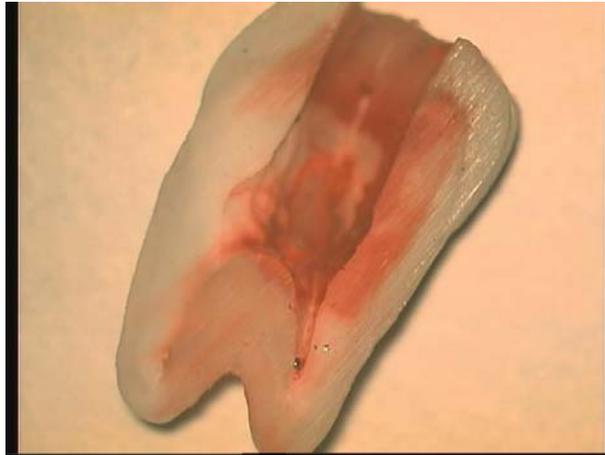


Fig. 121: microscopio óptico a 1,6 aumentos
Muestra 3 filtrada

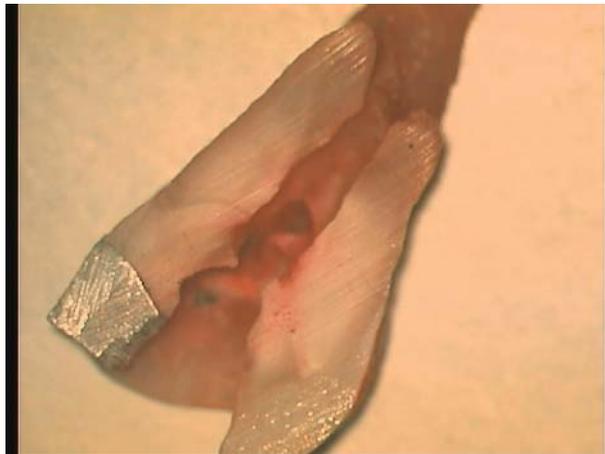


Fig. 122: microscopio óptico a 1,6 aumentos
Muestra 5 filtrada

6.7- CONTROL NEGATIVO

Ninguna muestra filtró.



Fig. 123: microscopio óptico a 1,6 aumentos
Muestra 1 no filtrada

6.8- DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de filtración de colorante se resumen en la siguiente tabla:

MATERIAL DE OBTURACIÓN	MUESTRAS CON FILTRACIÓN DE COLORANTE									
GRUPO 1: MTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRUPO 2: IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRUPO 3: IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRUPO 4: COMPOSITE FLUIDO		2	3					NO VALORABLE		NO VALORABLE
GRUPO 5: COMPOSITE CONVENCIONAL	1	2		4	5	6	7	8	9	10
CONTROL POSITIVO	1	2	3	4	5					
CONTROL NEGATIVO										

Las muestras número 8 y 10 del composite fluido no pudieron ser valoradas porque se fracturaron al recortar las muestras en la recortadora.

En las muestras filtradas de composite fluido (2 y 3) y en las muestras número 1, 5 y 10 del composite convencional, el colorante sólo filtró la zona más apical de la perforación.



Fig. 124

Fig. 124: Muestra 3 de composite fluido a 2,5 aumentos

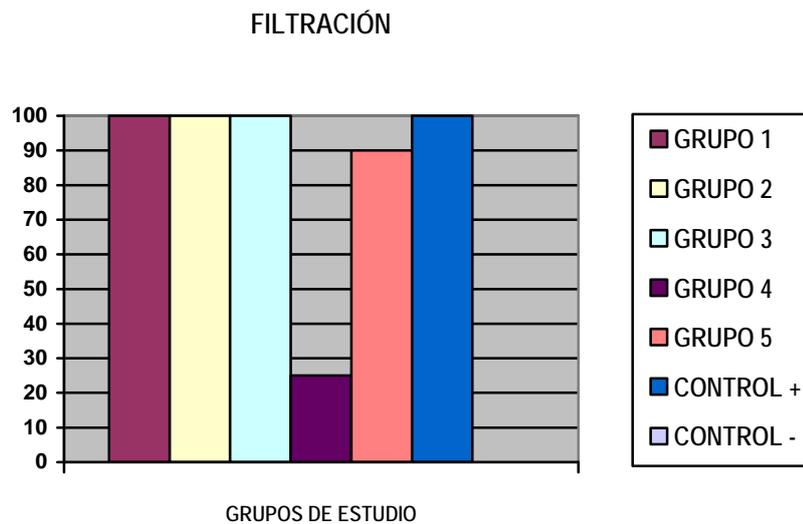


Fig. 125

Fig. 125: Muestra 1 de composite convencional a 1,6 aumentos

Mientras que en las muestras filtradas de MTA, ambos ionómeros de vidrio y resto de molares filtrados del composite convencional, la filtración se extendió a lo largo de todo el material de reparación.

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de filtración de los grupos de estudio ($p < 0,001$):



Gráfica 1: porcentaje de filtración de los grupos de estudio

En la gráfica observamos que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos 1, 2 y 3 (MTA, ionómero de vidrio fotopolimerizable y ionómero de vidrio autopolimerizable), con un 100% de filtración de colorante cada uno, pero sí entre estos y el grupo 4 (composite fluido), con un 25% de filtración, y el grupo 5 (composite convencional), con un 90% de filtración, que también muestran diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Tan sólo las muestras obturadas con MTA presentaron filtración de colorante en el interior del cemento, excepto la muestra 7, que sí presentó filtración de colorante entre el material de reparación y las paredes de dentina, pero no dentro del MTA.

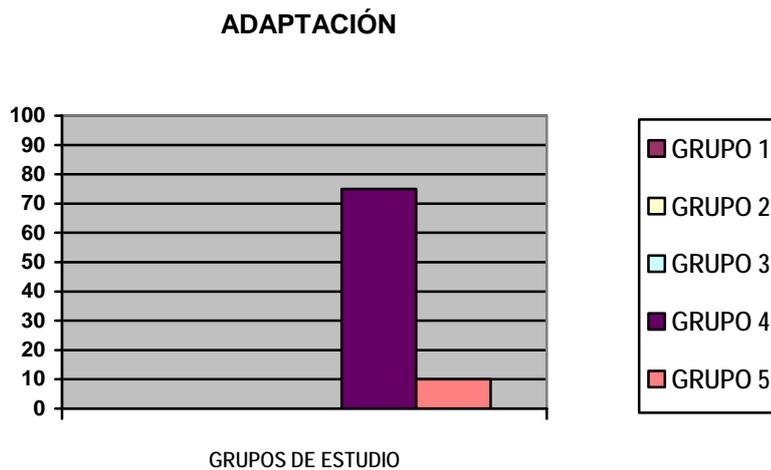


Fig. 126: Muestra 7 obturada con MTA y sin colorante en el interior del mismo

Las muestras que mostraron correcta adaptación del material a las paredes de dentina fueron:

MATERIAL DE OBTURACIÓN	MUESTRAS CON ADAPTACIÓN CORRECTA MATERIAL-DENTINA					
	1	2	3	4	5	7
COMPOSITE FLUIDO						
COMPOSITE CONVENCIONAL	9					

La siguiente gráfica nos muestra el porcentaje de adaptación correcta de los grupos de estudio a las paredes de la dentina ($p < 0,0001$):



Gráfica 2: porcentaje de adaptación correcta de los materiales de obturación a las paredes de la dentina

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos 1, 2 y 3 (MTA, ionómero de vidrio fotopolimerizable y ionómero de vidrio autopolimerizable), con 0% de muestras bien adaptadas, pero sí entre estos y el grupo 4 (composite fluido), con un 75% de muestras bien adaptadas, y el grupo 5 (composite convencional) con un 10% de muestras bien adaptadas), que también muestran diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Algunas muestras consideradas mal adaptadas mostraron también zonas con buena adaptación o zonas en las que al menos las grietas no fueron evidentes por la posición de la muestra en el microscopio electrónico:

MATERIAL DE OBTURACIÓN	MUESTRAS MAL ADAPTADAS CON ALGUNA ZONA DE ADAPTACIÓN CORRECTA MATERIAL DE OBTURACIÓN-DENTINA					
	1	2	3	4	7	9
MTA						
IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE						
IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE	7					
COMPOSITE FLUIDO	6					
COMPOSITE CONVENCIONAL	5	8	10			

En las muestras de composite fluido número 2 y 3 y composite convencional número 9 sí existió filtración de colorante evidente pero, al observar las muestras al microscopio electrónico, sólo encontramos zonas de correcta adaptación entre la dentina y el material de obturación.

Por el contrario, hubo muestras en las que no hayamos filtración y sí desadaptación dentina-material de obturación:

MATERIAL DE OBTURACIÓN	MUESTRAS CON DESADAPTACIÓN Y SIN FILTRACIÓN	
	COMPOSITE FLUIDO	6
COMPOSITE CONVENCIONAL	3: Grieta muy estrecha. Quizá demasiado para ser filtrada por el tamaño de las moléculas del colorante	

Respecto a la permanencia del material de obturación en los límites de la cavidad, los resultados fueron los siguientes:

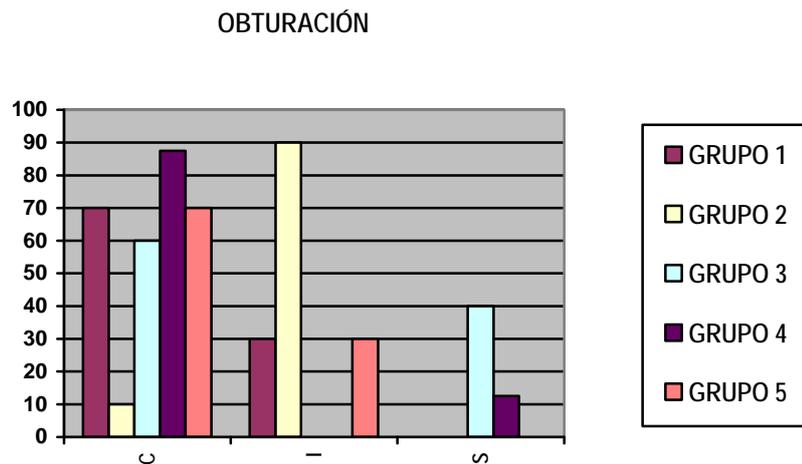
C: CORRECTA (DENTRO DE LOS LÍMITES DE LA CAVIDAD)

I: INFRAOBTURADA (POR DEBAJO DE LOS LÍMITES DE LA CAVIDAD)

S: SOBROBTURADA (POR FUERA DE LOS LÍMITES DE LA CAVIDAD)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MTA	C	C	C	C	C	I	I	C	I	C
IONÓMERO DE VIDRIO FOTOPOLIMERIZABLE	C	I	I	I	I	I	I	I	I	I
IONÓMERO DE VIDRIO AUTOPOLIMERIZABLE	S	C	S	S	S	C	C	C	C	C
COMPOSITE FLUIDO	C	C	C	S	C	C	C	NO VALORABLE	C	NO VALORABLE
COMPOSITE CONVENCIONAL	C	I	C	I	C	C	C	I	C	C

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de materiales con permanencia en los límites de la cavidad (C), con infraobtención (I) y con sobreobtención (S) ($p < 0,0001$):



Gráfica 3: niveles de permanencia de la obturación en los límites de la cavidad

La gráfica nos muestra diferencias estadísticamente significativas entre todos los materiales entre sí y dentro del mismo grupo, excepto en las muestras infraobturadas, donde el MTA y el composite convencional presentan un valor del 30%.

En las muestras de ionómero de vidrio autopolimerizable número 1, 2, 5 y 8 hayamos grietas internas en el propio material de obturación que podrían haberse producido durante la manipulación del material, de forma que hubiera habido alguna interrupción en la salida del cemento de la cápsula durante el vertido del mismo en la cavidad:



Fig. 127: Muestra 1. Grieta interna en el ionómero de vidrio autopolimerizable

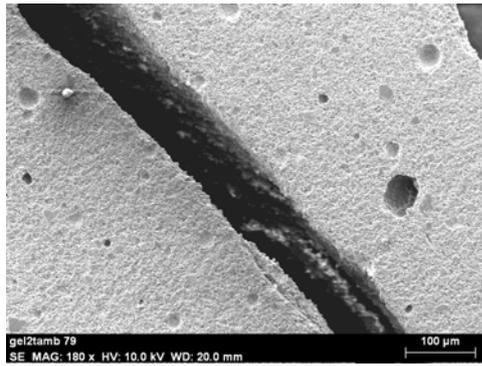


Fig. 128: Muestra 2. Grieta en el interior del ionómero de vidrio autopolimerizable

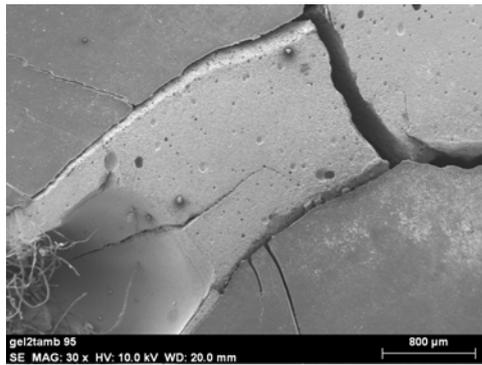


Fig. 129. Muestra 5. Grieta en el interior del ionómero de vidrio autopolimerizable

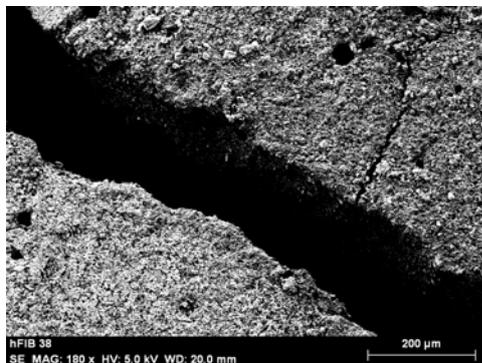


Fig. 130. Muestra 8: Grieta en el interior del ionómero de vidrio autopolimerizable

Asimismo, hayamos grietas internas en las obturaciones de ionómero de vidrio fotopolimerizable de las muestras número 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 9.

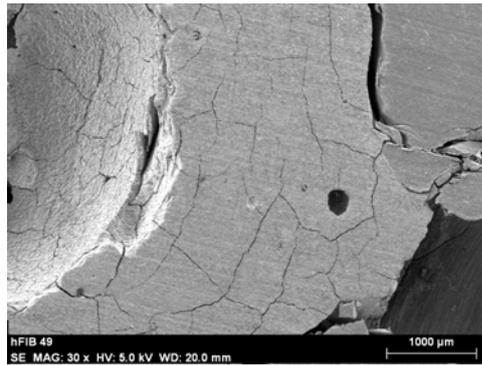


Fig. 131. Muestra 2: Grietas internas en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable

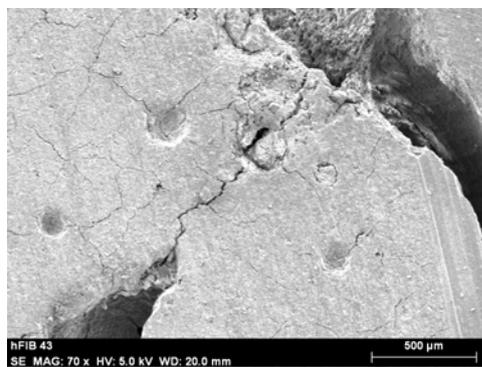


Fig. 132. Muestra 3: Grietas internas en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable

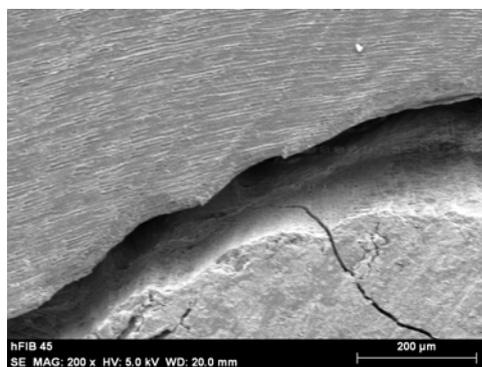


Fig. 133. Muestra 4: Grieta interna en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable (inferior)

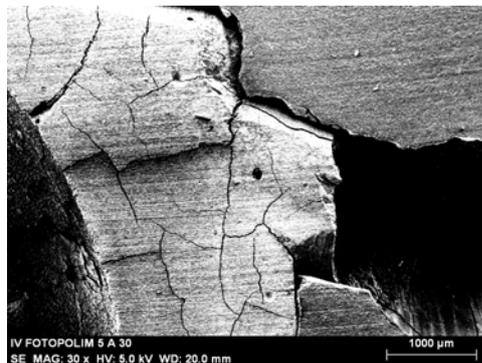


Fig. 134. Muestra 5. Grietas internas en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable

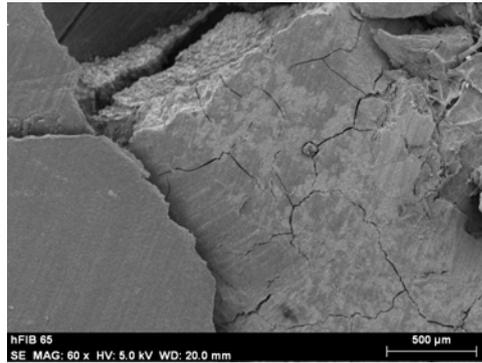


Fig. 135. Muestra 7. Grietas internas en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable

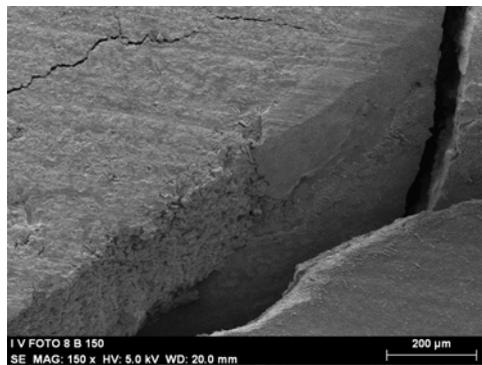


Fig. 136. Muestra 8. Grieta interna en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable

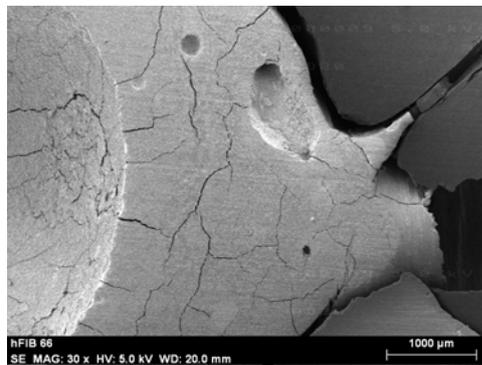


Fig. 137. Muestra 9. Grietas internas en la obturación de ionómero de vidrio fotopolimerizable

7

Discusión

7.1- DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Nuestros dientes estuvieron conservados en formol hasta el momento de empezar el estudio. Las soluciones de formol al 10% o su equivalente, formaldehído al 4%, han sido utilizadas durante más de 100 años para fijar los tejidos, puesto que reaccionan fácilmente con los ácidos nucleicos de las glicoproteínas y con los polisacáridos alterando las características físicas de los tejidos, produciendo cambios en su conformación, alterando las membranas celulares y la organización mitocondrial [Fox y cols. 1985]. Generalmente, el efecto del formol en dientes exodonciados ha sido investigado en estudios de adhesión y permeabilidad dentinaria. Así, Goodis y cols. (1991) demostraron que el formol al 10% incrementó la permeabilidad dentinaria a lo largo del tiempo. En otro estudio, Haller y cols. (1993) observaron que la microfiltración de restauraciones de clase V disminuyó en dientes que estuvieron inmersos en formol al 10% durante 3-4 semanas en comparación con los dientes que se mantuvieron frescos. Cooley y cols. (1989) mostraron como la fuerza de adhesión dentinaria disminuyó en los dientes que se mantuvieron en fresco comparados con los que estuvieron en formol al 10% durante diferentes periodos de tiempo. Por eso, basándose en los efectos variables que se producían en la fuerza de adhesión a la dentina, DeWald y cols. (1997) recomiendan que el formol al 10% no sea utilizado para conservar los dientes que vayan a ser sometidos a un estudio de adhesión dentinaria.

Pichardo y cols. (2006) quisieron determinar si mantener los dientes en formol al 10% afectaba a la capacidad de sellado apical de MTA, Geristore y SuperEBA. Los dientes obturados con Geristore mostraron los mismos resultados en las muestras que se encontraban en fresco y en las que estuvieron inmersas en formol al 10%, mientras que los especímenes obturados con MTA y SuperEBA conservados en formol al 10% presentaron menor filtración, lo que coincide con los estudios previos que muestran un incremento en la fuerza de adhesión y disminución de la microfiltración de materiales de restauración en dientes conservados en formol al 10% [Haller y cols., 1993; Cooley y cols., 1989]. También George y cols. (2006) obtuvieron menor filtración en las muestras obturadas con gutapercha y cemento sellador que habían estado conservadas en formol al 10% durante 4 semanas.

En las muestras de MTA se observaron unas marcas grises en la interfase MTA-gutapercha y en la zona apical, bien diferenciadas de la filtración de colorante, que apareció más oscura. Esto puede ser por la interacción del formol con los iones de Ca, Si, Bi, Fe, Al y Mg, ya que en las muestras conservadas en fresco no se observa.

No está clara la reacción exacta que produce una disminución en la penetración de colorante en las muestras conservadas en formol. Podría ser que afectara la estructura terciaria y cuaternaria

de las proteínas alterando su carga eléctrica y produciendo un cambio en su conformación [Puchtler y cols., 1985].

El estudio evidenció el hecho de que los dientes conservados en formol al 10% obtienen resultados distintos de filtración que los dientes mantenidos frescos.

A pesar de que la observación con microscopio electrónico es un método rutinario y apto para la observación de la adaptación marginal, presenta varios inconvenientes. Es un fenómeno de superficie y no puede representar la adaptación de 2 superficies en 3 dimensiones. La preparación de las muestras biológicas antes de la observación, puede asociarse con la introducción de artefactos. La evaporación en la máquina de vacío puede causar grietas en las muestras de tejido duro y separación del material de obturación de la superficie dentaria por deshidratación de la misma [Shipper y cols., 2004]. Además, se produce expansión y/o contracción del diente y/o del material de obturación. También, el proceso de desgaste del diente puede influir en el éxito del estudio [Torabinejad y cols., 1995b].

En nuestro estudio hemos utilizado un sistema de filtración de colorante a una presión de 20 cm H₂O.

Spångberg y cols. (1989) concluyeron en su estudio sobre filtración apical que la penetración pasiva de colorante es un método poco fiable para revelar la presencia de huecos puesto que siempre existen burbujas de aire que imposibilitan la llegada total del colorante. La penetración pasiva es siempre incompleta en huecos menores de 0,51 mm y depende del tamaño del hueco. Tanomaru y cols. (2005) evaluaron la capacidad de obturación apical de MTA y óxido de cinc eugenol. Los especímenes se distribuyeron en 4 grupos:

GRUPO	CEMENTO RETROOBTURADOR	COLORANTE	FILTRACIÓN EN MM
1	ProRoot MTA	Azul de metileno 2%	0,3
2	ProRoot MTA	Rodamina B 0,2%	2,94
3	Óxido de cinc eugenol	Azul de metileno 2%	3,02
4	Óxido de cinc eugenol	Rodamina B 0,2%	2,35

El grupo 1 fue el que obtuvo los mejores resultados, debido seguramente al azul de metileno, ya que el grupo de la rodamina B, MTA y óxido de cinc eugenol obtuvieron resultados similares. El óxido de cinc eugenol fue el que mayor filtración tuvo con ambas soluciones, por lo que el resultado no se vio afectado por el tipo de colorante. El azul de metileno es incompatible con

sustancias alcalinas, lo que puede inducir la discoloración del colorante. El MTA forma hidróxido de calcio al mezclarse con agua, lo que produce un aumento en el pH y la discoloración de las superficies marcadas con azul de metileno, por lo que la rodamina B es más apropiado para el estudio de la capacidad de sellado del MTA.

Vogt y cols. (2006) evaluaron la capacidad de penetración del azul de metileno al 2%, nitrato de plata al 50% y rodamina B al 0,2% en cavidades apicales obturadas con MTA. El grado de penetración de colorante de mayor a menor fue: rodamina B > azul de metileno > nitrato de plata.

A pesar de su menor tamaño molecular, el nitrato de plata mostró la menor penetrabilidad debido posiblemente a reacciones químicas entre el material y el colorante [Xavier y cols., 2005]. Los distintos colorantes presentan diferente capacidad de penetración y difusión en la dentina, por lo que la elección del colorante puede influir en la evaluación de la penetración del mismo en los estudios de obturación apical.

Siqueira y cols. (2001) opinan que el tamaño molecular de las partículas de colorante es menor que el de las bacterias y, por lo tanto, los colorantes pueden dar falsos resultados porque pueden penetrar por donde las bacterias no son capaces. Así, por ejemplo, con el azul de metileno, generalmente, no se podrá prevenir la filtración debido a su bajo peso molecular [Tamse y cols., 1998]. Además, factores como el pH y las reacciones químicas del colorante pueden también influir en el grado de penetración del mismo. Sin embargo, según Roux y cols. (2002) los estudios de filtración de colorante son los más fáciles de llevar a cabo y, de hecho, el azul de metileno presenta una gran sensibilidad y sus partículas son de tamaño similar al de los microorganismos y sus metabolitos.

Numerosos investigadores han utilizado los sistemas de filtración de fluidos para comprobar la microfiltración de materiales utilizados para sellado apical o reparación de perforaciones.

La técnica de filtración de fluidos ha sido descrita para estudiar la permeabilidad dentinaria por Merchant y cols. (1977) (utilizando una presión de 240 cm de H₂O - 176 mm Hg) y Pashley y cols. (1983) (utilizando una presión de 200 cm de H₂O) y modificada por Derkson y cols. (1986) (utilizando una presión de 15 psi - 1054,5 cm de H₂O) para cuantificar la microfiltración de restauraciones coronales. Posteriormente, Wu y cols. (1998) (utilizando una presión de 0,1 atm - 103 cm H₂O) la adaptaron para medir la microfiltración de obturaciones apicales. El sistema permite la evaluación de la capacidad de un material para resistir la microfiltración bajo presión.

Si se utiliza un cuantificador se obtienen medidas longitudinales que reflejan la filtración acumulada de toda la interfase diente-restauración y proporciona datos cuantitativos y volumétricos, utilizando una presión positiva que ayuda a eliminar los problemas causados por el aire o los fluidos retenidos en los estudios de colorantes. Los dientes del estudio no se destruyen, lo que permite repetir las medidas en los especímenes. La sensibilidad del sistema puede ser modificada alterando la presión utilizada y el diámetro de la micropipeta de medida. Se trata del método clínico más relevante actualmente para medir la capacidad de un material de obturación para crear un sellado firme contra los fluidos [Bates y cols., 1996; Fogel y cols., 2001; Weldon y cols., 2002].

Sin embargo presenta algunas desventajas, ya que necesita mucho tiempo de trabajo para su realización y para la toma de medidas, los resultados son sensibles a la técnica y, si el sistema no está automatizado, las medidas dependen de la precisión del ojo humano, además de que no puede obtenerse el tamaño de los poros del material o estructura dentaria estudiados [De Bruyne y cols., 2005].

La conductancia de fluidos puede producirse a 4 niveles [Yatsushiro y cols., 1998]:

1. a través de la interfase entre el material de obturación y la estructura dental
2. a través del propio material de obturación
3. a través de la propia estructura dental
4. a través de varios puntos de conexión dentro del sistema entre la pipeta y el diente

En el sistema siempre existe un bajo nivel de conductancia de fluidos que puede ser posible por filtración a través de diferentes puntos de conexión del sistema o a través de la propia estructura dental [Welch y cols., 1996], por lo que el sistema nunca puede estar a 0. Niveles por encima de este valor serán considerados como conductancia de fluidos a través de la interfase diente-material de obturación y/o a través del material experimental en sí mismo [Yatsushiro y cols., 1998].

Al utilizar un sistema de filtración de fluidos la presión de agua a la que se someten los especímenes puede variar según la presión que los autores determinen para su investigación. En los estudios llevados a cabo por Held y cols. (1962) y por Christiansen y cols. (1977) se obtuvieron unos resultados de presión medular de 10 a 20 mm Hg (13,5-27 cm H₂O) y de 20 ± 6 mm Hg (15 ± 3 cm H₂O) respectivamente. Dado que la furca se encuentra en comunicación directa con los espacios de la médula ósea a través de capilares que van desde el ligamento periodontal al hueso, para simular condiciones *in vivo*, autores como Weldon y cols. (2002), Lamb y cols. (2003) y Hardy y cols. (2004) consideran que la presión de 20 cm H₂O se asemeja

más a condiciones fisiológicas, aunque algunos autores han utilizado en sus estudios presiones superiores:

AUTORES	PRESIÓN UTILIZADA	TIPO DE ESTUDIO
King y cols. (1990)	703 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Vignaroli y cols. (1995)	703 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Bates y cols. (1996)	1406 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Yatsushiro y cols. (1998)	703 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Wu y cols. (1998)	103 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Fuss y cols. (2000)	1240 cm H ₂ O	PERFORACIONES DE FURCA
Wu y cols. (2001)	309 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Fogel y cols. (2001)	703 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Economides y cols. (2004)	103 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
Kontakiotis y cols. (2004)	309 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN
De Bruyne y cols. (2005)	1195 cm H ₂ O	RETROOBTURACIÓN

Weldon y cols. (2002) realizaron un estudio para comparar el sellado obtenido con MTA y SuperEBA en perforaciones de furca utilizando para ello una presión de 20 cm H₂O.

Se obtuvieron tres grupos de estudio:

- Grupo 1: MTA
- Grupo 2: SuperEBA
- Grupo 3: MTA (en posición más apical) y SuperEBA (en posición más coronal, inmediatamente sobre el MTA, para comprobar el sellado sin tener que esperar las 4 horas de fraguado del MTA)

La integridad del sellado de la perforación se midió en cuatro intervalos de tiempo:

- El primero, a las 4 horas para Grupo 1 y a los 30 minutos para Grupos 2 y 3 y controles positivos y negativos.
- El segundo a las 24 horas,
- El tercero a la semana
- El cuarto al mes.

En los resultados finales se observó que todos los materiales sellaban la furca muy bien. El SuperEBA mostró mejores resultados a las primeras 24 horas, pero en el resto de intervalos todos obtuvieron los mismos resultados. El MTA necesita que pasen 4 horas para sellar, pero al unirlo al SuperEBA este tiempo se reduce.

También Hardy y cols. (2004) utilizaron una presión de 20 cm H₂O para comprobar la diferencia en la reparación de perforaciones de furca entre varios materiales. Los resultados mostraron que MTA filtró más a las 24 horas que el adhesivo autograbante, probablemente porque la resina selló la dentina inmediatamente, mientras que el MTA no fraguado, sin paredes en las cuales poder compactarse, no era todavía estable. Al cabo del mes se demostró que si se deja que el MTA fragüe, proporciona sellado incluso cuando es utilizado en defectos sin forma retentiva. La utilización de MTA junto con SuperEBA o adhesivo autograbante proporciona un sellado inmediato equivalente al del MTA fraguado y permite la continuación del tratamiento endodóncico. Con el tiempo, el sellado del SuperEBA disminuye drásticamente mientras que la del adhesivo autograbante permanece estable. Al seccionar las muestras para comprobar si había habido mezcla entre el MTA y SuperEBA o adhesivo autograbante, observaron que ninguno de los dos fluyó hacia el MTA y que la parte más extrema de la perforación presentaba sólo MTA. Por ello, puesto que sólo el MTA estaba en contacto con los tejidos periapicales, los autores suponen que la perforación curaría normalmente con la formación de cemento [Pitt Ford y cols., 1995b].

7.1- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Nuestras cavidades presentaban más de 4 mm de espesor de MTA y obtuvimos filtración en el 100% de los casos sellados con MTA, lo que no corresponde con Valois y cols. (2004), que para 4 mm sólo tuvieron filtración en 1 de 15 dientes, mientras que para 1 mm les filtró el 100% de las muestras en su estudio con filtración de proteínas. Los autores opinan que los colorantes presentan un peso molecular demasiado bajo y pueden penetrar en lugares que las proteínas y las bacterias no pueden.

Lamb y cols. (2003) obtuvieron una filtración casi igual a cero en cavidades apicales obturadas con 4 a 6 mm de espesor de MTA.

Sin embargo nuestros resultados coinciden con los de De Deus y cols. (2007). Los autores realizaron un estudio para comparar MTA Angelus blanco, MTA Bio⁸³ y cemento Portland como cementos para reparar perforaciones de furca y observar si alguno de ellos era capaz de evitar la filtración de fluidos.

El MTA Bio es un cemento sintetizado totalmente en el laboratorio para asegurar que el producto final está totalmente libre de impurezas como arsénico o plomo, además de que se han mejorado las propiedades de manipulación y el tiempo de fraguado.

Para estudiar la filtración se utilizó un sistema de filtración de fluidos a una presión de 20 cm H₂O durante 10 minutos cada muestra.

Los autores mencionan que el MTA Bio se manipuló mejor que los otros dos cementos y que su fraguado fue mucho más rápido.

Todas las muestras mostraron filtración de fluido. En contraste con resultados mostrados en otros estudios, esto puede ser debido a diferentes diseños en los experimentos, como el sistema de filtración, el diámetro de las perforaciones, el número de muestras, los tiempos de observación y las condiciones de laboratorio.

El sistema de filtración de fluidos es reproducible y más sensible que la penetración pasiva de colorante. Con la filtración de fluidos podemos obtener resultados positivos y localizar defectos de sellado a pesar de que en las radiografías o en las secciones dentarias no observemos ningún defecto o hueco entre el material de obturación y la pared dentaria. Además, este método no destruye las muestras, por lo que los ensayos se pueden repetir.

Bajo las condiciones de este estudio, los autores obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1- Ningún cemento fue capaz de producir un sellado para evitar la filtración de fluidos.
- 2- La capacidad de sellado de los 3 cementos fue similar.

⁸³ Angelus, Londrina, PR, Brasil

3- El cemento Portland tiene el potencial de convertirse en un cemento para la reparación de perforaciones de furca

Estudios previos ya habían demostrado que el cemento Portland y el MTA presentan resultados similares en cuanto a capacidad de filtración y sellado de perforaciones de furca [De Deus y cols., 2006].

Tobón y cols. (2007) realizaron un estudio de filtración de colorante en cavidades apicales y observaron filtración de colorante en los 3 materiales estudiados, pero mientras en las muestras selladas con IRM y SuperEBA la filtración estaba confinada a los márgenes de la preparación siguiendo un patrón circunferencial alrededor del cemento, el MTA mostró absorción de colorante a través del mismo, observándose en algunas muestras filtración desde apical hasta coronal, lo que coincide con los resultados de nuestro estudio. Esto puede explicarse porque el MTA es hidrófilo y necesita hidratación para fraguar. Estos resultados coinciden con nuestro estudio, en el cual observamos filtración de colorante dentro del MTA en 9 de las 10 muestras.

Los autores también observaron que el MTA mostró el mayor número de muestras infraobturadas y discontinuidad en los márgenes, teniendo en cuenta que este material no puede ser pulido una vez se ha colocado en la cavidad apical. Peters y cols. (2002) también describieron un número importante de muestras de MTA infraobturadas. Otros autores como, Yatsushiro y cols. (1998) señalan que la capa externa del MTA se disuelve en el medio húmedo, lo que produce una pérdida de material.

Nosotros observamos infraobturación en 3 de las 10 muestras de MTA estudiadas y ninguna sobreobturación.

Soluti y cols. (1993) compararon MTA con amalgama e IRM como materiales para reparar perforaciones radiculares laterales en un estudio de filtración de azul de metileno. Con el MTA se obtuvieron los mejores resultados, además de que fue el material con menor tendencia a la sobreobturación.

Sin embargo, Xu y cols. (2007) repararon perforaciones laterales con MTA y observaron sobreobturación del mismo en 10 de 18 dientes, con éxito clínico y radiológico en todos los casos.

Gandolfi y cols. (2007) observaron bajo microscopio electrónico a 200 aumentos la interfase MTA-dentina en la que caracterizan esta unión como un "gap cerrado". Hubiéramos preferido que realizaran una visión a más aumentos para comprobar la calidad real de dicha línea de unión. En su ensayo de filtración de fluidos determinan que la tasa de filtración del MTA fue baja.

Al colocar las muestras de MTA en nuestro sistema de filtración de fluidos no observamos la filtración hasta que no seccionamos las muestras y las vimos al microscopio, lo que podemos calificar de “baja tasa de filtración”, como también lo llaman los estudios de filtración en los que existe un aparato cuantificador. Nosotros basamos nuestros datos en la apreciación visual del colorante en la estructura dentaria y el cemento. Sin embargo, en las muestras de composite convencional y ambos ionómero de vidrio podríamos calificar la tasa de filtración de “elevada”, puesto que al conectar las muestras al sistema de filtración se observaba claramente como goteaba el colorante por la zona coronal, es decir, había entrado por la zona apical de la perforación reparada, atravesado toda la obturación y salido por la zona coronal de la misma.

Según Shipper y cols. (2004) no está clara la verdadera importancia de la microfiltración y los estudios sobre la capacidad de sellado y la adaptación marginal de los cementos no proporcionan hoy día resultados claros, aunque hasta el momento, lo prudente es utilizar materiales y técnicas que proporcionen el sellado más efectivo.

Daoudi y cols. (2002) estudiaron la reparación de perforaciones de furca con MTA y con un cemento de ionómero de vidrio fotopolimerizable y realizaron su estudio con filtración de tinta india y transparentización de las muestras. Al igual que en nuestro estudio, el MTA filtró significativamente menos que el ionómero de vidrio.

Nuestros resultados con ambos ionómero de vidrio fueron de filtración en el 100% de los casos y, además, con una tasa de filtración “muy elevada”.

Algunos autores han comparado diferentes materiales de obturación con el ionómero de vidrio y han obtenido datos favorables a éste, como Schwartz y cols. (1988), quienes obtuvieron mejores resultados con ionómero de vidrio reforzado con plata que con amalgama como materiales de retroobturación con su sistema de filtración de colorante, y Fuss y cols. (2000), que determinaron que el ionómero de vidrio reforzado con plata sellaba mejor que la amalgama en perforaciones de furca a una presión de 1,2 atm (1240 cm H₂O). Los autores también observaron la presencia de canales naturales en la furca, al igual que Welch y cols. (1996), por lo que recomiendan que, aunque ésta se mantenga intacta, al finalizar un tratamiento endodóncico se selle la furca para prevenir la filtración. Los resultados coinciden con Alhadainy y cols. (1993a), quienes evaluaron la capacidad de sellado de amalgama, Cavit y ionómero de vidrio en la reparación de perforaciones de furca. Los mejores resultados se obtuvieron con el ionómero de vidrio fotopolimerizable, según explican los autores, posiblemente por su mejor adhesión a la dentina. Los iones calcio del tejido dental forman un puente químico con el cemento y, además, su capacidad para fluir le ayuda a llegar a la parte más apical de la perforación. En algunos dientes

se observaron huecos. Si estos estaban cerca de la zona apical, la filtración aumentaba, pero los que estaban localizados más coronalmente no afectaron a la filtración. El Cavit es un material hidrofílico. El algodón húmedo colocado entre las raíces de las muestras para simular condiciones *in vivo* permitió su endurecimiento apical y al condensarlo con un algodón húmedo, se logró su endurecimiento coronal. El peor resultado se obtuvo con la amalgama, posiblemente porque no se pudo condensar bien en el defecto y apareció como una masa escasamente condensada. Todos los materiales mostraron sobreobturación de material, pero mientras el ionómero de vidrio fluyó sobre la superficie dental, tanto el Cavit como la amalgama se extendieron en el espacio del hueso interradicular, lo que podría provocar un daño irreversible en condiciones *in vivo*.

Sin embargo, King y cols. (1990) obtuvieron los peores resultados con Ketac-Silver como material de obturación apical que con otros materiales estudiados, incluida la amalgama, con su sistema de filtración de fluidos a una presión de 10 psi.

En nuestro estudio, el ionómero de vidrio y el composite convencional obtienen los mismos resultados, lo que no coincide con Economices y cols. (2004) quienes observaron mejores resultados con el ionómero de vidrio en cuanto a microfiltración apical que con composite y agentes adhesivos.

De Bruyne y cols. (2005) compararon el ionómero de vidrio con el MTA para sellar cavidades apicales utilizando un sistema de filtración de fluidos a 1,2 atm (17 psi) de presión y concluyeron que ambos cementos presentaban resultados similares y, por ello, el análisis coste-beneficio se inclinaba a favor del ionómero de vidrio. En nuestro estudio tanto las muestra de ionómero de vidrio como de MTA mostraron filtración de colorante y fueron las muestras de composite fluido las que mostraron los mejores resultados, sin embargo Wu y cols. (1998), a una presión de 0,1 atm (103 cm H₂O - 76 mm Hg), observaron que tanto el ionómero de vidrio como el MTA mostraron menos filtración que la amalgama y el SuperEBA en obturaciones retrógradas en un período de estudio de 24 horas a 3 meses. Los autores utilizaron en su estudio dientes animales y Roux y cols. (2002) señalan en su artículo que los estudios de filtración que se realizan sobre dientes de animales no se pueden comparar con la filtración en dientes humanos, de forma que no sería posible saber si los resultados y las conclusiones son válidos para las personas humanas.

Nuestros resultados con composite coinciden con Abdal y cols. (1982), quienes en su estudio *in vitro* utilizando para determinar la filtración apical de un colorante en cavidades apicales con diferentes tipos de materiales, comprobaron que las resinas de composite fueron las que

obtuvieron los mejores resultados, puesto que en ellas la microfiltración fue prácticamente inexistente.

En nuestro estudio no hubo ninguna muestra de MTA que presentara una adaptación perfecta de todo el cemento a las paredes de dentina. En las muestras 1, 2, 3, 4, 7, 9 sí se observó alguna zona de la obturación donde no se produjo desadaptación. Sin embargo Torabinejad y cols. (1995b) observaron en su estudio que las retroobturaciones de MTA no presentaron huecos, resultado que coincide con Peters y cols. (2002), quienes concluyeron que el MTA posee una excelente adaptación marginal. Sin embargo, Bidar y cols. (2007) compararon la adaptación marginal en cavidades apicales obturadas con MTA blanco, gris y cemento Portland y al observar las muestras al microscopio electrónico, aparecieron *gaps* entre cemento y dentina con todos los cementos, que aunque fueron menores en el MTA gris, la diferencia no fue estadísticamente significativa, igual que Shipper y cols. (2004) que también observaron separación entre el MTA y las paredes de dentina bajo microscopio electrónico. Los autores comentan que la preparación de las muestras provoca deshidratación y contracción de la dentina y del MTA en el proceso de desecación de los especímenes, lo que puede producir zonas de desadaptación entre ambos.

Sullivan y cols. (2008) estudiaron la microfiltración apical y concluyeron que el MTA demostró la menor filtración y el mejor sellado y, además, no se observó correlación entre el tamaño de los *gaps* de desadaptación a las paredes de dentina y el grado de microfiltración.

9

Conclusiones

Una vez efectuado el estudio experimental *in vitro* propuesto y analizados los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones, respondiendo a los objetivos previamente planteados:

1. Bajo las condiciones de este estudio, el MTA no impidió la filtración del colorante utilizado.
2. La filtración de colorante en el MTA se extendió a lo largo de toda la obturación.
3. El colorante filtró también en el interior del MTA.
4. El MTA no presentó buena adaptación a las paredes de dentina de las perforaciones obturadas.
5. La tendencia del MTA fue de permanecer en los límites de la perforación.
6. El composite fluido fue el material que obtuvo los mejores resultados en cuanto a filtración y adaptación del material a las paredes de la dentina.

10

Situación actual

Como hemos visto en la revisión bibliográfica, las propiedades físicas, químicas y biológicas del MTA están ya totalmente comprobadas y contrastadas. Aún así, los autores siguen investigando las diferentes posibilidades del cemento, sobre todo tratando de encontrar una composición del mismo que pueda mejorar sus características de manipulación y reducir su tiempo de fraguado [Abdullah y cols., 2002; Al-Rabeah y cols., 2006; Juárez y cols., 2006a; Kogan y cols., 2006; Ber y cols., 2007; Clark y cols., 2007 a-b; Wiltbank y cols., 2007a-b], mejorar el sellado [Samadezh y cols., 2007; Hong y cols., 2008] y la fuerza de compresión [VanderWeele y cols., 2006; Watts y cols., 2007a-b; Holt y cols., 2007 a-b], comprobar como afectan los nuevos componentes a añadidos a sus propiedades biológicas [Abdullah y cols., 2003; Bortoluzzi y cols., 2008] y también desarrollar nuevos materiales basados en cemento Portland:

- 1- Cementos experimentales TC, TC-1, TC-2, F-TC1 [Gandolfi y cols. 2007, 2008]
- 2- VERRM [Chng y cols., 2005]
- 3- MTA sintético, MTA+silicona y MTA+elemento inorgánico bioactivo [Barussaud y cols., 2008]
- 4- MTA Bio [De Deus y cols., 2007]
- 5- MTA fluido [Clark y cols., 2007 a-b]
- 6- BioAggregate (DiaRoot)⁸⁴, que se diferencia del ProRoot MTA en que presenta en su composición óxido de tantalium en lugar de óxido de bismuto [Shin y cols., 2008]
- 7- MTA fotopolimerizable [Gomes-Filho y cols., 2008]

⁸⁴ Innovative BioCeramix Inc., Vancouver, BC, Canadá

11

Búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica ha sido realizada en la biblioteca de la Facultad de Medicina y Odontología de Valencia, en la biblioteca virtual del Colegio de Odontólogos y Estomatólogos de Madrid, en búsquedas en internet y en la base de datos del PubMed.

La relación de artículos, libros y otras citas utilizadas a lo largo del trabajo se detallan a continuación:

TÍTULO	TITULO ABREVIADO	Nº DE EJEMPLARES
American Journal Dental	AJD	2
Annals of Microscopy	Annals of Microscopy	1
Archivos de Odontoestomatología	Archivos de Odontoestomatología	2
Archives of Oral Biology	Archiv Oral Biol	1
Archives of Science and Physiology	Arch Sci Physiol	1
Australian Endodontic Journal	Aust Endod J	5
Biomaterials	Biomaterials	2
Brazilian Dental Journal	Braz Dent Journal	5
Brazilian Oral Reserch	Braz Oral Res	3
British Dental Journal	British Dent J	1
Clínicas Odontológicas de Norteamérica	Dent Clin North Am	3
Dental Materials	Dent Mater	4
Dental Traumatology	Dent Traumatol	20
Endodoncia	Endodoncia	23
Endodontics and Dental Traumatology	Endod Dent Traumatol	2
Endodontology	Endodontology	1
European Archives of Paediatric Dentistry	Eur arch paediatr dent	1
European Journal Of Dental Education	Eur J Dent Educ	1
Gaceta Dental	Gaceta Dental	3
General Dentistry	Gen dent	1
Histochemistry	Histochemistry	1
International Dental Journal	Int Dent J	1
International Endodontic Journal	Int Endod J	68
International Journal of Paediatric Dentistry	Int J Paed Dent	4
Journal of American Dental Association	J Am Dent Assoc	9
Journal of Applied Oral Science	J Appl Oral Sci	3
Journal Clinical Pediatric Dentistry	J Clin Pediatr Dent	1
Journal of Dentistry	J Dent	1
Journal Dental Reserch	J Dent Res	11

Journal of Endodontics	J Endod	237
Journal of Formosan Medical Association	J Formos Med Assoc	1
Journal of Histochemistry and Cytochemistry	JHC	1
Journal of Periodontology	J Periodontol	3
Journal of Oral Science	J Oral Sci	1
Journal of Oral Rehabilitation	Journal of Oral Rehabilitation	1
Journal of Prosthetic Dentistry	J Prosthet Dent	3
Medicina Oral (México)	Medicina Oral (México)	4
New York State Dental Journal	N Y State Dent J	1
Odontología Conservadora	Odont Conserv	2
Operative Dentistry	Operative Dentistry	1
Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics	Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod	58
Pediatric Dental Journal	Pediatr Dent	1
Practical Procedures Aesthetic Dentistry Journal	Pract Proced Aesthet Dent	1
Quintessence (Edición Española)	Quintessence (ed. Esp)	1
Quintessence Internacional	Quintessence Int	5
Revista ADM	Revista ADM	1
Revista Española de Endodoncia	Rev Esp Endod	1
Revista Europea de Odonto-Estomatología	REDOE	2
Revista de Sanidad Militar de México	Rev Sanid Milit Mex	1
Publicación de Ilustre Colegio de Odontólogos y Estomatólogos de España	RCOE	1
Revista Nacional de Odontología	ANEO	1
Shanghai Kou Quang Yi Xue	Shanghai Kou Quang Yi Xue	1
Swedish Dental Journal	Swed Dent J	1
Citas on-line		11
Tesis Doctorales y Trabajos de Investigación		3
Libros y otras citas (prospectos, ...)		18

12

Bibliografía

- Abdal, A. K.; Retief, H.; Jamison, H. C. The apical seal via the retrosurgical approach. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1982; 54: 213- 218.
- Abdullah, D.; Pitt Ford, T. R.; Papaioannou, S.; Nicholson, J.; McDonald, F. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials*, 2002; 23: 4001-4010.
- Abdullah, D.; Ghazali, N.; Pitt Ford, T. R.; McDonald, F. The use of scanning electron microscope in biocompatibility testing of accelerated Portland cement. *Annals of Microscopy*, 2003; 3: 12-21.
- Abedi, H. R.; Torabinejad, M.; Pitt Ford, T. R. The use of mineral trioxide aggregate cement (MTA) as a direct pulp capping agent. Abstract N° 44. American Association of Endodontists. 53rd Annual Session. April 24-28, 1996. *J Endod*, 1996; 22: 199.
- Accorinte, M. de L.; Holland, R.; Reis, A.; Bortoluzzi, M. C.; Murata, S. S.; Dezan, E. Jr.; Souza, V.; Alessandro, L. D. Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth. *J Endod*, 2008; 34: 1-6.
- Aeinehchi, M.; Eslami, B.; Ghanbariha, M.; Saffar, A. S. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp capping agents in human teeth: a preliminary report. *Int Endod J*, 2002; 36: 225-231.
- Aeinehchi, M.; Dadvand, S.; Fayazi, S.; Bayat-Movahed, S. Randomized controlled trial of mineral trioxide aggregate and formocresol for pulpotomy in primary molar teeth. *Int Endod J*, 2007; 40: 261-267.
- Adamo, H. L.; Buruiana, R.; Schertzer, L.; Boylan, R. J. A comparison of MTA, super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *Int Endod J*, 1999; 32: 197-203.
- Agamy, H. A.; Bakry, N. S.; Mounir, M. M.; Avery, D. R. Comparison of mineral trioxide aggregate and formocresol as pulp-capping agents in pulpotomized primary teeth. *Pediatr Dent*, 2004; 26: 302-309.
- Aguirre, R.; ElDeeb, M. E.; ElDeeb, M. E. Evaluation of the repair of mechanical furcation perforations using amalgam, gutta-percha or indium foil. *J Endod*, 1986; 12: 249-256.
- Al-Daafas, A.; Al-Nahazan, S. Histological evaluation of contaminated furcal perforation in dog's teeth repaired by MTA with or without internal matrix. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2007; 103: e92-e99.
- Alhadainy, H. A.; Himel, V. T. Evaluation of the sealing ability of amalgam, Cavit, and glass ionomer cement in the repair of furcation perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1993a; 75: 362-366.

- Alhadainy, H. A.; Himel, V. T. Comparative study of the sealing ability of light-cured versus chemically cured materials placed into furcation perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1993b; 76: 338-342.
- Alhadainy, H. A.; Himel, V. T. Evaluation of plaster bone barrier for repair of furcation perforations. Abstract N° 58. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 198.
- Alhadainy, H. A. Root perforations. A review of literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1994a; 78: 368-374.
- Alhadainy, H. A.; Himel, V. T. An *in vitro* evaluation of plaster of Paris barriers used under amalgam and glass ionomer to repair furcation perforations. *J Endod*, 1994b; 20: 449-452.
- Alhadainy, H. A.; Abdalla, A. I. Artificial floor technique used for the repair of furcation perforations: a microleakage study. *J Endod*, 1998; 24: 33-35.
- Al-Hezaimi, K.; Al-Hamdan, K.; Naghshbandi, J.; Oglesby, S.; Simon, J. H. S.; Rotstein, I. Effect of white colored mineral trioxide aggregate in different concentrations on *Candida albicans in vitro*. *J Endod*, 2005; 31: 684-686.
- Al-Hezaimi, K.; Naghshbandi, J.; Oglesby, S.; Simon, J. H. S.; Rotstein, I. Comparison of antifungal activity of white-colored and grey-colored mineral trioxide aggregate (MTA) at similar concentrations against *Candida albicans*. *J Endod*, 2006; 32: 365-367.
- Al-Hezaimi, K.; Naghshbandi, J.; Oglesby, S.; Simon, J. H. S.; Rotstein, I. Antibacterial effect of two mineral trioxide aggregate (MTA) preparations against *Enterococcus faecalis* and *Streptococcus sanguis in vitro*. Abstract N° 53. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007; 33: 342.
- Al-Kahtani, A.; Shostad, S.; Schifferle, R.; Bhambhani, S. *In vitro* evaluation of microleakage of an orthograde apical plug of mineral trioxide aggregate in permanent teeth with simulated immature apices. *J Endod*, 2005; 31: 117-119.
- Al-Nazhan, S. External root resorption after bleaching: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1991; 72: 607-609.
- Al-Nazhan, S.; Al-Judai, A. Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2003; 29: 826-827.
- Al-Rabeah, E.; Perinpanayagam, H.; MacFarland, D. Human alveolar bone cells interact with Proroot and tooth-colored MTA. *J Endod*, 2006; 32: 872-875.
- American Association of Endodontic Terms. 2003; 7th ed; 2003

- Aminoshariae, A.; Hartwell, G. R.; Moon, P. C. Placement of mineral trioxide aggregate using two different techniques. *J Endod*, 2003; 29: 679-682.
- Andelin, W. E.; Browning, D. F.; Hsu, G.-H. R.; Roland, D. D.; Torabinejad, M. Microleakage of resected MTA. *J Endod*, 2002; 28: 573-574.
- Andelin, W. E.; Shabanang, S.; Wright, K.; Torabinejad, M. Identification of hard tissue after experimental pulp capping using dentin sialoprotein (DSP) as a marker. *J Endod*, 2003; 29: 646-650.
- Andreasen, J. O.; Munksagaard, E. C.; Bakland, L. K. Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dent Traumatol*, 2006; 22: 154-156.
- Apaydin, E. S.; Shabahang, S.; Torabinejad, M. Hard-tissue healing after application of fresh or set MTA as root-end-filling material. *J Endod*, 2004; 30: 21-24.
- Aqrabawi, J. Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. *British Dent J*, 2000; 188: 266-268.
- Aranguren, J.; Fabra, H. Materiales para la obturación a retro: de la amalgama al agregado de mineral trióxido (MTA). *Gaceta Dental*, 2003; 140: 110-123.
- Arens, D. E.; Torabinejad, M. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate. Two cases reports. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1996; 82: 84-88.
- Arens, D. E.; Chivian, N.; Rubinstein, R.; Torabinejad, M. Practical lessons in endodontic surgery. Illinois: Quintessence Publishing Co, Ltd. 1998.
- Arikan, H.; Kaptan, F.; Kayahan, B.; Haznedaroğlu, F. Management of the perforations due to miniplate application. *J Endod*, 2006; 32: 482-485.
- Arnold, J. W.; Beckham, B. M.; Anderson, R. W.; Pashley, D. H. Microleakage measurements of EBA root-end fillings. Abstract N° 56. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 199.
- Asgary, S.; Parirokh, M.; Eghbal, M. J.; Brink, F. Chemical differences between white and grey mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2005; 31: 101-103.
- Asrari, M.; Lobner, D. *In vitro* neurotoxic evaluation of root-end-filling materials. *J Endod*, 2003; 29: 743-746.
- Augsburger, R. A.; Peters, D. D. Radiographic evaluation of extruded obturation materials. *J Endod*, 1990; 16: 492-497.
- Baek, H.-H.; Plenk, H.; Kim, S. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA and MTA as root-end filling materials. *J Endod*, 2005; 31: 444-449.

- Bahn, S. L. Plaster: A bone substitute. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1966; 21: 672-681.
- Ballal, S.; Venkateshbabu, N.; Nandini, S.; Kandaswamy, D. An *in vitro* study assess the setting and surface crazing of conventional glass ionomer cement when layered over partially set mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2008; 34: 478-480.
- Balto, H.; Al-Nazhan, S. Attachment of human periodontal ligament fibroblasts to 3 different root-end filling materials: scanning electron microscope observation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003; 95: 222-227.
- Balto, H. Attachment and morphological behavior of human periodontal ligament fibroblasts to mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscope study. *J Endod*, 2004; 30: 25-29.
- Banchs, F.; Trope, M. Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J Endod*, 2004; 30: 196-200.
- Bargholz, C. Perforation repair with mineral trioxide aggregate: a modified matrix concept. *Int Endod J*, 2005; 38: 59-69.
- Barjau, A.; Sancho, J. L.; Forner, L.; Rodríguez, P. J.; Pérez, A.; Sánchez, F. T. Influence of prefabricated post material on restored teeth: fracture strength and stress distribution. *Operative Dentistry*, 2006; 31: 47-54.
- Barnett, F. The role of endodontics in the treatment of luxated permanent teeth. *Dent Traumatol*, 2002; 18: 47-56.
- Barrieshi-Nusair, K. M.; Hammad, H. M. Intracoronary sealing comparison of mineral trioxide aggregate and glass ionomer. *Quintessence Int*, 2005; 36: 539-545.
- Barrieshi-Nusair, K. M.; Qudeimat, M. A. A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate for partial pulpotomy in cariously exposed permanent teeth. *J Endod*, 2006; 32: 731-735.
- Barthel, C. R.; Rosenkranz, B.; Leuenberg, A.; Roulet, J.-F. Pulp capping of carious exposures: treatment outcome after 5 and 10 years: a retrospective study. *J Endod*, 2000; 26: 525-528.
- Barussaud, A.; Gagnon, D. R.; Chou, L. L. Osteogenic effects of a synthetic mineral trioxide aggregate and four modified mineral trioxide aggregates with silicon on normal human osteoblast cells. Abstract OR 18. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 345.
- Bates, C. F.; Carnes, D. L.; Del Río, C. E. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod*, 1996; 22: 575-578.
- Beer, R.; Baumann, M. A.; Kim, S. Atlas de endodoncia. Barcelona: Masson, S.A. 1998.

- Behnia, A.; Strassler, H. E.; Campbell, R. Repairing iatrogenic root perforations. J Am Dent Assoc, 2000; 131: 196-201.
- Bender, I. B. Factors influencing the radiographic appearance of bony lesions. J Endod, 1982; 8: 161-170.
- Benenati, F. W.; Roane, J. B.; Biggs, J. T.; Simon, J. H. Recall evaluation of iatrogenic root perforations repaired with amalgam and gutta-percha. J Endod, 1986; 12: 161-166.
- Benson, W. E.; Del-Rio, C. E. Amalgam in endodontics. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1963; 16: 1498-1507.
- Ber, B. S.; Hatton, J. F.; Stewart, G. P. Chemical modification of ProRoot MTA to improve handling characteristics and decrease setting time. J Endod, 2007; 33: 1231-1234.
- Berástegui, E. M.; Ballester, E. M. Tratamiento de apicoformación con ProRoot-MTA. Endodoncia, 2003a; 21: 7-12.
- Berástegui, E. M. Actualización sobre el ProRoot-MTA en el año 2002. Endodoncia, 2003b; 21: 36-49.
- Bernabé, P. F. E.; Gomes-Filho, J. E.; Rocha, W. C.; Nery, M. J.; Otoboni-Filho, J. A.; Dezan-Júnior, E. Histological evaluation of MTA as a root-end filling material. Int Endod J, 2007; 40: 758-765.
- Bidar, M.; Moradi, S.; Jafarzadeh, H.; Bidad, S. Comparative SEM study of the marginal adaptation of white and grey MTA and Portland cement. Aust Endod J, 2007; 33: 2-6.
- Biggs, J. T.; Benenati, F. W.; Sabala, C. L. Treatment of iatrogenic root perforations with associated osseous lesions. J Endod, 1988; 14: 620-624.
- Bhambra, J.; Chou, L. L.; Hutter, J. W. The dissolution of Ca²⁺ and Si⁴⁺ ions from mineral trioxide aggregate (MTA) and two modified versions of MTA in culture medium. Abstract N° 15. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. J Endod, 2007; 33: 332.
- Bodem, O.; Blumenshine, S.; Zeh, D.; Koch, M. J. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate in a primary molar: a case report. Int J Paed Dent; 2004; 14: 376-379.
- Bohsali, K.; Pertot, W.-J.; Hosseini, B.; Camps, J. Sealing ability of super EBA and Dyract as root-end fillings: a study *in vitro*. Int Endod J, 1998; 31: 338-342.
- Bondra, D. L.; Hartwell, G. R.; MacPherson, M. G.; Portell, F. R. Leakage *in vitro* with IRM, high copper amalgam, and EBA cement as retrofilling materials. J Endod, 1989; 15: 157-160.
- Bonson, S.; Jeansonne, B. G.; Lallier, T. E. Root end filling materials alter fibroblast differentiation. J Dent Res, 2004; 83: 408-413.

- Borao, E.; Bravo, D.; Moreno, J.; Arias, J. R.; García, E. Apicoformación: MTA versus hidróxido de calcio. *Endodoncia*, 2003; 21: 246-255.
- Bortoluzzi, E. A.; Juárez, N.; Monteiro, C.; Brãndao, R.; Gomes, I.; Bernardineli, N. Sealing ability of MTA and radiopaque Portland cement with or without calcium chloride for root-end filling. *J Endod*, 2006; 32: 897-900.
- Bortoluzzi, E. A.; Sivieri, G.; Guerreiro, J. M.; Tanomaru-Filho, M. Marginal gingival discoloration by grey MTA: a case report. *J Endod*, 2007a; 33: 325-327.
- Bortoluzzi, E. A.; Souza, E. M.; Reis, J. M. S. N.; Esberard, R. M.; Tanomaru-Filho, M. Fracture strength of bovine incisors after intraradicular treatment with MTA in an experimental immature tooth model. *Int Endod J*, 2007b; 40: 684-691.
- Bortoluzzi, E. A.; Juárez, N.; Bramante, C. M.; Consolaro, A.; Garcia, R. B.; Gomes, I.; Norberto, B. Mineral trioxide aggregate with or without calcium chloride in pulpotomy. *J Endod*, 2008; 34: 172-175.
- Bozeman, T. B.; Lemon, R. R.; Eleazer, P. D. Elemental analysis of crystal precipitate from grey and white MTA. *J Endod*, 2006; 32: 425-428.
- Bramante, C. M.; Menezes, R.; Moraes, I. G.; Bernardinelli, N.; García, R. B.; Letra, A. Use of MTA and intracanal post reinforcement in a horizontally fractured tooth: a case report. *Dent Traumatol*, 2006; 22: 275-278.
- Bruce, G. R.; McDonald, N. J.; Sydiskis, R. J. Cytotoxicity of retrofill materials. *J Endod*, 1993; 19: 288-292.
- Budig, C. G.; Eleazer, P. D. *In vitro* comparison of the setting of dry Proroot MTA by moisture absorbed through the root. Abstract PR 8. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 357.
- Burdairon, G. *Manual de biomateriales dentarios*. París: Masson, S.A. 1991.
- Calderón, P. S.; Espinosa, I.; Villalobos, E. I.; Vásquez, E. Utilización de MTA para recubrimientos pulpaes directos en dientes permanentes jóvenes. Reporte de nueve casos. *Med Oral (México)*, 2002; 4: 69-77.
- Camilleri, J.; Montesin, F. E.; Papaioannou, S.; McDonald, F.; Pitt Ford, T. R. Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 2004; 37: 699-704.
- Camilleri, J.; Montesin, F. E.; Di Silvio, L.; Pitt Ford, T. R. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J*, 2005a; 38: 834-842.

- Camilleri, J.; Montesin, F. E.; Brady, K.; Sweeney, R.; Curtis, R. V.; Pitt Ford, T. R. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater*, 2005b; 21: 297-303.
- Camilleri, J.; Pitt Ford, T. R. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J*, 2006; 39: 747-754.
- Camilleri, J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 2007; 40: 462-470.
- Camilleri, J. The physical properties of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J*, 2008a; 41: 151-157.
- Camilleri, J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 2008b; 41: 408-417.
- Canalda, C. Siglo XXI. ¿Cómo se perfila la endodoncia? *Revista Europea de Odontología*, 2000; 12: 203-208.
- Castellucci, A. Magnification in endodontics: the use of the operating microscope. *Endodontic Practice*, 2003; Septiembre: 29-36. [en línea]. Consulta: 1 de Septiembre de 2004.
- Chau, J. Y. M.; Hutter, J. W.; Mork, T. O.; Nicoll, B. K. An in vitro study of furcation perforation repair using calcium phosphate cement. *J Endod*, 1997; 23: 588-592.
- Chiva, F.; Carrascosa, J.; López, P.; Ortiz, A.; Vicente, V. Estudio de la biocompatibilidad intraósea de dos materiales dentales de alto contenido en calcio. *Odont Conserv*, 2002; 5: 9-15.
- Chng, H. K.; Islam, I.; Yap, A. U. Tong, Y. W.; Koh, E. T. Properties of a new root-end filling material. *J Endod*, 2005; 31: 665-668.
- Chogle, S.; Mickel, A. K.; Chan, D. M.; Huffaker, K.; Jones, J. J. Intracanal assessment of mineral trioxide aggregate setting and sealing properties. *Gen Dent*, 2007; 55: 306-311.
- Chong, B. S.; Pitt Ford, T.; Hudson, M. A prospective clinical study into the use of mineral trioxide aggregate for root-end filling. Abstract N° 2639. 81st General Session of the IADR. 2nd meeting of the PEF. June 25-28, 2003a. Göteborg, Sweden. *J Dent Res*, 2003a; 82 (Spec Iss B): 340.
- Chong, B. S.; Pitt Ford, T. R.; Hudson, M. B. A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J*, 2003b; 36: 520-526.
- Chong, B. S.; Pitt Ford, T. R. Postoperative pain after root-end resection and filling. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005; 100: 762-766.

- Christiansen, R. L.; Meyer, M. W.; Visscher, M. B. Tonometric measurement of dental pulpal and mandibular marrow blood pressures. *J Dent Res*, 1977; 56: 635-645.
- Christensen, G. J. Postes: ¿Son necesarios? *Archivos de Odontoestomatología*, 1997; 13: 173-177.
- Christiansen, R.; Kirkevang, L.-L.; Hørsted-Bindslev, P.; Wenzel, A. Patient discomfort following periapical surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008; 105: 245-250.
- Christiansen, R. L., Meyer, M. W.; Visscher, M. B. Tonometric measurement of dental pulpal and mandibular marrow blood pressures. *J Dent Res*, 1977; 56: 635-645.
- Chung, K. M.; Salkin, L. M.; Stein, M. D.; Freedman, A. L. Clinical evaluation of a biodegradable collagen membrane in guided tissue regeneration. *J Periodontol*, 1990; 61: 732-736.
- Cintra, L. T. A.; Gomes, I.; Estrada, B. P. F.; Gomes, J. E.; Bramante, C. M.; Brandão, R.; Bernardinelli, N. Evaluation of the tissue response to MTA and MBPC: microscopic analysis of implants in alveolar bone of rats. *J Endod*, 2006; 32: 556-559.
- Clark, P. D.; Liewehr, F. R.; Hahn, C. L.; Moon, P. C. An *in vitro* leakage and viscosity analysis of root-end filling materials. Abstract N° 14. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007a. *J Endod*, 2007; 33: 332.
- Clark, P. D. An *in vitro* leakage and viscosity analysis of root end filling materials. Tesis doctoral. Virginia Commonwealth University. Richmond, Virginia. Mayo, 2007b.
- Cohen, S.; Burns, R. C. *Vías de la pulpa*. Madrid. Elsevier Science, 2002.
- Cooley, R. L.; Dodge, W. W. Bond strength of three dentinal adhesives on recently extracted versus aged teeth. *Quintessence Int*, 1989; 20: 513-516.
- Coomaraswamy, K. S.; Lumley, P. J.; Hofmann, M. P. Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic Portland cement-based (MTA-like) system. *J Endod*, 2007; 33: 295-298.
- Crooks, W. G.; Anderson, R. W.; Powell, B. J. Longitudinal evaluation of the seal of IRM root-end fillings. Abstract N° 13. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 189.
- Crump, M. C. Diagnóstico diferencial del fracaso endodóntico. *Clínicas Odontológicas de Norteamérica*, 1979; 4: 613-631.

- Cummings, G. R.; Torabinejad, M. Mineral trioxide aggregate (MTA) as an isolating barrier for internal bleaching. Abstract N° 53. American Association of Endodontists. 52nd Annual Session. May, 10-14, 1995. J Endod, 1995; 21: 228.
- Da Silva, G. N.; Braz, M. G.; de Camargo, E. A.; Salvadori, D. M. F.; Ribeiro, D. A. Genotoxicity in primary human peripheral lymphocytes after exposure to regular and white mineral trioxide aggregate. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2006; 102:350-e54.
- Dammaschke, T.; Gerth, H. U. V.; Züchner, H.; Schäfer, E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. Dent Mater, 2005; 21: 731-738.
- Danesh, G.; Dammaschke, T.; Gerth, H. U. V.; Zandbiglari, T.; Schäfer, E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. Int Endod J, 2006; 39: 213-219.
- Danin, J.; Linder, L.; Ramskold, L.; Sund, M. L.; Stromberg, T.; Telme, I.; Torstenson, B. A study in vitro of treated titanium pins used for retrograde obturation of root canals. Int Endod J, 1994; 27: 257-62.
- Daoudi, M. F.; Saunders, W. P. *In vitro* evaluation of furcal perforation repair using mineral trioxide aggregate or resin modified glass ionomer cement with and without the use of the operating microscope. J Endod, 2002; 28: 512-515.
- D' Arcangelo, C.; D' Armario, M. Use of MTA for orthograde obturation of nonvital teeth with open apices: report of two cases. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007; 104: e98-e101.
- De Bruyne, M. A. A.; De Bruyne, R. J. E.; Rosiers, L.; De Moor, R. J. G. Longitudinal study on microleakage of three root-end filling materials by the fluid transport method and by capillary flow porometry. Int Endod J, 2005; 38: 129-136.
- De Carli, A.; Rovani, E.; Pereira, M. G. Resposta da lesão de furca quando em contacto com o MTA: relato de caso clínico. Revista Dentística on line, 2006; 6: 28-35. <http://www.ufsm.br/dentisticaonline> [Consulta: 26 diciembre 2006].
- De Deus, G.; Ximenes, R.; Gurgel-Filho, E. D.; Plotkowski, M. C.; Coutinho-Filho, T. Cytotoxicity of MTA and Portland cement on human ECV 304 endothelial cells. Int Endod J, 2005; 38: 604-609.

- De Deus, G.; Petruccelli, V.; Gurgel-Filho, E.; Coutinho-Filho, T. MTA versus Portland cement as repair material for furcal perforations: a laboratory study using a polymicrobial leakage model. *Int Endod J*, 2006; 39: 293-298.
- De Deus, G.; Coutinho-Filho, T. The use of white Portland cement as an apical plug in a tooth with necrotic pulp and wide-open apex: a case report. *Int Endod J*, 2007; 40: 653-660.
- De Deus, G.; Reis, C.; Brandão, C.; Fidel, S.; Fidel, R. A. The ability of Portland cement, MTA, and MTA Bio to prevent through and through fluid movement in repaired furcal perforations. *J Endod*, 2007; 33: 1374-1377.
- Delivanis, P.; Tabibi, A. A comparative sealability study of different retrofilling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1978; 45: 273-281.
- Dentsply, Tulsa Dental. Directions for use: ProRoot MTA (mineral trioxide aggregate) root canal repair material. Literature from the manufacturer. Tulsa, OK: Dentsply Tulsa Dental, 2002.
- Derkson, G. D.; Pashley, D. H.; Derkson, M. E. Microleakage measurement of selected restorative materials: a new *in vitro* method. *J Prosthet Dent*, 1986; 56: 435-440.
- DeWald, J. P. The use of extracted teeth for *in vitro* bonding studies: a review of infection control considerations. *Dent Mater*, 1997; 13: 74-81.
- Domínguez, M. S.; Whitterspoon, D. E.; Gutmann, J. L.; Opperman, L. A. Histological and scanning electron microscopy assessment of various vital pulp therapy materials. *J Endod*, 2003; 29: 324-333.
- Donado, A.; Gomeza, A.; Sirvent, F.; Martínez, J. M.; Donado, M. Cirugía, ¿una solución en endodoncia? Recursos actuales. Parte I. *Endodoncia*, 2001a; 19: 110-124.
- Donado, A.; Gomeza, A.; Sirvent, F.; Martínez, J. M.; Donado, M. Cirugía, ¿una solución en endodoncia? Perspectivas futuras. Parte II. *Endodoncia*, 2001b; 19: 195-207.
- Dorn, S. O.; Gartner, A. H. Retrograde filling materials: a retrospective success-failure study of amalgam, EBA and IRM. *J Endod*, 1990; 16: 391-393.
- Duarte, M. A. H.; Demarchi, A. C. C.; Yamashita, J. C.; Kuga, M. C.; Fraga, S. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003; 95: 345-347.
- Duarte, M. A. H.; Demarchi, A. C. C.; Yamashita, J. C.; Kuga, M. C.; Fraga, S. Arsenic release provided by MTA and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Oral Endod*, 2005; 99: 648-650.

- Economides, N.; Pantelidou, O.; Kokkas, A.; Tziafas, D. Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *Int Endod J*, 2003; 36:44-48.
- Economides, N.; Kokorikos, I.; Gogos, C.; Kolokouris, I.; Staurianos, C. Comparative study of sealing ability of two root-end-filling materials with and without the use of dentin-bonding agents. *J Endod*, 2004; 30: 35-37.
- Eicker, L. A.; Schlegel, M. Apicectomías: diferentes técnicas para practicar la incisión. Quintessence (ed. Esp), 2002; 15: 303-308.
- ElDeeb, M. E.; ElDeeb, M.; Tabibi, A.; Jensen, J. R. An evaluation of the use of amalgam, Cavit, and calcium hydroxide in the repair of furcation perforations. *J Endod*, 1982; 8: 459-466.
- Eldeniz, A. U.; Hadimli, H. H.; Ataoglu, H.; Ørstavik, D. Antibacterial effect of selected root-end filling materials. *J Endod*, 2006; 32: 345-349.
- Er, K.; Kuştarci, A.; Özcan, Ü.; Taşdemir, T. Nonsurgical endodontic treatment of dens invaginatus in a mandibular premolar with large periradicular lesion: a case report. *J Endod*, 2007; 33: 322-324.
- Espinosa, A. Sellado de perforaciones en furca con trióxido mineral agregado (MTA) por mala práctica endodóncica: reporte de dos casos. *Med Oral (México)*, 2005; 6-7 (número especial): 91-94.
- Esté, E. V. Di G. "Aplicación clínica del agregado de trióxido mineral (MTA) en endodoncia" [en línea]. *El Odontólogo Invitado*. Julio 2000.
<http://www.carlosboveda.com/Odontologo.../odontoinvitadoold/odontoinvitado7.htm> [Consulta: 23 septiembre 2002]
- Estrada, P. F.; Angelo, L. T.; Gomes, J. E.; Hamata, C. T. M.; Galera, D.; Otoboni, J. A.; Juvenal, M. Evaluación *in vitro* de la capacidad selladora marginal de materiales retroobturadores: estudio del cemento Sealapex adicionado con MTA. *Med Oral (México)*, 2006; 8: 61-67.
- Estrela, C.; Bammann, L. L.; Estrela, C. R. A.; Silva, R. S.; Pécora, J. D. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland Cement, Calcium Hydroxide Paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J*, 2000; 11: 3-9.
- Estrello, A. O.; Poblano, R. D.; Rivera, V.; Noriega, J. B.; Morales, L. A. Sellado apical con cemento Portland y agregado trióxido mineral en obturaciones retrógradas. *Med Oral (México)*, 2006; 8: 13-16.

- Fabra, H.; Aranguren, J. El agregado de mineral trióxido (MTA) como posible tratamiento de los fracasos de origen endoperiodontal. *Endodoncia*, 2001; 19: 40-50.
- Faraco Junior, I. M.; Holland, R. Response of the pulp dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol*, 2001; 17: 163-166.
- Faraco Junior, I. M.; Holland, R. Histomorphological response of dog's dental pulp capped with white mineral trioxide aggregate. *Braz Dent J*, 2004; 2: 104-108.
- Faraco, B.; Castillo, R.; Sánchez, A.; López, J. F. Revisión y análisis comparativo de los distintos sistemas de pernos radiculares. *Gaceta Dental*, 2007; 177: 92-115.
- Farsi, N.; Alamoudi, N.; Balto, K.; Al Mushayt, A. Clinical assessment of mineral trioxide aggregate (MTA) as direct pulp capping in young permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent*, 2006; 31: 72-76.
- Fayos, T. E.; Pallarés, A.; Micó, P.; Faus, V.; Fayos, T. Estudio comparativo de la capacidad de sellado de IRM, cemento Super-EBA y Cavit en obturaciones a retro. *Endodoncia*, 2002; 20: 266-275.
- Felipe, M. C. S.; Felipe, W. T.; Marques, M. M.; Antoniazzi, J. H. The effect of the renewal of calcium hydroxide paste on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J*, 2005; 38: 436-442.
- Felipe, W. T.; Felipe, M. C. S.; Rocha, M. J. C. The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J*, 2006; 39: 2-9.
- Ferk, S.; Malčić, A.; Jukić, S.; Anić, I.; Šegović, S.; Kelenić, S. Coronal microleakage of two root-end filling materials using a polymicrobial marker. *J Endod*, 2008; 34: 201-203.
- Ferris, D. M.; Baumgartner, J. C. Perforation repair comparing two types of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2004; 30:422-424.
- Fischer, E. J.; Arens, D. E.; Miller, C. H. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and super-EBA as a root-end filling material. *J Endod*, 1998; 24: 176-179.
- Fitzpatrick, E.; Steiman, R. Scanning electron microscopic evaluation of finishing techniques on IRM and EBA retrofillings. *J Endod*, 1997; 23: 423-427.
- Fogel, H. M.; Peikoff, M. D. Microleakage of root-end filling materials. *J Endod*, 2001; 27: 456-458.
- Fox, C. H.; Johnson, F. B.; Whiting, J.; Roller, P. P. Formaldehyde fixation. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 1985; 33: 845-853.

- Fox, K.; Wood, D. J.; Youngson, C. C. A clinical report of 85 fractured metallic post-retained crowns. *Int End J*, 2004; 37: 561-573.
- Frank, A. L.; Simon, J. H. S.; Abou-Rass, M.; Glick, D. H. *Endodoncia Clínica y Quirúrgica. Fundamentos en la práctica odontológica*. Barcelona. Labor S. A., 1986.
- Fridland, M.; Rosado, R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod*, 2003; 29: 814-817.
- Fridland, M.; Rosado, R. MTA solubility: a long term study. *J Endod*, 2005; 31: 376-379.
- Friedman, S.; Stabholz, A. Endodontic retreatment—Case selection and technique. Part 1: Criteria for case selection. *J Endod*, 1986; 12: 28-33.
- Fukase, Y.; Eanes, E. D.; Takagi, S.; Chow, L. C.; Brown, W. E. Setting reactions and compressive strengths of calcium phosphate cements. *J Dent Res*, 1990; 69: 1852-1856.
- Fukushima, H.; Yamamoto, K.; Hirohata, K.; Sagawa, H.; Leung, K-P; Walker, C. B. Localization and identification of root canal bacteria in clinically asymptomatic periapical pathosis. *J Endod*, 1990; 16: 534-538.
- Funteas, U. R.; Wallace, J. A.; Fochtman, E. W. A comparative analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Aust Endod J*, 2003; 29: 43-44.
- Fuss, Z.; Abramovitz, I.; Metzger, Z. Sealing furcation perforations with silver glass ionomer cement: an *in vitro* evaluation. *J Endod*, 2000; 26: 466-468.
- Gagliani, M. M.; Gorni, F. G. M.; Strohmenger, L. Periapical resurgery versus periapical surgery: a five year longitudinal comparison. *Int Endod J*, 2005; 38: 320-327.
- Gancedo, L.; García, E. Influence of humidity and setting time on the push-out strength of mineral trioxide aggregate obturations. *J Endod*, 2006; 32: 894-896.
- Gandolfi, M. G.; Sauro, S.; Mannocci, F.; Watson, T. F.; Zanna, S.; Capoferri, M.; Prati, C.; Mongiorgi, R. New tetrasilicate cements as retrograde filling material: an *in vitro* study on fluid penetration. *J Endod*, 2007; 33: 742-745.
- Gandolfi, M. G.; Perut, F.; Ciapetti, G.; Mongiorgi, R.; Prati, C. New Portland cement based materials for endodontics mixed with articaine solution: a study of cellular response. *J Endod*, 2008; 34: 39-44.
- García, E.; Vera, V.; Velázquez, J.; Baldonado, J. L.; Rodríguez, A.; González, C. Nuevas posibilidades terapéuticas en endodoncia. Agregado de Trióxido Mineral. Identificación mineralógica por difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido. *Revista Europea de Odonto-Estomatología*, 2000; 12: 325-330.
- Gay, C. *Temas de Cirugía Bucal*. Tomos I y II. Barcelona: Editorial Signo. 1995.

- Gay, C. Avances en Cirugía Periapical. Aneo. Revista Nacional de Odontología, 1998; 19: 16-20.
- Gerhardt, M.; Braga, C.; Demarco, F. F.; Barbosa, A. L., Tempel, A.; Pozza, D. H. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. Braz Dent J, 2007; 18: 3-7.
- Ghaziani, P.; Aghasizadeh, N.; Sheik-Nezami, M. Endodontic treatment with MTA plug: a case report. J Oral Sci, 2007; 49: 325-329.
- Ghoddusi, J.; Sanaan, A.; Shahrami, F. Clinical and radiographic evaluation of root perforation repair using MTA. N Y State Dent J, 2007; 73: 46-49.
- Gilheany, P. A.; Figdor, D.; Endo, D.; Tyas, M. J. Apical dentin permeability and microleakage associated with root end resection and retrograde filling. J Endod, 1994; 20: 22-26.
- Giuliani, V.; Baccetti, T.; Pace, R.; Pagavino, G. The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. Dental Traumatology, 2002; 18: 217-221.
- Glickman, G. N.; Koch, K. A. 21st-century endodontics. J Am Dent Assoc, 2000; 131: 39S-46S.
- Glossary AAE. Contemporary Terminology for endodontics. Sixth Edition 1998.
- Goldbeck, A. P.; Haney, K. L. Replantation of an avulsed permanent maxillary incisor with an immature apex: report of a case. Dent Traumatol, 2008; 24: 120-123.
- Gomes-Filho, J. E.; Bernabé, P. F. E.; Faria, M. D.; Costa, M. M. M.; Dezan, E.; Otoboni-Filho, J. A.; Nery, M. J. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin and polyethylene tubes filled with grey MTA or light-cured MTA. Abstract N° 47. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. J Endod, 2007; 33: 359.
- Gomes-Filho, J. E.; Bernabé, P. F. E.; Faria, M. D.; Costa, M. M. M.; Dezan, E.; Otoboni-Filho, J. A.; Nery, M. J. Mineral trioxide aggregate but not light-cure mineral trioxide aggregate stimulated mineralization. J Endod, 2008; 34: 63-65.
- Gondim, E. Jr.; Zaia, A. A.; Gomes, B. P. F. A.; Ferraz, C. C. R.; Teixeira, F. B.; Souza-Filho, F. J. Investigation of the marginal adaptation of root-end materials in root-end cavities prepared with ultrasonic tips. Int Endod J, 2003; 36: 491-499.
- Gonzales, J. R.; Rodekirchen, H. Endodontic and periodontal treatment of an external cervical resorption. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007; 104: e70-e77.
- Goodis, H. E.; Marshall, G. W. Jr.; White, J. M. The effects of storage after extraction of the teeth on human dentine permeability *in vitro*. Arch Oral Biol, 1991; 36: 561-566.
- Goon, W. W. Y.; Lundergan, W. P. Redemption of a perforated furcation with a multidisciplinary treatment approach. J Endod, 1995; 21: 576-579.

- Gorduysus, M.; Aveu, N.; Gorduysus, O.; Pekel, A.; Baran, Y.; Avcu, F.; Ural, A. U. Cytotoxic effects of four different endodontic materials in human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod*, 2007; 33: 1450-1454.
- Greco, Y.; García, J. A.; Unzeta, M.; Bueno, R. Manejo del diente permanente traumatizado con fractura radicular: reporte de un caso. *Endodoncia*, 2006; 24: 12-15.
- Gulsahi, A.; Gulsahi, K.; Ungor, M. Invasive cervical resorption: clinical and radiological diagnosis and treatment of 3 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2007; 103: e65-e72.
- Guven, G.; Cehreli, Z. C.; Ural, A.; Serdar, M. A.; Basak, F. Effect of mineral trioxide aggregate cements on transforming growth factor β 1 and bone morphogenetic protein production by human fibroblasts *in vitro*. *J Endod*, 2007; 33: 447-450.
- Hachmeister, D. R.; Schindler, W. G.; Walker, W. A.; Thomas D. D. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod*, 2002; 28: 386-390.
- Haglund, R.; He, J.; Jarvis, J.; Safavi, K. E.; Spångberg, L. S. W.; Zhu, Q. Effects of root-end filling materials on fibroblasts and macrophages *in vitro*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003; 95: 739-745.
- Haller, B.; Hofmann, N.; Klaiber, B.; Bloching, U. Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. *Dent Mater*, 1993; 9: 191-197.
- Hamad, H. A.; Tordik, P. A.; McClanahan, S. B. Furcation perforation repair comparing grey and white MTA: A dye extraction study. *J Endod*, 2006; 32: 337-340.
- Hardy, I.; Liewehr, F. R.; Joyce, A. P.; Agee, K.; Pashley, D. H. Sealing ability of one-up bond and MTA with and without a secondary seal as furcation perforation repair materials. *J Endod*, 2004; 30: 658-661.
- Hartwell, G. R.; England, M. C. Healing of furcation perforations in primate teeth after repair with decalcified freeze-dried bone: a longitudinal study. *J Endod*, 1993; 19: 357-361.
- Harrison, J. W.; Jurosky, K. A. Wound healing in the tissues of the periodontium following periradicular surgery. III. The osseous excisional wound. *J Endod*, 1992; 18: 76-81.
- Hashem, A. A.; Hassanien, E. E. ProRoot MTA, MTA Angelus and IRM used to repair large furcation perforations: sealability study. *J Endod*, 2008; 34: 59-61.
- Hatibović-Kofman, S.; Raimundo, L.; Zheng, L.; Chong, L.; Friedman, M.; Andreasen, J. O. Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol*, 2008; 24: 272-276.

- Hayashi, M.; Shimizu, A.; Ebisu, S. MTA for obturation of mandibular central incisors with open apices: case report. *J Endod*, 2004; 30: 120-122.
- Held, D.; Thron, H. L. Études sur la circulation de l'os. I. La pression tissulaire de la moelle. *Arch Sci Physiol (Paris)*, 1962; 16: 167-177.
- Hernández, E. P.; Botero, T. M.; Mantellini, M. G.; McDonald, N. J.; Nör, J. E. Effect of Proroot MTA mixed with chlorhexidine on apoptosis and cell cycle of fibroblasts and macrophages *in vitro*. *Int Endod J*, 2005; 38: 137-143.
- Herrero, C. A.; Bernardineli, N.; García, R. B.; Duarte, M. A. H.; Guerisoli, D. M. Z. Evaluation of tissue response to MTA and Portland cement with iodoform. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2006; 102: 417-421.
- Heys, D. R.; Cox, C. F.; Heys, R. J.; Avery, J. K. Histological considerations of direct pulp capping agents. *J Dent Res*, 1981; 60: 1371-1379.
- Higa, R.; Torabinejad, M. Comparison of leakage between dry and wet filled retrograde cavities. Abstract N° 15. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 189.
- Himel, V. T.; Alhadainy, H. A. Furcation perforations repaired with light and chemical cured materials. Abstract N° 60. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 199.
- Ho, Y.-C.; Huang, F.-M.; Chang, Y.-C. Mechanisms of cytotoxicity of eugenol in human osteoblastic cells *in vitro*. *Int Endod J*, 2006; 39: 389-393.
- Holden, D. T.; Schindler, W. G.; Schwartz, S. A.; Kirkpatrick, T. C. Clinical success of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices. Abstract OR 17. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 345.
- Holland, R.; de Souza, V.; Nery, M. J.; Otoboni, J. A.; Bernabé, P. F. E.; Dezan, E. Jr. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod*, 1999a; 25: 161-165.
- Holland, R.; de Souza, V.; Nery, M. J.; Otoboni, J. A.; Bernabé, P. F. E.; Dezan, E. Jr. Reaction of dog's teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *J Endod*, 1999b; 25: 728-730.
- Holland, R.; de Souza, V.; Nery, M. J.; Otoboni, J. A.; Bernabé, P. F. E.; Dezan, E. Jr. Reparación de las perforaciones radicales laterales con agregado de trióxido mineral. *Endodoncia*, 2001a; 19: 229-234.

- Holland, R.; de Souza, V.; Nery, M. J.; Otoboni, J. A.; Bernabé, P. F. E.; Dezan, E. Jr. Agregado de trióxido mineral y cemento Portland en la obturación de conductos radiculares de perro. *Endodoncia*, 2001b; 19: 275-280.
- Holland, R.; de Souza, V.; Murata, S. S.; Nery, M. J.; Bernabé, P. F. E.; Otoboni, J. A.; Dezan, E. Jr. Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J*, 2001c; 12: 109-113.
- Holland, R.; de Souza, V.; Nery, M. J.; Faraco, I. M.; Bernabé, P. F. E.; Otoboni, J. A.; Dezan, E. Jr. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with white mineral trioxide aggregate. *Braz Dent J*, 2002a; 13: 23-26.
- Holland, R.; de Souza, V.; Nery, M. J.; Otoboni, J. A.; Bernabé, P. F. E.; Dezan, E. Jr.; Murata, S. S. Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide containing sealers. *J Endod*, 2002b; 28: 173-176.
- Holland, R.; de Souza, V.; Murata, S. S.; Bernabé, P. F. E.; Lima, D. P.; Dezan, E. Jr. Filtración marginal tras la obturación de perforaciones radiculares laterales con distintos materiales. *Endodoncia*, 2005; 23: 94-98.
- Holland, R.; Bisco, L.; de Souza, V.; Otoboni, J. A.; Murata, S. S.; 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: 1192-1197.
- Holt, D. M.; Watts, J. D.; Beeson, T. J.; Kirkpatrick, T. C.; Rutledge, R. E. The antimicrobial effect against *E. faecalis* and the compressive strength of two types of MTA mixed with sterile water or 2% chlorhexidine liquid. Abstract N° 5. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007a; 33: 330.
- Holt, D. M.; Watts, J. D.; Beeson, T. J.; Kirkpatrick, T. C.; Rutledge, R. E. The antimicrobial effect against *Enterococcus faecalis* and the compressive strength of two types of MTA mixed with sterile water or 2% chlorhexidine liquid. *J Endod*, 2007b; 33: 844-847.
- Hong, C. U.; Torabinejad, M.; Kettering, J. D. The effects of three retrofilling materials on selected oral bacteria. Abstract N° 67. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 200.
- Hong, C.U.; McKendry, D.J.; Pitt Ford, T. R.; Torabinejad, M. Healing of furcal lesions repaired by amalgam or mineral trioxide aggregate. Abstract N° 37. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1994; 20: 197.

- Hong, S. T.; Bae, K. S.; Baek, S. H.; Kum, K. Y.; Lee, W. Microleakage of accelerated mineral trioxide aggregate and Portland cement in an *in vitro* apexification model. J Endod, 2008; 34: 56-58.
- Hsien, H.-C.; Cheng, Y.-A.; Lee, Y.-L.; Lan, W.-H.; Lin, C.-P. Repair of perforating internal resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. J Endod, 2003; 29: 538-539.
- Ichim, I.; Kuzmanovic, D. V.; Love, R. M. A finite element analysis of ferrule design on restoration resistance and distribution of stress within a root. Int Endod J, 2006; 39: 443-452.
- Imura, N.; Pinheiro, E. T.; Gomes, B. P. F. A.; Zaia, A. A.; Ferraz, C. C. R.; Souza-Filho, F. J. The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist. J Endod, 2007; 33: 1278-1282.
- Ingle, J. I. A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1961; 14: 83-91.
- Ingle-Bakland. Endodontics. London: BcDecker, Inc. 2002.
- Iqbal, M. K.; Gartenberg, J.; Kratchman, S. I.; Karabucak, B.; Bui, B. The clinical significance and management of apical accessory canals in maxillary central incisors. J Am Dent Assoc, 2005; 136: 331-335.
- Islam, I.; Chng, H. K.; Yap, A. U. J. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. J Endod, 2006a; 32: 193-197.
- Islam, I.; Chng, H. K.; Yap, A. U. J. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. Int Endod J, 2006b; 39: 220-225.
- Iwamoto, C. E.; Adachi, E.; Pameijer, C. H.; Barnes, D.; Romberg, E. E.; Jefferies, S. Am J Dent, 2006; 19: 85-90.
- Jafarnia, B.; He, J.; Safavi, K.; Sapangberg, L.; Zhu, Q. The effect of various additives on biocompatibility of MTA. Abstract OR 21. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. J Endod, 2008; 34: 346.
- Jantararat, J.; Dashper, S. G.; Messer, H.H. Effect of matrix placement on furcation perforation repair. J Endod, 1999; 25: 192-196.
- Jaouni, M.; Hoover, C.; Goodis, H. E. A comparison of root canal apical seal using MTA and gutta-percha evaluated using a saliva leakage model. Abstract N° 53. American Association of Endodontists. 64th Annual Session. April 25 – 28, 2007. J Endod, 2007; 33: 361.
- Jaramillo, A.; Fernández, R.; Villa, P. Endodontic treatment of *dens invaginatus*: a 5-year follow-up. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2006; 101: E15-21.

- Javaheri, H. H.; Javaheri, G. H. Cytotoxicity of MTA, Root-MTA and Portland cement. Abstract N° 54. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. J Endod, 2007; 33: 361.
- Jeansonne, B. G.; Boggs, W. S.; Lemon, R. R. Ferric sulfate hemostasis: effect on osseous wound healing. II. With curettage and irrigation. J Endod, 1993; 19: 174-176.
- Jew, R. C. K.; Weine, F. S.; Keene, J. J.; Smulson, M. H. A histologic evaluation of periodontal tissues adjacent to root perforations filled with Cavit. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1982; 54: 124-135.
- John, A. D.; Webb, T. D.; Imamura, G.; Goodell, G. G. A fluid flow evaluation of GC Fuji Triage and gray and white MTA intraorifice barriers. Abstract PR 25. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. J Endod, 2008; 34: 362.
- Johns, L. P.; Merrit, K.; Agarwal, S.; Ceravolo, F. J. Immunogenicity of a bovine collagen membrane in guided tissue regeneration (GTR). Abstract N° 1538. American Association for Dental Research. 21st Annual Meeting and Exhibition. March 11 - 14, 1992. J Dent Res, 1992; 71: 298.
- Johnson, B. R. Considerations in the selection of a root end filling material. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1999; 87: 398-404.
- Juárez, N.; Bramante, C. M.; Assis, G. F.; Bortoluzzi, E. A.; Bernadineli, N.; Moraes, I. G.; Moraes, I. G. Tratamiento de perforaciones radiculares en dientes de perros con dos marcas comerciales de agregado trióxido mineral (MTA). Endodoncia, 2005; 23: 165-170.
- Juárez, N.; Bramante, C. M.; Assis, G. F.; Bortoluzzi, E. A.; Bernadineli, N.; Moraes, I. G.; Moraes, I. G. Tratamiento de perforaciones radiculares con agregado de trióxido mineral (MTA) y cemento Portland blanco con cloruro de calcio al 10% en dientes de perro. Rev Sanid Milit Mex, 2006a; 60: 94-102.
- Juárez, N.; Bramante, C. M.; Assis, G. F.; Bortoluzzi, E. A.; Bernadineli, N.; Moraes, I. G.; Moraes, I. G. Healing of root perforations treated with mineral trioxide aggregate and Portland cement. J Appl Oral Sci, 2006b; 14: 305-311.
- Junn, D. J.; Bakland, L. K.; Torabinejad, M. Quantitative assessment of dentin bridge formation following pulp capping with mineral trioxide aggregate (MTA). Abstract N° 29. American Association of Endodontists. 55th Annual Session. May 6-10, 1998. J Endod, 1998; 24: 278.
- Kakehashi, S.; Sanley, H. R.; Fitzgerald, R. J. The effects of surgical exposures in the dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1965; 20: 340-349.

- Karabucak, B.; Li, D.; Lim, J.; Igbal, M. Vital pulp therapy with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol*, 2005; 21: 240-243.
- Kaufman, A. Y.; Keila, S. Conservative treatment of root perforations using apex locator and thermatic compactor—Case study of a new method. *J Endod*, 1989; 267-272.
- Keiser, K.; Johnson, C. C.; Tipton, D. A. Citotoxicidad del agregado de trióxido mineral empleando fibroblastos del ligamento periodontal humano. *Endodoncia*, 2000; 4: 215-220.
- Kettering, J. D.; Torabinejad, M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod*, 1995; 21: 537-539.
- King, K. T.; Anderson, R. W.; Pashley, D. H.; Pantera, E. A. Longitudinal evaluation of the seal of endodontic retrofillings. *J Endod*, 1990; 16: 307-310.
- Kogan, P.; He, J.; Glickman, G. N.; Watanabe, I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod*, 2006; 32: 569-572.
- Koh, E. T.; McDonald, F.; Pitt Ford, T. R.; Torabinejad, M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 1998; 24: 543-547.
- Koh, E. T.; Chen, N. N.; Pitt Ford, T. R.; Kariyawasam, S. P.; Torabinejad, M. Treatment of dens evaginatus. *J Endod*, 2001; 27: 540-542.
- Komabayashi, T.; Spångberg, L. S. W. Comparative analysis of particle size and shape between ProRoot MTA and MTA Angelus. Abstract N° 1. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007; 33: 329.
- Komabayashi, T.; Spångberg, L. S. W. Comparative analysis of particle size and shape of commercially available mineral trioxide aggregates and Portland cement: a study with a flow particle image analyzer. *J Endod*, 2008a; 34: 94-98.
- Komabayashi, T.; Spångberg, L. S. W. Particle size and shape analysis of MTA finer fractions using Portland cement. *J Endod*, 2008b; 34: 709-711.
- Kontakiotis, E. G.; Lagoudakos, T. A.; Georgopoulou. The influence of root-end resection and root-end cavity preparation on microleakage of root filled teeth *in vitro*. *Int Endod J*, 2004; 37: 403-407.
- Kosti, E.; Molyvdas, I.; Lambrianidis, T. An unusual case of root perforation caused by surgical trephination. *Int Endod J*, 2008; 41: 516-523.
- Koulaouzidou, E. A.; Papazisis, K. T.; Economides, N. A.; Beltes, P.; Kortsaris, A. H. Antiproliferative effect of mineral trioxide aggregate, zinc-eugenol cement, and glass-ionomer cement against three fibroblastic cell lines. *J Endod*, 2005; 31: 44-46.

- Kratchman, S. I. Perforation repair and one-step apexification procedures. *Dent Clin North Am*, 2004; 48:291-307.
- Kvinnsland, I.; Oswald, R. J.; Halse, A.; Gronningsaeter, A. G. A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforations. *Int Endod J*, 1989; 22: 75-84.
- Kwak, K. I.; Park, D. S.; Oh, T. S. The effect of obturation timing and thickness of mineral trioxide aggregate matrix on sealing ability. Abstract N° 21. American Association of Endodontists. 57th Annual Session. March 31 - April 1, 2000. *J Endod*, 2000; 26: 557.
- Lai, C.-C.; Huang, F.-M.; Chan, Y.; Yang, H.-W.; Huang, M.-S.; Chou, M.-Y.; Chang, Y.-C. Antibacterial effects of resinous retrograde root filling materials. *J Endod*, 2003; 29: 118-120.
- Lamb, E. L.; Loushine, R. J.; Weller, R. N.; Kimbrough, W. F.; Pashley, D. H. Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003; 95: 732-735.
- Lasala, A. *Endodoncia*. Barcelona: Ediciones Científicas y Técnicas S.A. 1992.
- Lawley, G. R.; Schindler, W. G.; Walker, W. A.; Kolodrubetz, D. Evaluation of ultrasonic placed MTA and fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *J Endod*, 2004; 30: 167-172.
- Lee, E. S. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endod*, 2000; 26: 764-765.
- Lee, S.-J.; Monsef, M.; Torabinejad, M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*, 1993; 19: 541-544.
- Lee, Y.-L.; Lin, F.-H.; Wang, W.-H.; Ritchie, H. H.; Lan, W.-H.; Lin, C.-P. Effects of EDTA on the hydration mechanism of mineral trioxide aggregate. *J Dent Res*, 2007; 86: 534-538.
- Lemon, R. R.; Steele, P. J.; Jeansonne, B. G. Ferric sulfate hemostasis: effect on osseous wound healing. I. Left in situ for maximum exposure. *J Endod*, 1993; 19: 170-173.
- Levitan, M. E.; Himel, V. T. Dens evaginatus: literature review, pathophysiology, and comprehensive treatment regimen. *J Endod*, 2006; 32: 1-9.
- Lin, L. M.; Pascon, E. A.; Skribner, J.; Gängler, P.; Langeland, K. Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1991; 71: 603-611.
- Lin, L. M.; Skribner, J. E.; Gaengler, P. Factors associated with endodontic treatment failures. *J Endod*, 1992; 18: 625-627.
- Lin, L. M.; Rosenberg, P. A.; Lin, J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure? *J Am Dent Assoc*, 2005; 136: 187-193.

- Lin, C. C.; Tsai, Y. L.; Li, U. M.; Chang, Y. C.; Lin, C. P.; Jeng, J. H. Horizontal/oblique root fractures in the palatal root of maxillary molars with associated periodontal destruction: case reports. *Int Endod J*, 2008; 41: 442-447.
- Lindeboom, J. A. H.; Frenken, J. W. F. H.; Kroon, F. H. M.; van den Akker, H. P. A comparative prospective randomized clinical study of MTA and IRM as root-end filling materials in single-rooted teeth in endodontic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005; 100: 495-500.
- Liñares, J. M. *Endodoncia Quirúrgica*. Barcelona: Instituto Lácer de la Salud Buco-Dental. 2000.
- Longos, C. E.; Van Cura, J. E.; Alves, M. E.; Nalway, C. Blood and urine mercury levels following retrograde amalgams in primates. Abstract N° 14. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 188-189.
- Loxley, E. C.; Liewehr, F. R.; Buxton, T. B.; McPherson, J. C. The effect of various intracanal oxidizing agents on the push-out strength of various perforation repair materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003; 95: 490-494.
- Mah, T.; Basrani, B.; Santos, J. M.; Pascon, E. A.; Tjäderhane, L.; Yared, G.; Lawrence, H. P.; Friedman, S. Periapical inflammation affecting coronally-inoculated dog teeth with root fillings augmented by white MTA orifice plugs. *J Endod*, 2003; 29: 442-446.
- Maher, W. P.; Johnson, R. L.; Hess, J.; Steiman, H. R. Biocompatibility of retrograde filling materials in the ferret canine. Amalgam and IRM. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1992; 73: 738-745.
- Mahmoud, O.; Whitworth, J.; McCabe, J. Chemical analysis of MTA before and after hydration with water and water/serum mixture. European Society of Endodontology. 13th Biennial Congress. Istanbul, Turkey. 6-8 September 2007. R 3.69. *Int Endod J*, 2007b; 40: 1000.
- Main, C.; Mirzayan, N.; Shabahang, S.; Torabinejad, M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long-term study. *J Endod*, 2004; 30: 80-83.
- Makkawy, H.-A. M.; Koka, S.; Lavin, M. T.; Ewoldsen, N. O. Cytotoxicity of root perforation repair materials. *J Endod*, 1998; 24: 477-479.
- Malcic, I. A.; Jukic, S.; Brzovic, V.; Miletic, I.; Anic, I. Leakage of bovine serum albumin in root canals obturated with super-EBA and IRM. *J Endod*, 2006; 32: 368-371.
- Malcic, I. A.; Ferk, L. S.; Jukic, K. S.; Segovic, S.; Anic, I. Coronal microleakage of two root-end filling materials using a polymicrobe marker. European Society of Endodontology. 13th

Biennial Congress. Istanbul, Turkey. 6-8 September 2007. R 3.87. Int Endod J, 2007b; 40: 1005.

- Maltezos, C.; Glickman, G. N.; Ezzo, P.; He, J. Comparison of the sealing of resilon, Proroot MTA and SuperEBA as root-end filling materials: a bacterial leakage study. J Endod, 2006; 32: 324-327.
- Mangin, C.; Yesilsoy, C.; Nissan, R.; Stevens, R. The comparative sealing ability of hidroxyapatite cement, mineral trioxide aggregate, and super ethoxybenzoic acid as root-end filling materials. J Endod, 2003; 29: 261-264.
- Markowitz, K.; Moynihan, M.; Liu, M.; Kim, S. Biologic properties of eugenol and zinc oxide-eugenol. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1992; 73: 729-737.
- Maroto, M. Estudio clínico del agregado trióxido mineral en pulpotomías de molares temporales. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, 2003.
- Maroto, M.; Barbería, E.; Planells, P. Estudio clínico del agregado de trióxido mineral en pulpotomías de molares temporales: estudio piloto a 15 meses. RCOE, 2004; 9: 23-30.
- Maroto, M.; Barbería, E.; Vera, V.; García-Godoy, F. Dentin bridge formation after white mineral trioxide aggregate (white MTA) pulpotomies in primary molars. Am J Dent, 2006; 19: 75-79.
- Maroto, M.; Barbería, E.; Vera, V.; Salazar, L. Contrastada experiencia clínica, a largo plazo, en el uso del agregado trióxido mineral en pulpotomías de dientes temporales. Gaceta dental, 2007; 177: 76-90.
- Martell, B.; Chandler, N. P. Electrical and dye leakage comparison of three root-end restorative materials. Quintessence Int, 2002; 33: 30-34.
- Martin, L. R.; Gilbert, B.; Dickerson, A. W. Management of endodontic perforations. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1982; 54: 668-677.
- Martín, B.; García, M.; Barciela, N.; Fernández, J.; Suárez, B.; Cantatore, G.; Varela, P. Aplicaciones clínicas del MTA: a propósito de dos casos. Odont Conserv, 2006; 9: 5-11.
- Martin, R. L.; Monticelli, F.; Brackett, W. W.; Loushine, R. J.; Rockman, R. A.; Ferrari, M.; Pashley, D. H.; Tay, F. R. Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plug and root fillings in an *in vitro* apexification model. J Endod, 2007; 33: 272-275.
- Martínez, J.; Arroyo, S. "Utilización del microscopio en endodoncia quirúrgica" [en línea]. Dental World. <<http://qbsystems.com/papers/endo/microsco.htm>> [Consulta 13 diciembre 2002]

- Matt, G. D.; Thorpe, J. R.; Strother, J. M.; McClanahan, S. B. Comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate (MTA) simulating a One or Two Step Apical Barrier Technique. *J Endod*, 2004; 30: 876-879.
- Matloff, I. R.; Jensen, J. R.; Singer, L.; Tabibi, A. A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1982; 53: 203-208.
- McKendry, D. J.; Higa, R.; Torabinejad, M. Effect of setting time on leakage of selected retrofilling materials. Abstract N° 57. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 199.
- Meire, M.; De Moor, R. Mineral trioxide aggregate repair of a perforating internal resorption in a mandibular molar. *J Endod*, 2008; 34: 220-223.
- Meister, F.; Lommel, T. J.; Gerstein, H.; Davies, E. E. Endodontic perforations which resulted in alveolar bone loss. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1979; 47: 463-470.
- Mendoza, A.; Solano, E.; de Luque, F. Cierre apical mediante agregado de trióxido mineral (MTA). *Endodoncia*, 2002; 1: 28-38.
- Menezes, R.; Monteiro, C.; Brandão, R.; Letra, A.; Gomes, V. G.; Carneiro, E.; Brunini, S.; Cardoso, R.; Calichio, G.; Gomes, F. Microscopic analysis of dog dental pulp after pulpotomy and pulp protection with mineral trioxide aggregate and white Portland cement. *J Appl Oral Sci*, 2004; 12: 1-8.
- Menezes, R.; Silva-Neto, U. X.; Carneiro, E.; Letra, A.; Monteiro, C.; Bernadinelli, N. MTA repair of a supracrestal perforation: a case report. *J Endod*, 2005; 31: 212-213.
- Merchant, V. A.; Livingston, M. J.; Pashley, D. H. Dentin permeation: comparison of diffusion with filtration. *J Dent Res*, 1977; 56: 1161-1164.
- Meryon, S. D.; Browne, R. M.; Stephens, P. G. A comparison of the *in vitro* cytotoxicity of two glass-ionomer cements. *J Dent Res*, 1983; 62: 769-773.
- MeSH: Index Medicus: Medical Subject Headings (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=mesh>)
- Metzger, Z.; Shperling, I. Iatrogenic perforation of the roots of restoration-covered teeth. *J Endod*, 1981; 7: 232-233.
- Milot, P.; Stein, S. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent*, 1992; 68: 428-435.
- Miñana, M. Utilización del agregado de trióxido mineral (MTA) como barrera apical en dientes con el ápice abierto. *Endodoncia*, 2000; 18: 131-139.

- Mitchell, P. J.; Pitt Ford, T. R.; Torabinejad, M.; McDonald, F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials*, 1999; 20: 167-173.
- Mittal, M.; Chandra, S.; Chandra, S. An evaluation of plaster of Paris barriers used under various materials to repair furcation perforations (*in vitro* study). *J Endod*, 1999; 25: 385-388.
- Moghaddame-Jafari, S.; Mantellini, M. G.; Botero, T. M.; McDonald, N. J.; Nör, J. E. Effect of ProRoot MTA on pulp cell apoptosis and proliferation *in vitro*. *J Endod*, 2005; 31: 387-391.
- Mohammadi, Z.; Modaresi, J.; Yazdizadeh, M. Evaluation of the antifungal effects of mineral trioxide aggregate materials. *Aust Endod J*, 2006; 32: 120-122.
- Moldauer, B. I. Reparación de una perforación lateral radicular utilizando MTA. Reporte de un caso [en línea]. *Dentinator*. Zona Endodoncia - Artículos.
<http://www.dentinator.net/Especialidades/endo/articulos/endoarti5.htm> [Consulta: 8 marzo de 2005].
- Moloney, L. G.; Feik, S. A.; Ellender, G. Sealing ability of three materials used to repair lateral root perforations. *J Endod*, 1993; 19: 59-62.
- Mooney, G. C.; North, S. The current opinions and use of MTA for apical barrier formation of non-vital immature permanent incisors by consultants in paediatric dentistry in the UK. *Dent Traumatol*, 2008; 24: 65-69.
- Monteiro, C.; Aguirre, M. Análisis en microscopía de barrido de la superficie apical en apicectomías realizadas usando fresa y láser. *Endodoncia*, 2003; 21: 90-96.
- Monteiro, C.; Antunes, E.; Juárez, M. N. Agregado trióxido mineral (MTA) como plug para la obturación de conductos radiculares: descripción de la técnica y caso clínico. *Endodoncia*, 2004; 22: 155-161.
- Montellano, A. M.; Schwartz, S. A.; Beeson, T. J. Contamination of tooth-colored mineral trioxide aggregate used as root-end filling material: a bacterial leakage study. *J Endod*, 2006; 32: 452-455.
- Moretti, A. B. S.; Oliveira, T. M.; Sakai, V. T.; Santos, C. F.; Machado, M. A. A. M.; Abdo, R. C. C. Mineral trioxide aggregate pulpotomy of a primary second molar in a patient with agenesis of the permanent successor. *Int Endod J*, 2007; 40: 738-745.
- Myers, K.; Kaminski, E.; Lautenschlager, E.; Miller, D. The effects of mineral trioxide aggregate on the dog pulp. Abstract N° 39. American Association of Endodontists. 53rd Annual Session. April 24-28, 1996. *J Endod*, 1996; 22: 198.
- Naik, S.; Hegde, A. M. Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in primary molars: An *in vivo* study. [en línea] *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 2005; 23:13-16.

<http://www.jisppd.com/article.asp?issn=09704388;year=2005;volume=23;issue=1;spage=13;epage=16;aulast=Nai>
[k](#)

- Nair, P. N. R.; Duncan, H. F.; Pitt Ford, T. R.; Luder, H. U. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *Int Endod J*, 2008; 41: 128-150.
- Nakata, T. T.; Bae, K. S.; Baumgartner, J. C. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam. Abstract N° 40. American Association of Endodontists. American Association of Endodontists. 54th Annual Session. May 7-11, 1997. *J Endod*, 1997; 23: 259.
- Nakata, T. T.; Bae, K. S.; Baumgartner, J. C. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endod*, 1998; 24: 184-186.
- Nakayama, A.; Ogiso, B.; Tanabe, N.; Takeichi, O.; Matsuzaka, K.; Inoue, T. Behaviour of bone marrow osteoblast like cells on mineral trioxide aggregate: morphology and expression of type I collagen and bone related protein mRNAs. *Int Endod J*, 2005; 38: 203-210.
- Namazikhah, M. S.; Nekoofar, M. H.; Sheykhrezae, M. S.; Salariyeh, S.; Hayes, S. J.; Bryant, S. T.; Mohammadi, M. M.; Dummer, P. M. H. The effect of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 2008; 41: 108-116.
- Nandini, S.; Ballal, S.; Kandaswamy, D. Influence of glass-ionomer cement on the interface and setting reaction of mineral trioxide aggregate when used as a furcal repair material using laser raman spectroscopic analysis. *J Endod*, 2007; 33: 167-172.
- Nationwide Premixed Ltd. 22 Thorne Way, Woolsbridge Industrial Park, Three Legend Cross. Wimborne, Dorset. BH216SP. [Consulta: 30 diciembre 2006]
<http://www.nationwidepremixed.com>
- Neaverth, E. J. Disabling complications following inadvertent overextension of a root canal filling material. *J Endod*, 1989; 15: 135-139.
- Nekoofar, M. H.; Adusei, G.; Sheykhrezae, M. S.; Hayes, S. J.; Bryant, S. T. The effect of condensation pressure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 2007; 40: 453-461.
- Nicholls, E. Treatment of traumatic perforations of the pulp cavity. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1962; 15: 603-612.
- Ochoa, C. A.; Herrera, C.; Jiménez, A. P. MTA: generalidades y usos endodóncicos. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Odontología. Postgrado de Endodoncia. Artículos de revisión [en línea]. [http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Odontologia/posgrados/acadendo/i a revisio...](http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Odontologia/posgrados/acadendo/i_a_revisio...) [Consulta: 8 marzo 2005].

- Oehlers, F. A. *Dens invaginatus*, part I: variations of the invagination process and association with anterior crown forms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1958; 11: 1251-1260.
- Olsen, F. K.; Austin, B. P.; Walia, H. Osseous reaction to implanted ZOE retrograde filling materials in the tibia of rats. *J Endod*, 1994; 20: 389-394.
- Olsson, H.; Petersson, K.; Rohlin, M. Formation of a hard tissue barrier after pulp cappings in humans. A systematic review. *Int Endod J*, 2006; 39: 429-442.
- Orts, M. T.; Kessler, F.; Pacheco, M. C.; Ruiz de Temiño, P. Ultrasonidos en endodoncia: II parte. Aplicaciones clínicas. *Rev Esp Endod*, 1989; 7: 107-114.
- Oswald, R. J. Accidentes durante los procedimientos endodóncicos y su tratamiento. *Clínicas Odontológicas De Norteamérica*, 1979; 4: 588-612.
- O'Sullivan, S. M.; Hartwell, G. R. Obturation of a retained primary mandibular second molar using mineral trioxide aggregate: a case report. *J Endod*, 2001; 27: 703-705.
- Osorio, R. M.; Hefti, A.; Vertucci, F. J.; Shawley, A. L. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod*, 1998; 24: 91-96.
- Oviir, T.; Pagoria, D.; Ibarra, G.; Geurtsen, W. Effects of grey and white mineral trioxide aggregate on the proliferation of oral keratinocytes and cementoblasts. *J Endod*, 2006; 32: 210-213.
- Özdemir, H. Ö.; Özçelik, B.; Karabucak, B.; Cehreli, Z. C. Calcium ion diffusion from mineral trioxide aggregate through simulated root resorption defects. *Dent Traumatol*, 2008; 24: 70-73.
- Pace, R.; Giuliani, V.; Pini, L.; Baccetti, T.; Pagavino, G. Apical plug technique using mineral trioxide aggregate: results from a case series. *Int Endod J*, 2007; 40: 478-484.
- Pace, R.; Giuliani, V.; Pagavino, G. Mineral trioxide aggregate in the treatment of external invasive resorption: a case report. *Int Endod J*, 2008; 41: 258-266.
- Pacheco, M. C.; Kessler, F.; Orts, M. T.; Ruiz de Temiño, P. Ultrasonidos en endodoncia: mecanismo de acción. *Rev Esp Endod*, 1989; 7: 7-12.
- Pacheco, C. Diagnóstico del fracaso de los tratamientos de conductos radiculares. *Endodoncia*, 1993; 11: 57-63.
- Panzarini, S. R.; Holland, R.; De Souza, V.; Pol, W. R.; Sonoda, C. K.; Pedrini, D. Mineral trioxide aggregate as a root canal filling material in reimplanted teeth. Microscopic analysis in monkeys. *Dent Traumatol*, 2007; 23: 265-272.
- Parirokh, M.; Asgary, S.; Eghbal, M. J.; Stowe, S.; Eslami, B.; Eskandarizade, A.; Sahabahang, S. A comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents in dog's teeth. *Dent Traumatol*, 2005; 21: 150-154.

- Park, K. T.; Yang, W. K.; Kim, M. R.; Ko, H. J. The effect of MTA and rhBMP-2 on the mineralizing potential of human cementum-derived cells. European Society of Endodontology. 13th Biennial Congress. Istanbul, Turkey. 6-8 September 2007. R 1.7. *Int Endod J*, 2007b; 40: 981.
- Pashley, D. H.; Thompson, S. M.; Stewart, F. P. Dentin permeability: effects of temperature on hydraulic conductance. *J Dent Res*, 1983; 62: 956-959.
- Patchett, C. L.; Srinivasan, V.; Waterhouse, P. J. Is there life after Buckley's formocresol? Part II – Development of a protocol for the management of extensive caries in the primary molar. *Int J Paed Dent*, 2006; 16: 199-206.
- Patel, R.; Cohenca, N. Maturogenesis of a cariously exposed immature permanent tooth using MTA for direct pulp capping: a case report. *Dent Traumatol*, 2006; 22: 328-333.
- Pecora, G.; De Leonardís, D.; Fabi, M.; Melendandri, R.; Lattanzí, U. Profondità della preparazione e sigillo del neoapice. *Kaps Microscopi* [en línea] www.classimplant.com/catalogo/kaps/elbiblio.htm [Consulta: 1 octubre 2004].
- Peng, L.; Ye, L.; Guo, X.; Tan, H.; Zhou, X.; Wang, C.; Li, R. Evaluation of formocresol versus mineral trioxide aggregate primary molar pulpotomy: a meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2006; 102: e40-e44.
- Peng, L.; Ye, L.; Guo, X.; Tan, H.; Zhou, X.; Wang, C.; Li, R. Evaluation of formocresol versus ferric sulphate primary molar pulpotomy: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*, 2007; 40: 751-757.
- Peix, M. Tratamiento no quirúrgico de perforaciones en el tercio medio de la raíz. Dos casos clínicos. *Endodoncia*, 1998; 16: 191-198.
- Pekruhn, R. B. The incidence of failure following single-visit endodontic therapy. *J Endod*, 1986; 12: 68-72.
- Pelliccioni, G. A.; Vellani, C. P.; Gatto, M. R. A.; Gandolfi, M. G.; Marchetti, C.; Prati, C. Proroot mineral trioxide aggregate cement used as a retrograde filling without addition of water: an *in vitro* evaluation of its microleakage. *J Endod*, 2007; 33: 1082-1085.
- Pérez, A. L.; Spears, R.; Gutmann, J. L.; Opperman, L. A. Osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells behave differently in contact with ProRoot MTA and White MTA. *Int Endod J*, 2003; 36: 564-570.
- Peters, C. I.; Peters, O. A. Occlusal loading of EBA and MTA root-end fillings in a computer-controlled masticator: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*, 2002; 35: 22-29.

- Peydro, M.; Forner, L. Filtración apical de MTA. Trabajo de Investigación. Programa de doctorado "Fisiopatología del aparato estomatognático". Facultad de Medicina y Odontología de Valencia. Valencia, 2004a.
- Peydro, M.; Forner, L. Revisión bibliográfica actualizada sobre el MTA. Archivos de Odontostomatología, 2004b; 20: 610-627.
- Pichardo, M. R.; George, S. W.; Bergeron, B. E.; Jeansonne, B. G.; Rutledge, R. Apical leakage of root-end placed SuperEBA, MTA, and Geristore restorations in human teeth previously stored in 10% formalin. J Endod, 2006; 32: 956-959.
- Pistorius, A.; Willershausen, B.; Briseño, B. Effect of apical root-end filling materials on gingival fibroblasts. Int Endod J, 2003; 36: 610-615.
- Pitt Ford, T. R. Relation between seal of root fillings and tissue response. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1983; 55: 291-394
- Pitt Ford, T. R. Pulpal response to a calcium hydroxide material for capping exposures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1985; 59: 194-197.
- Pitt Ford, T. R.; Hong, C. U.; Torabinejad, M. Mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. Abstract N° 1. American Association of Endodontists. 51st Annual Session. April 27-May1, 1994. J Endod, 1994a; 20: 188.
- Pitt Ford, T. R.; Andreasen, J. O.; Kariyawasam, S. P. Effect of IRM root end fillings on healing after replantation. J Endod, 1994b; 20: 381-385.
- Pitt Ford, T. R.; Andreasen, J. O.; Kariyawasam, S. P.; Dorn, S. O. Effect of various zinc oxide materials as root-end fillings on healing after replantation. Int Endod J, 1995a; 28: 273-278.
- Pitt Ford, T. R.; Torabinejad, M.; McKendry, D. J.; Hong, C.-U.; Kariyawasam, S. P. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1995b; 79: 756-763.
- Pitt Ford, T. R.; Torabinejad, M.; Abedi, H. R.; Bakland, L. K.; Kariyawasam, S. P. Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. J Am Dent Assoc, 1996; 127: 1491-1494.
- Pitt Ford, T.; Mannocci, F.; Woolford, M. Survey on the teaching and use of mineral trioxide aggregate in UK dental schools. Eur J Dent Educ, 2007; 11: 155-159.
- Poggio, C.; Lombardini, M.; Alessandro, C.; Simonetta, R. Solubility of root end filling materials: a comparative study. J Endod, 2007; 33: 1094-1097.

- Primus, C. M. Cartas al editor. Comentarios al artículo "Arsenic release provided by MTA and Portland cement", de Duarte, M. A. y cols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005; 101: 416-417.
- Pucci, F. M.; Reig, R. *Conductos radiculares*. Montevideo: Casa a Barreiro y Ramos, S. A. 1946
- Putschler, H.; Melon, S. N. On the chemistry of formaldehyde fixation and its effects on immunohistochemical reactions. *Histochemistry*, 1985; 82: 201-204.
- Quiroga, A. Restauración de dientes tratados endodómicamente. [en línea]. *Revista científica. Asociación de Odontología Restauradora y Biomateriales*.
www.ecuaodontologos.com/espanol/articulos_odont/4.html [Consulta: 1 octubre 2006].
- Qudeimat, M. A.; Barrieshi-Nusair, K. M.; Owais, A. I. Calcium hydroxide vs mineral trioxide aggregates for partial pulpotomy of permanent molars with deep caries. *Eur Arch Paediatr Dent*, 2007; 8: 99-104.
- Racca, S. E. "MTA: Un nuevo material de reparación en endodoncia" [en línea].
<http://www.corsario.org.ar/rev/racca/racca/htm> [Consulta: 4 octubre 2002].
- Rafter, M.; Baker, M.; Alves, M.; Daniel, J.; Remeikis, N. A. Evaluation of healing using internal matrix to repair furcation perforations in primate teeth. Abstract N° 3. American Association of Endodontists. 53rd Annual Session. April 24-28, 1996. *J Endod*, 1996; 22: 189.
- Rafter, M. Apexification: a review. *Dent Traumatol*, 2005; 21: 1-8.
- Ramachandran, P. N.; Sjögren, U.; Krey, G.; Kahnberg, K.-E.; Sundqvist, G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endod*, 1990; 16: 580-588.
- Ramos, M. E.; Coêlho, B.; Costa, L. V.; Odorico, M.; Marcílio, E.; Pessoa, C. Evaluation of mutagenic effects of formocresol: detection of DNA-protein cross-link and micronucleus in mouse bone marrow. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008; 105: 398-404.
- Regan, J. D.; Gutmann, J. L.; Witherspoon, D. E. Comparison of Diaket and MTA when used as root-end filling materials to support regeneration of the periradicular tissues. *Int Endod J*, 2002; 35: 840-847.
- Rezende, T. M. B.; Vargas, D. L.; Cardoso, F. P.; Sobrinho, A. P. R.; Vieira, L. Q. Effect of mineral trioxide aggregate on cytokine production by peritoneal macrophages. *Int Endod J*, 2005; 38: 896-903.

- Rezende, T. M. B.; Vieira, L. Q.; Cardoso, F. P.; Oliveira, R. R.; Oliveira, L. Q. The effect of mineral trioxide aggregate on phagocytic activity and production of reactive oxygen, nitrogen species and arginase activity by M1 and M2 macrophages. *Int Endod J*, 2007; 40: 603-611.
- Ribeiro, D. A.; Matsumoto, M. A.; Duarte, M. A. H. *In vitro* biocompatibility tests of two commercial types of mineral trioxide aggregate. *Braz Oral Res*, 2005; 19: 183-187.
- Ribeiro, D. A.; Matsumoto, M. A.; Duarte, M. A. H.; Marques, M. E. A.; Salvadori, D. M. F. *Ex vivo* biocompatibility tests of regular and white forms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 2006a; 39: 26-30.
- Ribeiro, D. A.; Sugui, M. M.; Matsumoto, M. A.; Duarte, M. A. H.; Marques, M. E. A.; Salvadori, D. M. F. Genotoxicity and cytotoxicity of mineral trioxide aggregate and regular and white Portland cement on Chinese hamster ovary (CHO) cells in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2006b; 101: 260-263.
- Ribeiro, D. A. Do endodontic compounds induce genetic damage? A comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008; 105: 251-256.
- Robertson, D.; Leeb, I. J.; McKee, M.; Brewer, E. A clearing technique for the study of root canal systems. *J Endod*, 1980; 6: 421-424.
- Robinson, S. C.; Schuster, G. S.; Primack, P. D.; Lewis, J. B. Fibroblast attachment to root-end filling materials. Abstract N° 16. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 189.
- Rocamora, M.; Teixidó, M.; Roig, M. Obturación apical por vía ortógrada con MTA en un diente con ápice abierto. *Endodoncia*, 2001; 19: 17-20.
- Rodríguez, A. *Endodoncia. Consideraciones Actuales*. Madrid: Amolca S. L. 2003.
- Rodríguez, P. J.; Sancho, J. L.; Barjau, A.; Forner, L.; Pérez, A.; Sánchez, F. T. Influence of prefabricated post dimensions on restored maxillary central incisors. *Journal of Oral Rehabilitation*, 2007; 34: 141-152.
- Rosenberg, B.; Murray, P. E.; Namerow, K. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dent Traumatol*, 2007; 23: 26-29.
- Roux D.; Doméjean-Orliaguet, S.; Saade, M. Leakage associated with intermediate restorative material and glass-ionomer cement retrograde fillings: a human and sheep teeth comparison with 2 different aging procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2002; 93: 81-87.
- Roy, C. O.; Jeansonne, B. G.; Gerrets, T. F. Effect of an acid environment on leakage of root-end filling materials. *J Endod*, 2001; 27: 7-8.

- Rubinstein, R. A.; Kim, S. Short-term observation of the results of endodontic surgery with the use of a surgical operation microscope and super-EBA as root-end filling material. *J Endod*, 1999; 25: 43-48.
- Rubinstein, R. A.; Kim, S. Seguimiento a largo plazo de casos considerados curados un año después de la microcirugía apical. *Endodoncia*, 2002a; 20: 276-284.
- Rud, J.; Rud, V.; Munksgaard, E. C. Long-term evaluation of retrograde root filling with dentin-bonded resin composite. *J Endod*, 1996; 22: 90-93.
- Ruiz, P. A. Perfurações endodônticas: revisão da literatura. [en línea]. *Revista Brasileira de Patologia Oral*. <http://www.patologiaoral.com.br/texto26.asp> [Consulta 8 marzo 2005].
- Ryu, S. I.; Kim, M.; Mante, F.; Kim, S. The effects of various liquids on setting time of gray and white MTA. Abstract OR 19. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 345.
- Safavi, K. E.; Spångberg, L.; Sapounas, G.; MacAlister, T. J. *In vitro* evaluation of biocompatibility and marginal adaptation of root retrofilling materials. *J Endod*, 1988; 14: 538-542.
- Saidon, J.; He, J.; Zhu, Q.; Safavi, K.; Spångberg, L. S. W. Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003; 95: 483-489.
- Salako, N.; Joseph, B.; Ritwik, P.; Salonen, J.; John, P.; Junaid, T. A. Comparison of bioactive glass, mineral trioxide aggregate, ferric sulfate, and formocresol as pulpotomy agents in rat molar. *Dent Traumatol*, 2003; 19: 314-320.
- Salameh, Z.; Sorrentino, R.; Papacchini, F.; Ounsi, H. F.; Tashkandi, E.; Goracci, C.; Ferrari, M. Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molars restored using resin composite with or without translucent glass fiber post. *J Endod*, 2006; 32: 752-755.
- Saltzman, B.; Sigal, M.; Clokie, C.; Rukavina, J.; Titley, K.; Kulkarni, G. V. Assessment of a novel alternative to conventional formocresol-zinc eugenol pulpotomy for the treatment of pulpally involved human primary teeth: diode laser-mineral trioxide aggregate pulpotomy. *Int J Paed Dent*, 2005; 15: 437-447.
- Samadzadeh, A.; Chou, L.; Pober, R.; Hutter, J. W. Effect of calcium chloride on the sealing ability of a radiopaque Portland cement. Abstract N° 3. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007; 33: 329.

- Santos, A. D.; Moraes, J. C. S.; Araújo, E. B.; Yukimitu, K.; Valério, W. V. Physico-chemical properties of MTA and a novel experimental cement. *Int Endod J*, 2005; 38: 443-447.
- Sari, S.; Sönmez, D. Internal resorption treated with mineral trioxide aggregate in a primary molar tooth: 18-month follow up. *J Endod*, 2006; 32: 69-71.
- Sarkar, N. K.; Caicedo, R.; Ritwik, P.; Moiseyeva, R.; Kawashima, I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2005; 31: 97-100.
- Sarris, S.; Tahmassebi, J. F.; Duggal, M. S., Cross, I. A. A clinical evaluation of mineral trioxide aggregate for root-end closure of non-vital immature permanent incisors in children- a pilot study. *Dent Traumatol*, 2008; 24: 79-85.
- Sathorn, C.; Parashos, P. Contemporary treatment of class II *dens invaginatus*. *Int Endod J*, 2007; 40: 308-316.
- Saunders, W. P.; Saunders, E. M. Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. *Endod Dent Traumatol*, 1994; 10: 105-108.
- Saunders, W. P. A prospective clinical study of periradicular surgery using mineral trioxide aggregate as a root end filling. *J Endod*, 2008; 34: 660-665.
- Scheerer, S. Q.; Steiman, H. R.; Cohen, J. A comparative evaluation of three root-end filling materials: an *in vitro* leakage study using *Prevotella nigrescens*. *J Endod*, 2001; 27: 40-42.
- Schmitz, M. S.; Montagner, F.; Montagner, H.; Escobar, C. A. B.; dos Santos, R. A.; Gomes, B. P. F. A. Different clinical outcomes following root fracture of adjacent incisors: a case report. *Int Endod J*, 2008; 41: 532-537.
- Schwartz, S. A.; Alexander, J. B. A comparison of leakage between silver-glass ionomer cement and amalgam retrofillings. *J Endod*, 1988; 14: 385-391.
- Schwartz, R. S.; Mauger, M.; Clement, D. J.; Walker, W. A. Mineral Trioxide Aggregate: a new material for endodontics. *J Am Dent Assoc*, 1999; 130: 967-975.
- Seltzer, S.; Sinai, I.; August, D. Periodontal effects of root perforations before and during endodontic procedures. *J Dent Res*, 1970; 49: 332-339.
- Shabahang, S.; Boyne, P. J.; Abedi, H. R.; McMillan, P.; Torabinejad, M. Apexification in immature dog teeth using osteogenic protein-1, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide. Abstract N° 65. American Association of Endodontists. 54th Annual Session. May 7-11, 1997. *J Endod*, 1997; 23: 265.
- Shabahang, S.; Boyne, P. J.; Abedi, H. R.; McMillan, P.; Torabinejad, M. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 1999; 25: 1-5.

- Shabahang, S. State of the art and science of endodontics. *J Am Dent Assoc*, 2005; 136: 41-52.
- Shah, P. M. M.; Chong, B. S.; Sidhu, S. K.; Pitt Ford, T. R. Radiopacity of potential root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1996; 81: 476-479.
- Shahi, S.; Rahimi, S.; Lotfi, M.; Yavari, H. R.; Gaderian, A. R. A comparative study of the biocompatibility of three root-end filling materials in rat connective tissue. *J Endod*, 2006; 32: 776-780.
- Shahi, S.; Rahimi, S.; Yavari, H. R.; Shakouie, S.; Nezafati, S.; Abdolrahimi, M. Sealing ability of white and gray mineral trioxide aggregate mixed with distilled water and 0.12% chlorhexidine gluconate when used as root-end filling materials. *J Endod*, 2007; 33: 1429-1432.
- Shahi, S.; Rahimi, S. A comparative histologic study of furcal perforation repair with white and gray mineral trioxide aggregate in dogs. Abstract OR 22. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 346.
- Shipper, G.; Grossman, E. S.; Botha, A. J.; Cleaton-Jones, P. E. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J*, 2004; 37: 325-336.
- Shin, S.; Park, J.; Kim, J.; Jung, I. X-ray diffraction analysis of white proRoot MTA and BioAggregate. Abstract PR 68. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 372.
- Silberman, A.; Cohenca, N.; Simon, J. H. Anatomical redesign for the treatment of dens invaginatus type III with open apices. A literature review and case presentation. *J Am Dent Assoc*, 2006; 137: 180-185.
- Silva, D.; Andrade, L. M.; Méndez, V.; Medellín, F. J.; Benavidez, M. V.; González, V. Análisis fisicoquímico de mineral trióxido agregado (MTA) por difracción de rayos X, calorimetría y microscopía electrónica de barrido. *Revista ADM*, 2000; 57: 125-131.
- Silva, A. F.; Tarquinio, S. B. C.; Demarco, F. F.; Piva, E.; Rivero, E. R. C. The influence of haemostatic agents on healing of healthy human dental pulp tissue capped with calcium hydroxide. *Int Endod J*, 2006; 39: 309-316.
- Silva Neto, U. X.; Moraes, I. G. Capacidade seladora proporcionada por alguns materiais quando utilizados em perfurações na região de furca de molares humanos extraídos. *J Appl Oral Sci*, 2003; 11: 27-33.
- Simcock, R. M.; Hicks, L. Delivery of calcium hydroxide: comparison of four filling techniques. *J Endod*, 2006; 32: 680-682.

- Simon, J. H. S.; Glick, D. H.; Frank, A. L. The relationship of endodontic-periodontic lesions. *J Periodontol*, 1972; 43: 202-208.
- Simon, S.; Rilliard, F.; Berdal, A.; Machtou, P. The use of mineral trioxide aggregate in one visit apexification: a prospective study. *Int Endod J*, 2007; 40: 186-197.
- Sinai, I. H.; Romea, D. J.; Glassman, G.; Morse, D. R.; Fantasia, J.; Furst L. An evaluation of tricalcium phosphate as a treatment for endodontic perforations. *J Endod*, 1989; 15: 399-403.
- Siqueira, J. F. Jr.; Rôças, I. N.; Abad, E. C.; Castro, A. J. R.; Gahyva, S. M.; Favieri, A. Ability of three root-end filling materials to prevent bacterial leakage. *J Endod*, 2001; 27: 673-675.
- Sjögren, U.; Hägglund, B.; Sundqvist, G.; Wing, K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*, 1990; 16: 498-504.
- Sluyk, S. R.; Moon, P. C.; Hartwell, G. R. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod*, 1998; 24: 768-771.
- Smith, J. B.; Loushine, R. J.; Weller, R. N.; Roberts, S. Effects of EDTA and BioPure MTAD on de dissolution of white MTA. Abstract N° 2. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007a; 33: 329.
- Smith, J. B.; Loushine, R. J.; Weller, R. N.; Rueggeberg, F. A.; Whitford, G. M.; Pashley, D. H.; Tay, F. R. Metrologic evaluation of the surface of white MTA after the use of two endodontic irrigants. *J Endod*, 2007b; 33: 463-467.
- Snyder, W. R.; Hoover, J.; Khoury, R.; Farrach, M. C. Osteoblasts and perforation repair agents. Abstract N° 5. American Association of Endodontists. 53rd Annual Session. April 24-28, 1996. *J Endod*, 1996; 22: 189.
- Soares, J.; Santos, S.; Silveira, F.; Nunes, E. Calcium hydroxide barrier over the apical root-end of a type III *dens invaginatus* after endodontic and surgical treatment. *Int Endod J*, 2007; 40: 146-155.
- Soluti, A.; Lee, S. J.; Torabinejad, M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate in lateral root perforations. Abstract N° 59. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. April 28-May 2, 1993. *J Endod*, 1993; 19: 199.
- Song, J.-S.; Mante, F. K.; Romanow, W. J.; Kim, S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, grey ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and grey MTA-Angelus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2006; 102: 809-815.
- Sorensen, J. A.; Engelman, M. J. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*, 1990; 63: 529-536.

- Spångberg, L. S. W.; Acierno, T. G.; Yongbum, B. Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye penetration methods. *J Endod*, 1989; 15: 548-551.
- Spili, P.; Parashos, P.; Messer, H. H. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod*, 2005; 31: 845-850.
- Srinivasan, V.; Patchett, C. L.; Waterhouse, P. J. Is there life after Buckley's formocresol? Part I – A narrative review of alternative interventions and materials. *Int J Paed Dent*, 2006; 16: 117-127.
- Stanley, H. R. Pulp capping: conserving the dental pulp. Can it be done? Is it worth it? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1989; 68: 628-639.
- Setefopoulos, S.; Tsatsas, D. V.; Kerezoudis, N. P.; Eliades, G. Comparative *in vitro* study of the sealing efficiency of white vs grey ProRoot mineral trioxide aggregate formulas as apical barriers. *Dent Traumatol*, 2008; 24: 207-213.
- Steinig, T. H.; Regan, J. D.; Gutmann, J. L. The use and predictable placement of mineral trioxide aggregate in one visit apexification cases. *Aust Endod J*, 2003; 29: 34-42.
- Stockdale, C. R. *Endodontic Surgery*. London: Quintessence Publishing Co. Ltd. 1992.
- Storm, B.; Eichmiller, F. C.; Tordik, P. A.; Goodell, G. G. Setting expansion of grey and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod*, 2008; 34: 80-82.
- Stowe, T. J.; Sedgley, C. M.; Stowe, B.; Fenno, J. C. The effects of chlorhexidine gluconate (0,12%) on the antimicrobial properties of tooth-colored ProRoot mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2004; 30: 429-431.
- Stromberg, T.; Hasselgren, G.; Bergstedt, H. Endodontic treatment of traumatic root perforation in man. *Swed Dent J*, 1972; 65: 457-466.
- Sullivan, J.; Pileggi, R.; Varella, C. H. Evaluation of root-end resection performed by Er, Cr: YSGG laser compared to Lindeman carbide bur with and without the placement of a root-end filling material. Abstract PR 69. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 373.
- Szeremeta-Browar, T. L.; VanCura, J. E.; Kaki, A. E. A comparison of the sealing properties of different retrograde techniques: an autoradiographic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1984; 59: 82-87.
- Tai, K.-W.; Chang, Y.-C. Cytotoxicity evaluation of perforation repair materials on human periodontal ligament cells *in vitro*. *J Endod*, 2000; 26: 395-397.

- Takita, T.; Hayashi, M.; Takeichi, O.; Ogiso, B.; Suzuki, N.; Otsuka, K.; Ito, K. Effect of mineral trioxide aggregate on proliferation of cultured human dental pulp cells. *Int Endod J*, 2006; 39: 415-422.
- Tamse, A.; Katz, A.; Kablan, F. Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J*, 1998; 31: 333-337.
- Tanalp, J.; Dikbas, I.; Dililbasi, C.; Bayirli, G.; Calikkocaoglu, S. Persistent sinus tract formation 1 year following cast post-and-core replacements: a case report. *Quintessence Int*, 2006; 37: 545-550.
- Tang, H. M.; Morrow, S. G.; Kettering, J. D. Endotoxin leakage of four root end filling materials. Abstract N° 42. American Association of Endodontists. 54th Annual Session. May 7-11, 1997. *J Endod*, 1997; 23: 259.
- Tang, H. M.; Torabinejad, M.; Kettering, J. D. Leakage evaluation of root end filling materials using endotoxin. *J Endod*, 2002; 28: 5-7.
- Tani-Ishii, N.; Hamada, N.; Watanabe, K.; Tujimoto, Y.; Teranaka, T.; Umemoto, T. Expression of bone extracellular matrix proteins on osteoblast cells in the presence of mineral trioxide. *J Endod*, 2007; 33: 836-839.
- Tanomaru, M.; Figueiredo, F. A.; Guerreiro, J. M. Effect of different dye solutions on the evaluation of the sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Braz Oral Res*, 2005; 19: 119-122.
- Tawil, P. Z.; Trope, M.; Curran, A. E.; Teixeira, F. B. Periapical microsurgery: an *in vivo* evaluation of root-end filling materials. Abstract OR 20. American Association of Endodontists. Annual Session. April 9 – 12, 2008. *J Endod*, 2008; 34: 345.
- Tay, F. R.; Pashley, D. H.; Rueggeberg, F. A.; Loushine, R. J.; Weller, R. N. Characterization of the bioactivity of white Portland cement in the presence of phosphate containing fluids and regulation of its amorphous-carbonated apatite phase transformations for potential biomimetic applications. Abstract N° 13. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007a; 33: 332.
- Tay, F. R.; Pashley, D. H.; Rueggeberg, F. A.; Loushine, R. J.; Weller, R. N. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the Portland cement component of white mineral trioxide aggregate with phosphate-containing fluid. *J Endod*, 2007b; 33: 1347-1351.
- Testori, T.; Capelli, M.; Milani, S.; Weinstein, R. L. Success and failure in periradicular surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1999; 87: 493-498.

- Thomson, T. S.; Berry, J. E.; Somerman, M. J.; Kirkwood, K. L. Cementoblasts maintain expression of osteocalcin in the presence of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2003; 29: 407-412.
- Tingey, M. C.; Bush, P.; Levine, M. S. Analysis of mineral trioxide aggregate surface when set in the presence of fetal bovine serum. *J Endod*, 2008; 34: 45-49.
- Tittle, K.; Farley, T.; Linkhardt, T. Apical closure induction using bone growth factors and MTA. Abstract N° 41. American Association of Endodontists. 53rd Annual Session. April 24-28, 1996. *J Endod*, 1996; 22: 198.
- Tobón, S. I.; Restrepo, M. M.; Arismendi, J. A.; Velásquez, Z.; Marín, M. L.; García, E. C. Ex vivo microscopic assessment of factors affecting the quality of apical seal created by root-end fillings. *Int Endod J*, 2007; 40: 590-602.
- Tomé, L.; Zmener, O. Posibilidad del MTA como material de sellado para la obturación retrógrada en la cirugía endodóncica. *Endodoncia*, 2003; 21: 159-166.
- Tomson, P. L.; Grover, L. M.; Lumley, P. J.; Sloan, A. J.; Smith, A. J.; Cooper, P. R. Dissolution of bio-active dentine matrix components by mineral trioxide aggregate. *J Dent*, 2007a; 35: 636-642.
- Tomson, P. L.; Grover, L. M.; Lumley, P. J.; Sloan, A. J.; Smith, A. J.; Cooper, P. R. Comparison of dentine matrix components extracted by the soluble products of white and grey MTA. European Society of Endodontology. 13th Biennial Congress. Istanbul, Turkey. 6-8 September 2007. R 1.6. *Int Endod J*, 2007b; 40: 981.
- Torabinejad, M.; Watson, T. F.; Pitt Ford, T. R. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root-end filling material. *J Endod*, 1993; 19: 591-595.
- Torabinejad, M.; Higa, R. K.; McKendry, D. J.; Pitt Ford, T. R. Dye leakage of four root-end filling materials: Effects of blood contamination. *J Endod*, 1994; 20: 159-163.
- Torabinejad, M.; Rastegar, A. F.; Kettering, J. D.; Pitt Ford, T. R. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod*, 1995a; 21: 109-112.
- Torabinejad, M.; Wilder Smith, P.; Kettering, J. D.; Pitt Ford, T. R. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod*, 1995b; 21: 295-299.
- Torabinejad, M.; Hong, Ch.-U.; McDonald, F.; Pitt Ford, T. R. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod*, 1995c; 21: 349-353.
- Torabinejad, M.; Hong, Ch.-U.; Pitt Ford, T. R.; Kettering, J. D. Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endod*, 1995d; 21: 403-406.

- Torabinejad, M.; Hong, Ch.-U.; Pitt Ford, T. R.; Kettering, J. D. Cytotoxicity of four root-end filling materials. *J Endod*, 1995e; 21: 489-492.
- Torabinejad, M.; Hong, Ch.-U.; Pitt Ford, T. R.; Kariyawasam, S. P. Tissue reaction to implanted Super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod*, 1995f; 21: 569-571.
- Torabinejad, M.; Hong, Ch.-U.; Lee, S.-J.; Monsef, M.; Pitt Ford, T. R. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod*, 1995g; 21: 603-608.
- Torabinejad, M.; Pitt Ford, T. R.; McKendry, D. J. Periradicular tissue response to MTA. Abstract N° 4. American Association of Endodontists. 53rd Annual Session. April 24-28, 1996. *J Endod*, 1996a; 22: 189.
- Torabinejad, M.; Pitt Ford, T. R. Root-end filling materials: a review. *Endod Dent Traumatol*, 1996b; 12: 161-178.
- Torabinejad, M.; Pitt Ford, T. R.; McKendry D. J.; Abedi, H. R.; Miller, D. A.; Kariyawasam, S. P. Histologic assessments of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod*, 1997a; 23: 225-228.
- Torabinejad, M.; Pitt Ford, T. R.; Abedi, H. R.; Tang, H.-M. Tibia and mandible reactions to implanted root-end filling materials. Abstract N° 56. American Associations of Endodontists. 54th Annual Session. May 7-11, 1997. *J Endod*, 1997b; 23: 263.
- Torabinejad, M.; Pitt Ford, T. R.; Abedi, H. R.; Kariyawasam, S. P.; Tang, H.-M. Tissue reaction to implanted root end-filling materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endod*, 1998; 24: 468-471.
- Torabinejad, M.; Chivian, N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 1999; 25: 197-205.
- Trope, M.; Schmitz, H.-J.; Friedman, S. Healing of apical periodontitis in dogs after apicoectomy and retrofilling with various filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1996; 81: 221-228.
- Trope, M.; Chivian, N.; Sigurdsson, A. Lesiones traumáticas. In: Cohen, S.; Burns, R. C., eds. *Vías de la pulpa*, 7^a ed. St. Louis: Mosby, 1999.
- Tsai, Y.-L.; Lan, W.-H.; Jeng, J.-H. Treatment of pulp floor and stripping perforation by mineral trioxide aggregate. *J Formos Med Assoc*, 2006; 105: 522-526.
- Tsatsas, D. V.; Meliou, H. A.; Kerezoudis, N. P. Sealing effectiveness of materials used in furcation perforation *in vitro*. *Int Dent J*, 2005; 55: 133-141.

- Tselnik, M.; Baumgartner, J. C.; Marshall, J. G. Bacterial leakage with mineral trioxide aggregate or a resin-modified glass ionomer used as a coronal barrier. *J Endod*, 2004; 30: 782-784.
- Tuna, D.; Ölmez, A. Clinical long-term evaluation of MTA as direct pulp capping material in primary teeth. *Int Endod J*, 2008; 41: 273-278.
- Tunca, Y. M.; Aydın, C.; Ozen, T.; Seyrek, M.; Ulusoy, H. B.; Yildiz, O. The effect of mineral trioxide aggregate on the contractility of the rat thoracic aorta. *J Endod*, 2007; 33: 823-826.
- Tziapas, D.; Pantelidou, O.; Alvanou, A.; Belibasakis, G.; Papadimitriou, S. The dentinogenic effect of mineral trioxide aggregate (MTA) in short term capping experiments. *Int Endod J*, 2002; 35: 245-254.
- Vajrabhaya, L.; Korsuwannawong, S.; Jantararat, J.; Korre, S. Biocompatibility of furcal perforation repair material using cell culture technique: Ketac Molar versus ProRoot MTA. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2006; 102: e48-e50.
- Valois, C. R. A.; Costa, E. D. Jr. Influence of the thickness of mineral trioxide aggregate on sealing ability of root-end fillings *in vitro*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004; 97:108-111.
- VanderWeele, R. A.; Schwartz, S. A.; Beeson, T. J. Effect of blood contamination on retention characteristics of MTA when mixed with different liquids. *J Endod*, 2006; 32: 421-424.
- Vargas, J. W.; Liewehr, F. R.; Joyce, A. P.; Runner, R. R. A comparison of the *in vitro* retentive strength of glass ionomer cement, zinc-phosphate cement, and mineral trioxide aggregate for the retention of prefabricated posts in bovine incisors. *J Endod*, 2004; 30: 775-777.
- Vasudev, S. K.; Goel, B. R.; Tyagi, S. Root end filling materials. A review. *Endodontology*, 2003; 15: 12-18.
- Vaz de Lima, M.; Monteiro, C.; Brandao, R.; Gomes, I.; Bernardineli, N. Endodontic treatment of dens in dente associated with a chronic periapical lesion using an apical plug of mineral trioxide aggregate. *Quintessence Int*, 2007; 38: 124-128.
- Vertucci, F. J.; Beatty, R. G. Apical leakage associated with retrofilling techniques: a dye study. *J Endod*, 1986; 12: 331-336.
- Vignaroli, P. A.; Anderson, R. W.; Pashley, D. H. Longitudinal evaluation of the microleakage of dentin bonding agents used to seal resected root apices. *J Endod*, 1995; 21: 509-512.
- Villa, P.; Fernández, V. P. Apexification of a replanted tooth using mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol*, 2005; 21: 306-308.

- Vizgirda, P. J.; Liewehr, F. R.; Patton, W. R.; McPherson, J. C.; Buxton, T. B. A comparison of laterally condensed gutta-percha, thermoplasticized gutta-percha, and mineral trioxide aggregate as root canal filling materials. *J Endod*, 2004; 30: 103-106.
- Vogt, B. F.; Xavier, C. B.; Demarco, F. F.; Padilha, M. S. Dentin penetrability evaluation of three different dyes in root-end cavities with mineral trioxide aggregate (MTA). *Braz Oral Res*, 2006; 20: 132-136.
- Walker, M. P.; Diliberto, A.; Lee, C. Effect of setting conditions on mineral trioxide aggregate flexural strength. *J Endod*, 2006; 32: 334-336.
- Walton, R.; Torabinejad, M. *Endodoncia. Principios y práctica clínica*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V. 1991.
- Watts, J. D.; Holt, D. M.; Beeson, T. J.; Kirkpatrick, T. C.; Rutledge, R. E. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of white and grey mineral trioxide aggregate. Abstract N° 4. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007a; 33: 329.
- Watts, J. D.; Holt, D. M.; Beeson, T. J.; Kirkpatrick, T. C.; Rutledge, R. E. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of white and grey mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 2007b; 33: 970-973.
- Weine, F. S. *Endodontic Therapy*. 6° ed. St Louis, Missouri. Mosby. 2002.
- Weisman, M. I. Treatment of an unusual perforation of an anterior tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1959; 12: 732-735.
- Welch, J. D.; Anderson, R. W.; Pashley, D. H.; Weller, R. N.; Kimbrough, F. An assessment of the ability of various materials to seal furcation canals in molar teeth. *J Endod*, 1996; 22: 608-611.
- Weldon, J. K.; Pashley, D. H.; Loushine, R. J.; Weller, R. N.; Kimbrough, F. Sealing ability of mineral trioxide aggregate and super EBA when used as furcation repair materials: a longitudinal study. *J Endod*, 2002; 28: 467-470.
- White, C.; Bryant, N. Combined therapy of mineral trioxide aggregate and guide tissue regeneration in the treatment of external root resorption and an associated osseous defect. *J Periodontol*, 2002; 73: 1517-1521.
- Wiltbank, K. B.; Schwartz, S. A.; Schindler, W. G. The effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. Abstract N° 6. American Association of Endodontists. Annual Session. April 25 – 28, 2007. *J Endod*, 2007a; 33: 330.

- Wiltbank, K. B.; Schwartz, S. A.; Schindler, W. G. Effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod*, 2007b; 33: 1235-1238.
- Witherspoon, D. E.; Ham K. One visit apexification: technique for inducing root end barrier formation in apical closures. *Pract Proced Aesthet Dent*, 2001; 13: 455-60.
- Witherspoon, D. E.; Small, J. C.; Harris, G. Z. Mineral trioxide aggregate pupotomies. A case series outcomes assessment. *J Am Dent Assoc*, 2006; 137: 610-618.
- Wu, M.-K.; Kontakiotis, E. G.; Wesselink, P. R. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod*, 1998; 24: 557-560.
- Wu, M.-K.; Wesselink, P. R.; de Schwartz, F. B. C.; van der Sluis, L. W. M. The quality of root fillings remaining in mandibular incisors after root-end cavity preparation. *Int Endod J*, 2001; 34: 613-619.
- Wucherpfennig, A. L.; Green, D. B. Mineral trioxide aggregate vs. Portland cement: two biocompatible filling materials. Abstract N° 40. American Association of Endodontists. 56th Annual Session. April 21-25, 1999. *J Endod*, 1999; 25: 308.
- Xavier, C. B.; Weismann, R.; Oliveira, M. G.; Demarco, F. F.; Pozza, D. H. Root-end filling materials: apical microleakage and marginal adaptation. *J Endod*, 2005; 31: 539-542.
- Xu, Q.; Wang, A. D.; Zhou, Y. Z.; Ling, J. Q. Clinical management of lateral canal perforation with MTA. *Shanghai Kou Quang Yi Xue*, 2007; 16: 454-457.
- Yaltirik, M.; Ozbas, H.; Bilgic, B.; Issever, H. Reactions of connective tissue to mineral trioxide aggregate and amalgam. *J Endod*, 2004; 30: 95-99.
- Yan, P.; Peng, B.; Fan, B.; Fan, M.; Bian, Z. The effects of sodium hypochlorite (5.25%), clorhexidine (2%), and glyde file prep on the bond strength of MTA-dentin. *J Endod*, 2006; 32: 58-60
- Yatsushiro, J. D.; Baumgartner, J. C.; Tinkle, J. S. Longitudinal study for the microleakage of two root-end filling materials using a fluid conductive system. *J Endod*, 1998; 24: 716-719.
- Yeung, P.; Liewehr, F. R.; Moon, P. C. A quantitative comparison of the fill density of MTA produced by two placement techniques. *J Endod*, 2006; 32: 456-459.
- Yildirim, T.; Gençoğlu, N.; Firat, I.; Perk, C.; Guzel, O. Histologic study of furcation perforations treated with MTA or Super EBA in dogs' teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005; 100: 120-124.

- Yoshimine, Y.; Ono, M.; Akamine, A. In vitro comparison of the biocompatibility of mineral trioxide aggregate, 4Meta/MMA-TBB resin and intermediate restorative material as root end filling materials. *J Endod*, 2007; 33: 1066-1069.
- Young, G. R. Contemporary management of lateral root perforation diagnosed with the aid of dental computed tomography. *Aust Endod J*, 2007; 33: 112-118.
- Zabalegui, B.; Taberner, I. Uso del MTA para la reparación de la perforación de furca con pérdida del hueso alveolar. *Endodoncia*, 2005; 23: 33-38.
- Zmener, O.; Cabrini, R. L. Adhesion of human blood monocytes and lymphocytes to different endodontic cements. A methodological *in vitro* study. *J Endod*, 1986; 12: 150-155.
- Zhu, Q.; Haglund, R.; Safavi, K. E.; Spångberg, L. S. W. Adhesion of human osteoblasts on root-end filling materials. *J Endod*, 2000; 26: 404-406.
- Zou, L.; Liu, J.; Yin, S.-H.; Tan, J.; Wang, F.-M.; Li, W.; Xue, J. Effect of placement of calcium sulphate when used for the repair of furcation perforations on the seal produced by a resin-based material. *Int Endod J*, 2007; 40: 100-105.