

E.M. Berástegui Jimeno

Actualización sobre el
Proroot-MTA en el año 2002

Profesora Titular. Facultad de Odontología.
Universidad de Barcelona. Barcelona.

Correspondencia:

Dra. Esther M^a. Berástegui Jimeno
Facultad de Odontología
Universidad de Barcelona
Plza. Joan Cornudella 11
08035 Barcelona.

RESUMEN

Se revisan los artículos existentes sobre el MTA (Mineral Trioxide Aggregate) desde 1993 hasta abril del 2002.

PALABRAS CLAVE

Cemento dental; MTA; Obturación de conductos radiculares.

ABSTRACT

All the MTA articles that has been published from 1993 until april 2002 have been revised.

KEYS WORDS

Dental cement; MTA; Root canal obturation.

INTRODUCCIÓN

El MTA (Mineral Trioxide Aggregate) es un polvo que consiste en finas partículas hidrofílicas que fraguan en presencia de humedad. Su pH es de 12,5 y endurece a las cuatro horas de realizar la mezcla con agua destilada. MTA es un agregado de trióxido mineral o conglomerado de partículas de aspecto mineral. Es un cemento dental cuyo nombre comercial actual es ProRoot-MTA (Densply/Tulsa Dental; Tulsa, OK, USA). Se mezcla tal como indica el fabricante en proporción de tres a uno, polvo y líquido. Es, por tanto, un *biomaterial* o sustancia no fármaco que se utiliza como una parte del sistema que trata, aumenta o reemplaza a cualquier tejido. Está compuesto de silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido tricálcico y óxido de silicato.

En 1993 M. Torabinejad, de la Universidad de Loma Linda, hizo la presentación de un nuevo material creando expectativas respecto de su uso en endodoncia. Desde entonces hemos seguido la evolución del mismo, sobre todo porque la investigación con animales siempre demostraba ser un material biocompatible. Otro interrogante fue la composición. También se creía que su uso como cemento de obturación de conductos sería posible, pues se insinuaba esta indicación clínica.

Una vez hemos tenido la ocasión de utilizarlo, quizá nos sorprendió su aspecto, ya que no estamos acostumbrados al oscuro como material de endodoncia y la textura terrosa. En la utilización clínica hay dificultad de manipulación por su escasa plasticidad. En cuanto a su dureza, una vez fraguado es adecuada.

El fabricante lo lanzó al mercado como producto para reparar conductos radiculares con cualidades superiores a las de otros productos o materiales ya existentes.

La curiosidad o expectación creada por conocer este nuevo material en odontología es la justificación de esta búsqueda bibliográfica. Creemos haber cubierto con ella (casi todo) lo que sabemos en el 2002 desde la primera publicación sobre el MTA.

En la tabla 1 aparecen reflejados los materiales

investigados o citados en la bibliografía de este artículo que en la mayoría de ocasiones han sido comparados con el MTA a nivel experimental. Para intentar comprender lo publicado se subdividió el artículo en diversos apartados según el tipo de investigación realizada.

ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES

El estudio de la composición del MTA⁽¹⁾ algunos investigadores lo realizaron mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión, identificando los componentes mineralógicos. El difractograma del MTA mostró 33 picos de proporciones diferentes de componentes, como óxido de bismuto (Bi_2O_3), silicato tricálcico (Ca_3SiO_5), silicato bicálcico (Ca_2SiO_4), ferrito aluminato tetracálcico ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{FeO}_{10}$), aluminato tricálcico ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$). Mediante microscopía electrónica de transmisión se detectó que una partícula está compuesta de oxígeno (O) y magnesio (Mg), óxido de magnesio (periclase). Otra partícula tiene en su composición oxígeno (O), azufre (S) y calcio (Ca), que corresponde con el sulfato cálcico dihidratado (yeso). Una vez fraguado, se cree que es una barrera física firme.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Los parámetros importantes en los materiales son: la composición química, el pH, la radiopacidad, la resistencia a la compresión, indentación y solubilidad. Después de valorar estos parámetros en amalgama, MTA, Super-EBA e IRM, las conclusiones de un estudio⁽²⁾ mostraron que el MTA poseía las propiedades físicas adecuadas para el uso como material de obturación a retro. Otros investigadores⁽³⁾ estudiaron la radiopacidad de 12 materiales de restauración, entre ellos el MTA. Los resultados de más a menos radiopacidad fueron: amalgama, Diaket, gutapercha, IRM, Super-EBA, MTA, Advance, Fuji II LC, Geristore, Vitre-bond, fosfato tetracálcico, dentina y Ketac-Fil.

Tabla 1 Materiales investigados y comparados con MTA

<i>Producto comercial</i>	<i>Fabricante</i>
MTA	Loma Linda University. Loma Linda, Ca.
ProRoot-MTA	Dentsply/Tulsa Dental. Tulsa, OK
Super-EBA	Harry J. Bosworth Co. Skokie, IL
IRM/ZOE (Material restaurador inmediato/Oxido de zinc eugenol)	L.D. Caulk Co. Milford, DE, USA
Hidroxiapatita	Calcitek Inc. Carlsbad, CA
CPC (Cemento de fosfato calcio)	Bone Source. Osteogenics, Inc. Richardson TX
Proteína-1 osteogénica	Creative Biomolecules. Hopkington, MA
Dycal	L.D. Caulk. Mildford, DE, USA
Amalgama (A)	Tytin. Romulus, MI
(A) Dispersalloy	Johnson Johnson Inc. Skillman, NJ
(A) Sibraloy	Kerr Mfg. Co. Romulus, MI
(A) Tytin	Tytin. Romulus, MI
(A) Permite C	Southern Dental Industries. Melbourne, Alemania.
(OH) ₂ Ca	Pulpdent. Pulpdent Corp. Watertown, MA
(OH) ₂ Ca con agua destilada	Reagen. Quimibras Industrias Químicas. Río de Janeiro, Brasil.
Endomet	Septodont. París, Francia
Sealapex	Kerr. Romulus, MI
Diaket	3M Espe. Seefeld, Alemania.
CRC S	Hygenic Dental Ind. Com. Ltda. Río de Janeiro, Brasil.
AH 26	Dentstply/Maillefer. Ballaigues, Suiza.
Fuji II	GC Corporation Tokyo, Japón.
Hi-Dense	Shofu Dental Products Ltd. Toubridge, UK
Geristore	DentMat Corporation. Santa Maria, CA
Ketac Fil	3M Espe. Seefeld, Alemania.
Ketac Silver	3M Espe. Seefeld, Alemania.
Ketac Endo	3M Espe. Seefeld, Alemania.
Vitrebond	3M Espe. Seefeld, Alemania.
Probond	L.D. Caulk Co. Mildford, DE, USA
All Bond 2	Bisco, USA
Clearfil Liner Bond 2	J. Morita USA Inc. Tustin, CA
Prisma TPH	L.D. Caulk Co. Mildford, DE, USA
Gallium GF2	Tokmiki Honten Co. Japón.
Cemento Portland (CP)	Tipo II F32. Itaú de Minas, MG, Brasil.
Yeso de París	Bracon Ltd. Bradford, UK
Interpore 200	Interpore Internacional. Irvine, CA. USA
Biogran	Orthovita Malvern. PA, USA

CAPACIDAD ANTIBACTERIANA

Es deseable que los materiales utilizados en obturaciones tengan algún efecto antibacteriano, cosa que no siempre ocurre. El objetivo en una investigación⁽⁴⁾, para demostrar la capacidad antibacteriana de algunos materiales, fue comparar amalgama, Super-EBA, óxido de zinc-eugenol y MTA frente a nueve bacterias ana-

erobias facultativas: *Streptococcus fecalis*, *S. mitis*, *S. mutans*, *S. salivarius*, *Lactobacillus species*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli B* y siete anaerobias estrictas, *Prevotella intermedia*, *P. melanogénicas (Bacteroides)*, *Fusobacterium necrophorum*, *F. nucleatum*, *Peptostreptococcus anaerobius*. El efecto antibacteriano de cada material se midió en milímetros. El MTA tuvo algún efecto antibacteriano

de alguna bacteria anaerobia facultativa y ninguno en las bacterias anaerobias estrictas. La amalgama se comportó como inactiva frente a todo tipo de bacterias. El Super-EBA y óxido de zinc-eugenol demostraron mayor capacidad antibacteriana.

FILTRACIÓN

En un estudio⁽⁵⁾ se evaluó la microfiltración mediante fluido de varios materiales de obturación retrógrada. Se utilizaron 60 dientes humanos unirradiculares extraídos. Se eliminaron las coronas, se prepararon los conductos y utilizaron los materiales de obturación a retro. Se realizaron cinco grupos experimentales de 10 dientes y dos grupos control de cinco. Los materiales utilizados fueron: amalgama, IRM, resinas, Super-EBA y MTA. Los resultados fueron que la amalgama mostró más filtración que los otros materiales. No hubo diferencias significativas entre amalgama e IRM y los otros tres grupos. Tampoco entre los otros tres restantes.

Otros autores⁽⁶⁾ evaluaron la capacidad de sellado del MTA en obturaciones a retro comparada con otros materiales como amalgama, con fondo de cavidad y Super-EBA en diferentes períodos de tiempo como 24 h, 72 h, dos semanas, cuatro, ocho y 12 semanas, utilizando el sistema de medición de la filtración por medio de fluidos. El MTA mostró un excelente sellado a las 12 semanas de inmersión en el fluido comparado con el observado en el Super-EBA. La microfiltración del MTA y Super-EBA fue menor que la de la amalgama en las 24 h, 72 h y dos semanas. En los siguientes períodos de tiempo no hubo diferencias significativas entre los tres materiales.

La propuesta de un estudio⁽⁷⁾ fue comparar la filtración en presencia de sangre mediante colorante, en cavidades de la porción apical obturadas con amalgama, Super-EBA, IRM y MTA. Después de eliminar la corona anatómica aquí también se estudiaron 90 dientes humanos extraídos, que se instrumentaron y obturaron sus conductos. Después de eliminar los tres mm apicales se estandarizaron las cavidades retrógradas.

Cinco raíces fueron obturadas con gutapercha sin sellado y otras cinco con cera como control positivo y negativo, respectivamente. Las otras 80 raíces fueron divididas en cuatro grupos y obturadas con los materiales a experimentar. Después de obturadas las raíces se mantuvieron contaminadas con sangre. Las 90 raíces fueron colocadas en el 1% de azul de metileno durante 72 horas. Posteriormente se partieron y fue valorada la penetración lineal del colorante. El estudio estadístico se realizó mediante el análisis de la varianza. La presencia o ausencia de sangre no intervino en el resultado final. El MTA mostró menos filtración que los otros materiales investigados, de forma significativa.

Se comparó⁽⁸⁾ la microfiltración de MTA y amalgama en preparaciones radiculares a retro de 33 dientes unirradiculares. Se utilizó el sistema de fluidos que hoy día está en auge. La amalgama tenía alta microfiltración al compararla con MTA después de cuatro semanas.

En otra investigación⁽⁹⁾ el objetivo experimental fue valorar la adaptación del MTA en obturaciones retrógradas, comparándolo con otros materiales como: amalgama, Super-EBA e IRM. El análisis se realizó con microscopio electrónico de barrido (MEB). Se estudiaron 88 dientes unirradiculares extraídos que se instrumentaron y obturaron con gutapercha y sellador. Las raíces se seccionaron por el ápice y se obturaron las cavidades realizadas con los materiales citados. Fueron seleccionadas 40 raíces de forma longitudinal utilizando una fresa de diamante a baja velocidad y preparadas para su estudio con microscopio electrónico de barrido valorando así los «gaps» entre dentina y material. De las otras 48 raíces, en 24 se seccionó la raíz con fresa y se prepararon con ultrasonidos y réplica de resina para su visualización con MEB.

Los modelos originales mostraron muchos artefactos. Las réplicas de resina, por el contrario, no tuvieron artefactos. El estudio estadístico mostró la comparación de los «gaps» entre los materiales y la dentina. El MTA mostró mejor adaptación que los otros tres materiales.

El objetivo de otros investigadores⁽¹⁰⁾ fue comprobar la resistencia a la microfiltración bacteriana com-

40 parando antiguos y nuevos materiales en obturaciones a retro.

Se extrajeron 60 dientes unirradiculares y se dividieron en cinco grupos para la obturación a retro con MTA, Super-EBA, composite Prisma TPH, con resina ProBond, amalgama, Dispersalloy y con o sin ProBond, grupo control positivo y negativo. Se instrumentaron los conductos, se realizaron las apicectomías y se prepararon las cavidades con ultrasonidos en los tres últimos mm. Se obturaron las cavidades con los materiales del estudio y se aplicó barniz de uñas a las raíces. Se esterilizaron en óxido de etileno y se inocularon los accesos coronales con *Streptococcus salivarius*. El cultivo se observó cada 24 horas. El cambio de color indicó contaminación bacteriana. A las cuatro semanas el 10% de especímenes tenía evidencia de filtración. A las ocho semanas el 20% de especímenes obturados con amalgama sin adhesivo dentinario, MTA y Super-EBA tuvieron evidencia de filtración. A las 12 semanas se notaron menores diferencias entre los materiales. No hubo diferencias significativas entre los grupos a las cuatro, ocho y 12 semanas.

La propuesta de otro estudio⁽¹¹⁾ fue evaluar la capacidad de sellado del MTA en obturaciones a retro, comparando con amalgama, IRM o Super-EBA. También mediante filtración bacteriana. Se evaluaron 46 dientes (40 experimentales, tres control positivo y tres control negativo). El estudio mostró el tiempo necesario de penetración del *Staphylococcus epidermidis* en los tres mm apicales. Se hizo seguimiento de las muestras hasta 90 días. La mayoría de las obturaciones con amalgama o IRM mostraron filtración de los seis a los 57 días. MTA mostró diferencias significativas respecto de los otros materiales a los 90 días, con menor filtración.

También se utilizaron 56 dientes unirradiculares⁽¹²⁾ para valorar la filtración de la amalgama sin zinc, IRM, MTA y Super-EBA. Se instrumentaron con el sistema Profile y se obturaron. Se realizó la apicectomía de los 3 mm últimos. Se utilizaron en el estudio 48 dientes, cuatro sirvieron de control positivo y otros cuatro de control negativo. Se esterilizaron en óxido de etileno y utilizando una micropipeta, la *S. marcescens* se inoculó en cada una de las raíces. Se valoraron los días

necesarios para penetrar las bacterias. Para la amalgama fueron 10 días, para el IRM fueron 28 y Super-EBA fueron 48 días. Con el MTA no se observó filtración hasta el día 49. En las condiciones de este estudio se demostró que el MTA era eficaz en la obturación a retro.

De forma similar se utilizaron 100 dientes unirradiculares para valorar Geristore, ProRoot y Super-EBA como material de obturación a retro mediante la capacidad de filtración de la *Prevotella nigrescens*⁽¹³⁾. Se instrumentaron los conductos con Gates-Glidden y Profile serie 29. Se seccionaron las raíces y se preparó la retro-cavidad con ultrasonidos. Se dividieron en tres grupos, y cada uno de ellos se obturó con un material diferente. Como control positivo y negativos se utilizaron cinco dientes en cada control. En el positivo no se obturó la cavidad y en el negativo se cubrió con dos capas de barniz de uñas. Se colocaron estériles en medio anaerobio y dos veces por semana se inoculó con pipeta en cada raíz un cultivo de *Prevotella nigrescens*. A los 47 días no hubo diferencia en la penetración de bacterias.

La amalgama, el MTA, Super-EBA e IRM han sido estudiados de forma frecuente para valorar el grado de filtración y compararlo entre ellos⁽¹⁴⁾. También los períodos de tiempo son importantes en la valoración de la filtración. Usando endotoxina como componente de las bacterias gram-negativas se evaluó la filtración mediante un sistema de fluido a una, dos, seis y doce semanas. A las seis y 12 semanas el MTA filtraba significativamente menos que la amalgama, IRM y Super-EBA, no habiendo diferencias significativas entre estos tres últimos.

Otros⁽¹⁵⁾ estudiaron con rodamina B fluorescente, y microscopio confocal el sellado de amalgama, Super-EBA y MTA en obturaciones retrógradas. Se limpiaron 30 dientes unirradiculares y se realizó la preparación químico-mecánica. Se obturaron con gutapercha y sellador. Se aplicó barniz de uñas y se seccionaron los tres mm últimos de las raíces. Se dividieron en tres grupos aleatorios y se obturaron con los materiales a experimentar. Las raíces fueron expuestas en una solución acuosa de rodamina B fluorescente durante 24 h. Se

seccionaron las raíces de forma longitudinal y se observó la penetración del colorante a lo largo de la raíz con el microscopio confocal. El MTA filtró menos que el Super-EBA y la amalgama, de forma significativa.

Otros investigadores evaluaron la capacidad de filtración de diversos materiales a diferentes pH⁽¹⁶⁾. La amalgama, Geristore, MTA, Super-EBA, CPC o cemento de fosfato cálcico (matriz osteogénica) y MTA con CPC. Fueron valorados a pH = 5 y pH = 7,4. De los 156 dientes empleados se dividieron en seis grupos de 24 cada uno para los seis materiales y 12 se utilizaron de grupo control (seis de grupo control positivo y seis de grupo control negativo). De cada grupo de 12, seis dientes se valoraron a pH = 5 y los otros seis a pH = 7,4. La capacidad de sellado de Geristore y MTA con CPC fue significativamente superior a pH neutro, en comparación con pH ácido a las 24 horas de exposición al mismo. El medio ácido no impide el sellado de ningún material de los evaluados.

La propuesta de otros autores⁽¹⁷⁾ fue realizar perforaciones en furca a 39 molares extraídos para valorar la eficacia del MTA en relación con la filtración de bacterias. El MTA demostró superioridad respecto de la amalgama de forma significativa al valorar la filtración de *Fusobacterium nucleatum* después de perforar la furca y repararla con los citados materiales.

Los mismos autores estudiaron la filtración de molares extraídos y perforados utilizando la citada bacteria anaerobia⁽¹⁸⁾. Se realizaron perforaciones de furca en 39 molares maxilares y mandibulares con fresa a alta velocidad. Los dividieron en dos grupos de 18 dientes cada uno, utilizando tres de grupo control. El grupo uno se preparó con MTA y el dos con amalgama. Los controles negativos no se perforaron. Se cultivaron en medio anaerobio con *Fusobacterium nucleatum*. Ocho de los 18 molares del grupo dos filtraron, mientras que ninguno de los del MTA tuvo filtración. El MTA tuvo resultado favorable si valoramos la filtración con el *Fusobacterium nucleatum* en perforaciones de furca.

Para evaluar la filtración en caso de perforaciones los autores probaron el IRM, MTA y amalgama⁽¹⁹⁾. Para ello utilizaron 50 molares maxilares y mandibulares en

tres grupos de 15 cada uno. Crearon una perforación y posteriormente simulaban una condición clínica con una solución salina. En los cinco dientes del grupo control positivo las perforaciones se dejaron sin tratar. Los molares se sumergieron 48 h en azul de metileno, se seccionaron y se examinaron al microscopio. Con MTA hubo menor filtración que con la amalgama y el IRM. Respecto a la sobre extensión del material el MTA tuvo mínima tendencia a la sobre extensión y el IRM se comportó con escasa tendencia a la extensión del material.

Otros investigadores utilizaron ionómeros de vidrio, estudiaron la filtración de Super-EBA, MTA y amalgama mediante un modelo de transporte de fluidos⁽²⁰⁾. Los compararon con dos ionómeros de vidrio: Fuji II y Hi Dense. Las 100 raíces bovinas diseñadas para la investigación eran de 2,6 mm de diámetro. Cada tres mm fueron obturadas con los cinco materiales, valoraron la filtración en diferentes períodos de tiempo a las 24 h y a los tres, seis y 12 meses después de la obturación. A los tres primeros meses la filtración mayor fue para la amalgama y Super-EBA mientras que para el MTA fue menor. La filtración de amalgama y Super-EBA disminuyó con el tiempo mientras que en el MTA se mantuvo.

El MTA y Super-EBA fueron sometidos a un simulador de masticación equivalente a cinco años de actividad⁽²¹⁾. Posteriormente se examinaron los especímenes con microscopio electrónico de barrido para evaluar el sellado marginal y las grietas formadas. En el MTA hubo más sobreobturaciones que con el Super-EBA. La relevancia de las microgrietas formadas en las raíces seccionadas y su importancia clínica requiere más investigaciones. La simulación de la masticación ya ha sido estudiada por investigadores en la adaptación de composites⁽²²⁾.

BIOCOMPATIBILIDAD

Cultivos celulares

Después de realizar estudios *in vitro* es obligado valorar su capacidad citotóxica. La citotoxicidad del

42 MTA se evaluó en ratones mediante un test *in vivo*⁽²³⁾. La malgama, IRM, Super-EBA y MTA se valoraron después de 24 horas de incubación con radiocromo en células de ratón L-929. Basados en este estudio de cultivos celulares se pudo afirmar que el MTA era menos tóxico que los otros materiales y podía ser un material de uso potencial en obturaciones a retro.

Los materiales de obturación y los cementos selladores de conductos radiculares son potencialmente citotóxicos. En uno de los estudios⁽²⁴⁾ se utilizaron tres cementos selladores de conductos AH-26, CRCS, Endomet y otros materiales de obturación: amalgama, Ketac Silver, MTA, Gallium GF2, Super-EBA y All-Bond 2. El objetivo fue evaluar la citotoxicidad de los mismos en un cultivo de fibroblastos de ratón L-929 y fibroblastos gingivales humanos. CRCS y MTA fueron los materiales menos citotóxicos como selladores y el Gallium GF2, como material de obturación a retro. También se estudiaron los diferentes componentes del All-Bond 2 por separado determinado su alta toxicidad, sobre todo el Primer A y PreBond, cuyos componentes son acetona y etanol con agua.

También IRM, Super-EBA y MTA fueron investigados como materiales citotóxicos y mutagénicos, basándose en el test de Ames. Los resultados expresaron la ausencia de toxicidad y mutagenicidad de los materiales citados utilizando la *Salmonella typhimurium* LT-2⁽²⁵⁾.

Otros estudios utilizaron materiales parecidos. Se comparó la citotoxicidad de MTA, Super-EBA y amalgama en su aplicación como material de obturación a retro. Los fibroblastos de ligamento periodontal se utilizaron como cultivo experimental⁽²⁶⁾. En la mezcla en fresco o reciente la toxicidad de la amalgama fue superior a la de los otros dos materiales. A las 24 horas la secuencia era de Super-EBA, mayor que MTA y que amalgama en baja concentración. A alta concentración fue Super-EBA, amalgama y MTA el resultado de más a menos toxicidad. Los composites también se han comparado con el MTA⁽²⁷⁾. Un composite, amalgama, IRM y MTA se investigaron para valorar su capacidad de adhesión a los osteoblastos humanos mediante MEB (microscopio electrónico de barrido). Los oste-

oblastos tuvieron una respuesta favorable con el MTA y composite, al contrario que con IRM y amalgama. El período de tiempo en los cultivos es un dato importante. El IRM y MTA fueron⁽²⁸⁾ estudiados en cultivo de osteoblastos a los uno, tres y siete días mediante MEB. También se determinaron las citocinas mediante el método ELISA. El MTA proporcionó un sustrato adecuado para el depósito de hueso. También en cultivo de osteoblastos humanos el estudio de la biocompatibilidad del MTA permitió valorar tres variantes del MTA y compararlo con Dycal, yeso de Paris, Interpore 200 y Biogan. El período de observación fue de uno, dos, cuatro y siete días. Las variantes de MTA eran biocompatibles para uso en clínica⁽²⁹⁾.

INVESTIGACIÓN CON ANIMALES

Investigación con perros

Se estudió la respuesta histológica⁽³⁰⁾ a la perforación intencional de la furca en 28 premolares mandibulares de siete perros con amalgama y MTA en diferentes períodos de tiempo. En los especímenes tratados con amalgama se halló inflamación, en comparación con los tratados con MTA en que ésta fue menor. Además, se observó formación de cemento en los tratados con el agregado. En base a estos resultados, los autores recomendaban usar el citado agregado en perforaciones para reparar éstas, sobre todo de forma inmediata después de producirse la perforación, ya que si se demoraba el tratamiento, aparecía inflamación.

En otros casos se trataron las perforaciones de forma diferente. Se instrumentaron y obturaron 28 conductos radiculares⁽³¹⁾. Se realizó una perforación intencionada con una fresa en la zona lateral de la raíz. Las perforaciones se repararon con MTA o Sealapex. Los análisis histológicos a 30 y 180 días no mostraron inflamación y sí depósito de cemento sobre el MTA en la mayoría de las muestras. En el período de 180 días el Sealapex presentó inflamación crónica en todas las muestras y leve depósito de cemento sobre el mate-

rial en sólo tres casos. El MTA demostró mejores resultados que el grupo control.

En cuanto a las investigaciones con perros para exposiciones pulpares⁽³²⁾, se puso de manifiesto que a los 90 días si se utiliza en la exposición MTA o Dycal, en algunos casos se producía dentina. El sellado de la cavidad se realizó con amalgama. No hubo diferencias significativas en la extensión y calidad de la dentina formada.

Otros autores se propusieron un objetivo semejante que fue⁽³³⁾ el de valorar la respuesta de la pulpa en perros, al utilizar como protección pulpar directa el MTA comparado con el hidróxido cálcico (Dycal). La apertura se obturó con óxido de zinc eugenol. Se utilizaron 15 dientes en cada grupo experimental. Dos meses más tarde se evaluaron los tejidos duros, reacción inflamatoria, presencia de células gigantes, partículas de material y microorganismos. Los resultados con el MTA fueron de curación con formación completa de dentina tubular y sin inflamación. Sólo cinco de los dientes tratados con el hidróxido cálcico formaron dentina y en base a los resultados obtenidos afirmaron que el MTA es un cemento adecuado para utilizarlo como protección pulpar.

En el caso de obturaciones a retro, los investigadores los trataron de diversas maneras. Se desarrollaron lesiones periapicales en 46 raíces de seis perros Beagle⁽³⁴⁾. Se realizaron los tratamientos de conductos y las aperturas se sellaron con MTA. Otros conductos se obturaron sin sellador y las aperturas camerales se dejaron abiertas. Las obturaciones a retro se obturaron con MTA y amalgama después de las apicectomías. Se evaluaron a las dos, cinco, 10 y 18 semanas. Se observó baja o poca inflamación perirradicular y cápsulas de fibrosis alrededor del MTA, además de formación de cemento, en comparación con la amalgama.

Algunas experimentaciones han demostrado que el MTA y el cemento Portland (CP) tienen composición química semejante. Con ese propósito se analizó⁽³⁵⁾ el proceso de reparación de los tejidos periapicales de 10 dientes de perro después de la pulpectomía y obturación de conductos con los dos materiales, en total

20 raíces. Noventa días después se realizó el análisis histomorfológico demostrando que los resultados obtenidos para los dos cementos eran semejantes. Ocurrió cierre biológico completo y ausencia de inflamación en la mayoría de los casos, llegando a la conclusión de que la reparación en dientes de perro es semejante con los dos materiales cuando son empleados en la obturación de conductos radiculares.

Los mismos autores ya habían comparado el MTA con ionómeros de vidrio⁽³⁶⁾. El objetivo fue observar la reacción tisular en los tejidos apicales de dientes de perros después de obturar los conductos con gutapercha y MTA o Ketac-Endo. Se sacrificaron los animales seis meses más tarde y se observó la inflamación en tejidos periapicales, así como el cierre del foramen apical. Con el Ketac-Endo en dos casos hubo cierre parcial y diferentes grados de inflamación crónica. Por tanto, el MTA mostraba mejores condiciones de biocompatibilidad que el Ketac-Endo.

El tratamiento de la apicoformación con MTA es una alternativa a tener en cuenta, ya que los investigadores han realizado sus propuestas en vista de los resultados con animales. El objetivo de un estudio⁽³⁷⁾ fue comparar la eficacia de la proteína-1 osteogénica, el hidróxido cálcico y el MTA como inductores del cierre apical en raíces de perros. Se utilizaron para ello 64 raíces de premolares. Después de inducir las lesiones apicales se desbridaron los conductos y se colocó hidróxido cálcico una semana. Posteriormente se obturaron con uno de los materiales propuestos. No hubo diferencias significativas de inflamación y de formación de tejidos duros entre los tres materiales. Se planteó el MTA como una alternativa al hidróxido cálcico en casos de apicoformación.

Se trataron 33 dientes de tres perros de 12 a 18 meses con recubrimiento pulpar directo realizando cavidades de clase V. Se controló la hemorragia y se realizó ligera presión al colocar el MTA. Posteriormente las cavidades se obturaron con amalgama y el tejido pulpar se valoró con microscopio óptico y de barrido. Los intervalos para valorar la curación fueron de una, dos y tres semanas. El MTA era buen material para estimular dentina reparativa⁽³⁸⁾.

44 Investigación con cerdos

Otros animales experimentales son los cerdos. El objetivo del estudio⁽³⁹⁾ fue examinar la reacción tisular al implantar en mandíbulas de siete cerdos MTA y Super-EBA. Ambos eran biocompatibles y se propuso realizar el implante en tibias de cerdo. Los mismos autores unos años más tarde realizaron lo propuesto.

Se investigaron cuatro materiales de obturación a retro: MTA, amalgama, Super-EBA e IRM⁽⁴⁰⁾. El objetivo fue la observación de la reacción tisular en tibias y mandíbulas de 20 animales al serles implantados unos tubos de silicona con los materiales citados. Se sacrificaron a los 80 días. El MTA mostró una buena reacción en los tejidos trasplantados y aposición del hueso; por tanto, era un material biocompatible.

El cemento Portland tiene una composición química semejante el ProRoot-MTA, así como parecidas propiedades físicas y químicas. El objetivo del estudio realizado con cerdos fue comparar la reacción tisular entre ambos productos al implantarlos en mandíbulas de cerdos. Cada animal de los 30 recibió dos implantes, uno con ProRoot y otro con CP preesterilizado con óxido de etileno. La respuesta inflamatoria fue mínima a ambos tipos de implantes⁽⁴¹⁾.

Investigación con monos

En un estudio de investigación con animales, en este caso monos⁽⁴²⁾, se utilizó el MTA como protector pulpar directo comparándolo con el $(OH)_2Ca$. Se expuso la pulpa en 12 incisivos mandibulares y posteriormente se trató. A los cinco meses no se demostró inflamación y hubo formación de dentina en cinco de los seis dientes tratados con MTA. Por el contrario, en los dientes tratados con $(OH)_2Ca$ se observó inflamación y sólo en uno se observó puente dentinario. Basándose en ello, los autores recomendaron el uso de MTA como protector pulpar directo en caso de tratamiento de pulpa vital.

También el MTA se utilizó en tres animales como material de obturación a retro para compararlo con la amalgama, utilizando para ello los incisivos centrales y

laterales⁽⁴³⁾. Se evaluaron los siguientes parámetros: formación de hueso nuevo, cemento sobre la raíz, también sobre el material, cápsula, células predominantes, tipo de inflamación (severa, moderada, media, alta) y mm de la misma. Después de cinco meses se demostró que no había inflamación en cinco de las seis raíces obturadas con MTA. Había formación completa de capa de cemento sobre la obturación. Por el contrario, había inflamación en las raíces obturadas con amalgama.

Investigación con ratas

Un estudio⁽⁴⁴⁾ condujo a la observación de la reacción del tejido conectivo de rata con la implantación en el mismo de tubos de dentina obturados con hidróxido cálcico o MTA. Los animales fueron sacrificados a los siete y 30 días. Se realizó el análisis morfológico de los especímenes, llegando a la conclusión que el MTA induce el depósito de tejidos duros y que el comportamiento o mecanismo de acción de ambos materiales es similar.

Mediante el implante en tejido conectivo de 60 ratas de tubos de dentina conteniendo MTA, Sealapex, Calciobiotic, Root canal Sealer (CRCS), Sealer 26 y Sealer plus se pretendió valorar la reacción tisular. A los siete y 30 días se sacrificaron los animales y se seccionó la dentina con microtomo de tejidos duros. Una vez descalcificadas las secciones se observaron con luz polarizada. Con el CRCS se demostró que no se formaban tejidos duros⁽⁴⁵⁾.

Investigación en gatos

La membrana reabsorbible y la proteína osteogénica humana tiene un efecto osteogénico favorable en tejidos periapicales cuando se realiza cirugía en gatos⁽⁴⁶⁾, obturando las cavidades retrógradas con MTA.

UTILIZACIÓN CLÍNICA DEL MTA

M. Torabinejad presentó en 1999 el MTA como una alternativa o los materiales restauradores⁽⁴⁷⁾ (Fig. 1).

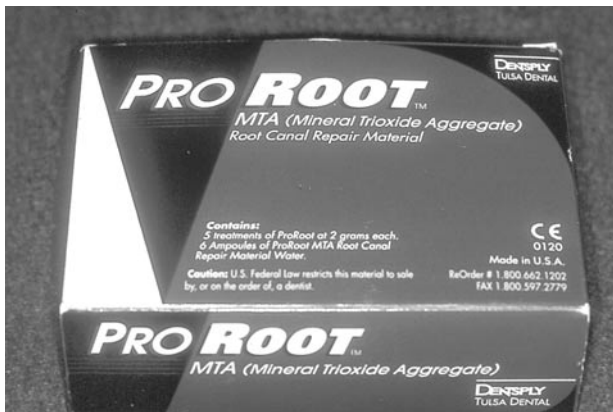


Figura 1. Fotografía de ProRoot-MTA en su presentación comercial.



Figura 2. Mezcla de ProRoot-MTA en loseta a punto de utilizarse en clínica.

El artículo describió las posibles aplicaciones clínicas del MTA como protección pulpar directa en pulpitis reversible, apicoformación, reparación de perforaciones radiculares quirúrgicas o no y en obturaciones a retro. También como obturación en porción apical de forma ortógrada. Otros usos clínicos también pueden ser fracturas verticales y como material de obturación provisional. Otros autores⁽⁴⁸⁾ añadieron más aplicaciones clínicas que puede tener el MTA: fractura radicular horizontal, reparación de perforación de furca y de defecto reabsortivo. Los tratamientos con MTA mejoran los síntomas y la curación del hueso.

La publicación de otros clínicos⁽⁴⁹⁾ también añadió nuevas versiones de aplicación clínica. Realizaron la comparación con el cemento Portland de la construcción.

Por parte de algún autor⁽⁵⁰⁾ se ha realizado la presentación del MTA como producto novedoso y con vistas al próximo milenio. Se propuso como medicación local y basándose en la composición. Se cree que el óxido de calcio puede reaccionar con los fluidos tisulares y dar lugar a hidróxido cálcico, con la diferencia que el MTA endurece.

Otros⁽⁵¹⁾ se propusieron comparar barreras aislantes a los agentes de blanqueamiento. Para ello se utilizó MTA, IRM y fosfato de zinc. El agente blanquea-

dor fue Superoxol y perborato de sodio. La filtración se clasificó en: 1) no filtración; 2) filtración en la barrera, y 3) filtración pasada la barrera.

El fosfato de zinc demostró más filtración que el IRM o MTA y este último la menor. Basados en estos resultados se cree que el MTA puede servir como aislamiento de agentes blanqueadores internos que eviten la reabsorción dentinaria interna.

Utilización en apicoformación

La utilización clínica del MTA en algunos casos clínicos tuvo por objetivo la creación de barrera apical en dientes con ápice abierto⁽⁵²⁾ para poder condensar posteriormente la gutapercha evitando la extrusión del material de obturación. Se consideró adecuado el MTA como material de uso en apicoformación.

En cuanto a las aplicaciones clínicas en los casos de apicoformación se ha descrito también en un adulto, tratada de forma quirúrgica con obturación a retro con MTA⁽⁵³⁾. Su uso en apicoformaciones confirma de nuevo la validez del material en clínica para crear una barrera apical, sobre todo en dientes con ápice abierto, inmaduros y con necrosis pulpar. Su utilización de forma ortógrada solucionaría el problema de las visitas múltiples^(54, 55) (Figs. 1 y 2).

46 Cirugía

En otros casos clínicos⁽⁵⁶⁾ se publicó la utilización del MTA como material de obturación a retro en casos de endodoncia fracasada, en los que se intervinieron de forma quirúrgica. Se destacó la importancia del diagnóstico diferencial, ya que el caso fracasó de nuevo, por no haber diagnosticado una fractura radicular vertical, que motivó la exodoncia.

Perforaciones

Autores portugueses⁽⁵⁷⁾ citan también las propiedades del MTA en cuanto a su comportamiento adecuado en clínica en los casos de perforaciones dentarias en furca, destacando sus resultados favorables.

La propuesta de reparar con hidroxiapatita (HA) las perforaciones furcales en un acto no quirúrgico y en condiciones concretas no es un tema nuevo. Los requerimientos que proponía el autor⁽⁵⁸⁾ para el éxito son: que el tamaño del defecto sea relativo respecto al hueso, tiempo corto entre la perforación y reparación y el sellado hermético.

Dentición temporal

Se trataron en clínica dos casos de diente invaginado y se utilizó el MTA como alternativa al hidróxido cálcico en la pulpotomía de los mismos. Posteriormente, los dientes se extrajeron por motivos clínicos y se observó la curación en los mismos⁽⁵⁹⁾.

La permanencia en boca del molar temporal con riesgo de fracaso, sugirió el uso del MTA⁽⁶⁰⁾. Era un caso de agenesia del premolar en que el segundo molar temporal estaba retenido en boca. No se recomendó como material de obturación en dentición temporal. El uso del MTA en condiciones clínicas especiales es una indicación en que puede servir como ayuda⁽⁶¹⁾. La comunicación existente entre un diente supernumerario y el permanente se selló en un caso con MTA ya que al exodonciar el supernumerario se observó la unión con el incisivo central superior.

In vitro con posible aplicación clínica

También se ha experimentado con molares extraídos para aplicarlo a perforaciones de furca⁽⁶²⁾. Se crearon perforaciones de furca en 32 molares en el centro de la cámara pulpar paralela al suelo. Se realizó una prueba con la Instron (Instron Corp.) para valorar el desplazamiento del material 0,2 mm. Los grupos realizados fueron las 24, 72 horas en medio húmedo y seco. Posteriormente, a los 14 días se repitió la prueba en las mismas muestras para verificar si existía adhesión posterior entre el MTA y la dentina. Hubo diferencias significativas entre las realizadas los primeros días y a los 14 días. En el medio seco se necesitó aplicar mayor fuerza que en el medio húmedo para valorar la readhesión del MTA.

Lee⁽⁶³⁾ descubrió una nueva técnica para eliminar las dificultades de colocación del MTA, formando con él unas bolitas y dejarlas fraguar. Se crea así MTA preformado, con un molde y una forma deseada.

CONSIDERACIONES

Una vez revisadas las publicaciones que aparecen en la bibliografía, hemos de hacer constar que existen escasos trabajos que analicen la composición química. Tampoco se describe con detalle la del cemento Portland tan asumido como semejante al MTA pero sin precisar más que su aspecto estético y supuesto comportamiento como material inerte, de forma similar a aquél. Faltaría comparar la biocompatibilidad más extensamente para poder valorar con rigor esa semejanza. Sí que llama la atención el abundante número de publicaciones en que se ha investigado con animales. Éste es un aspecto a remarcar, ya que no es fácil, y además las condiciones restrictivas actuales sobre la protección de los mismos hacen más dificultoso aún el seguimiento de estudios de biocompatibilidad con los mismos.

Existe un número considerable de materiales comparados con el MTA, que habitualmente se utilizan en odontología. Llama la atención la disparidad en

el uso clínico de todos ellos y, sin embargo, se han comparado con MTA, sin (supuestamente) pretender que el MTA pueda suplantar a algunos de ellos. Quizá se desprende de esta consideración que en el caso de cirugía y perforaciones está indicado, pero se pretende la búsqueda de nuevas entidades o usos que justifiquen las investigaciones realizadas. Lo más sorprendente de todos los estudios citados es que el MTA siempre se ha comportado mejor que los otros materiales testados en las investigaciones, tanto *in vitro* como en animales. Hay publicaciones que comparan el MTA con el cemento Portland (CP) de Holland⁽⁴⁵⁾ y Saidor⁽⁴¹⁾ de experimentación con animales en perro, el primero y en cerdos el segundo. Anteriormente Wucherfening en ratas⁽⁶⁴⁾ también comparó el MTA con el CP demostrando que ambos producían dentina reparativa en contacto con pulpa. Otros autores⁽⁶⁵⁾ aportaron que la composición química es la misma excepto el óxido de bismuto que contiene el MTA.

El caso de MTA en apicoformación solucionaría el problema de las visitas múltiples. El inconveniente del MTA es que la capacidad antibacteriana es limitada. Tener preformados unos tapones de MTA como describió Lee⁽⁶³⁾ facilitaría el inconveniente de la demora del endurecimiento, ya que una vez preformados y fraguados serían utilizables por inserción inmediata.

De todo lo hasta aquí estudiado podríamos afirmar que las investigaciones lo recomiendan en diversas situaciones endodóncicas.

INDICACIONES DE MTA EN ENDODONCIA

47

- Reparación de perforación radicular y de furca.
- Obturación a retro en cirugía periapical.
- Obturación apical en apicoformación.
- Obturación provisional hermética.
- Protección pulpar directa en apicogénesis.
- Biopulpectomía parcial.
- Tapón apical en casos de rizolisis y lesiones periapicales de tamaño grande.
- Traumatología dental.

Existen otros productos novedosos que también pretender ser materiales de obturación de conductos radiculares, concretamente cementos como es el Bio-seal (Ogna, Milán-Italia), cuya composición es óxido de zinc eugenol con hidroxiapatita⁽⁶⁶⁾, pero en la actualidad no se está utilizando como tal. El MTA como cemento de obturación de conductos posee una cualidad favorable que es la capacidad de sellado y es biocompatible. Posee escasa capacidad antibacteriana, aunque si el sellado es perfecto disminuye la importancia de la capacidad antibacteriana, ya que las bacterias coronarias o apicales tienen escasa penetración en el conducto.

Los estudios de biocompatibilidad en las diferentes etapas *in vitro* en cultivos celulares, en animales experimentales, ya sean ratas, perros o monos, demuestran que el material no es tóxico; por tanto, utilizable en diversas indicaciones clínicas. En dientes o molares con pronóstico dudoso podemos tener en cuenta el MTA para solventar (si es posible) algún problema clínico.

BIBLIOGRAFÍA

1. García E, Baldonado JL, Vera J, Rodríguez A, Velázquez J, González C. Nuevas posibilidades terapéuticas en endodoncia. *Rev Europ Odonto-Estomatol* 2000;**12**:325-330.
2. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endodon* 1995;**61**:349-353.
3. Laghios CD, Benson BW, Gutmann JL, Cutler CW. Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *Int Endod J* 2000;**33**:311-315.
4. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endodon* 1995;**21**:403-406.
5. Fogel HM, Peikoff MD. Microleakage of root-end filling materials. *J Endodon* 2001;**27**:456-458.
6. Bates CH, Carnes DL, Del Río CE. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endodon* 1996;**22**:575-578.
7. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root-end filling materials. Effects of blood contamination. *J Endodon* 1994;**20**:159-163.

8. Yatsushiro JD, Baumgartner JC, Tinkle JS. Longitudinal study of the microleakage of two root-end filling materials using a fluid conductive system. *J Endodon* 1998;**24**:716-719.
9. Torabinejad M, Wilder Smith P, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endodon* 1995;**21**:295-299.
10. Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJ. 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.
11. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endodon* 1995;**21**:109-112.
12. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, IRM, and Super-EBA as a root-end filling material. *J Endodon* 1998;**24**:176-179.
13. Scheerer SQ, Steiman HR, Cohen J. A comparative evaluation of three root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Pretovella nigrescens*. *J Endodon* 2001;**27**:40-42.
14. Tang HM, Torabinejad M, Kettering JD. Leakage evaluation of root-end filling materials using endotoxin. *J Endodon* 2002;**28**:5-7.
15. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root-end filling material. *J Endodon* 1993;**19**:591-595.
16. Roy Ch O, Jeansonne BG, Gerrets Th F. Effect of an acid environment on leakage of root-end filling materials. *J Endodon* 2001;**27**:7-8.
17. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam. *J Endodon* 1997;**23**:259 (abstract).
18. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endodon* 1998;**24**:184-186.
19. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforation. *J Endodon* 1993;**19**:541-544.
20. Wu MK, Kontakiotis EG, Wessenlink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endodon* 1998;**24**:557-560.
21. Peters CI, Peters OA. 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.
22. Krejci I, Kuster M, Lutz F. Influence of dentinal fluid and stress on marginal adaptation of resin composites. *J Dental Research* 1993;**72**:490-494.
23. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root-end filling materials. *J Endodon* 1995;**21**:489-492.
24. Osorio RM, Hefti A, Vertucci FJ, Shawley AL. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endodon* 1998;**24**:91-96.
25. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endodon* 1995;**21**:537-539.
26. Keiser K, Johnson C, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endodon* 2000;**28**:288-291.
27. Zhu Q, Haglund R, Safavi KE, Spangberg LSW. Adhesion of human osteoblasts on root-end filling materials. *J Endodon* 2000;**26**:404-406.
28. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endodon* 1998;**24**:543-547.
29. Mitchell PJC, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 1999;**20**:167-173.
30. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong Ch, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;**79**:756-762.
31. Holland R, Otoboni JA, Sanz V, Juvenal M, Estrada PF, Dezan E. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. *J Endodon* 2001;**27**:281-284.
32. Myers K, Kaminski E, Lautenschlager E, Miller D. The effects of mineral trioxide aggregate on the dog pulp. *J Endodon* 1996;**22**:198.
33. Faraco IM, Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol* 2001;**17**:163-166.
34. Torabinejad M, Hong Ch-U, Lee S-J, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endodon* 1995;**21**:603-608.
35. Holland R, Souza V, Nery MJ, Bernabé PFE, Otoboni JA, Dezan E. Agregado de trióxido mineral y cemento Portland en la obturación de conductos radiculares de perro. *Endodoncia* 2001;**19**:275-280.
36. Holland R, Souza V, Juvenal M, Otoboni JA, Estrada PF, Denza E. Reaction of dogs teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *J Endodon* 1999;**25**:728-730.
37. Shabahang SH, Torabinejad M, Boyne Ph P, Abedi H, McMillan P. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endodon* 1999;**25**:1-5.
38. Tziafas D, Pantelidou D, 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.
39. Torabinejad M, Hong Ch-U, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted Super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary study. *J Endodon* 1995;**21**:569-571.
40. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Abedi HR, Kariyawasam SP, Tang H-M. Tissue reaction to implanted root-end filling materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endodon* 1998;**24**:468-471.
41. Saidon J, He J, Safavi K, Spangberg LS. Tissue reaction to implanted mineral trioxide aggregate or Portland cement. *J Endodon* 2002;**28**:247 (abstract).
42. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariya-

- wasam SP. Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc* 1996;**127**:1491-1494.
43. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry D, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam P. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endodon* 1997;**23**:225-228.
44. Holland R, Souza V, Nery MJ, Otoboni JA, Bernabé PFE, Dezan E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endodon* 1999;**25**:161-166.
45. Holland R, Souza V, Juvenal M, Estrada PF, Otoboni JA, Dezan E, Murata SS. Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide-containing sealers. *J Endodon* 2002;**28**:173-176.
46. Maguire H, Torabinejad M, McKendry D, McMillan P, Simon JH. Effects of resorbable membrane placement and human osteogenic protein-1 on hard tissue healing after periradicular surgery in cats. *J Endodon* 1998;**24**:720-725.
47. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endodon* 1999;**25**:197-205.
48. Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, Walker WA. Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *J Am Dent Assoc* 1999;**130**:967-975.
49. Nahmias Y, Bery P. Mineral trioxide aggregate (MTA) and its uses. *Oral Health* 1999;**12**:17-18.
50. Canalda C. Siglo XXI. ¿Cómo se perfila la endodoncia? *Rev Europ Odonto-Estomatol* 2000;**12**:204-208.
51. Cummings GR, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate (MTA) as an isolating barrier for internal bleaching. *J Endodon* 1995;**21**: 228 (abstract).
52. Rocamora M, Teixidó M, Roig M. Obturación apical por vía ortógrada con MTA en un diente con ápice abierto. *Endodoncia* 2001;**19**:17-20.
53. Cochet JY. Utilisation du MTA dans le traitement tardif d'une dent immature. *Endodoncia* 1999;**3**(6):14-17.
54. Miñana M. Utilización del agregado de trióxido mineral (MTA) como barrera apical en dientes con el ápice abierto. *Endodoncia* 2000;**18**:131-139.
55. Berástegui E, Ballester ML. Tratamiento de apicoformación con ProRoot-MTA. *Endodoncia* (en prensa).
56. Fabra H, Aranguren J. El agregado de mineral trióxido (MTA) como posible tratamiento en los fracasos de origen endo-periodontal. *Endodoncia* 2001;**19**:40-50.
57. Azevedo A, Furlan A, Costa V, Schmitt S, Freitas EV. MTA como uma nova perspectiva no tratamento de perfurações dentárias. *R Fac Odontol Porto Alegre* 2000;**42**:32-36.
58. Lemon RR. Nonsurgical repair of perforation defects. *Dental Clinics North America* 1992;**36**:439-457.
59. Koh ET, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP, Chen NN, Torabinejad M. Prophylactic treatment of dens invaginatus using mineral trioxide aggregate. *J Endodon* 2001;**27**:540-542.
60. O'Sullivan SM, Hartwell GR. Obturation of a retained primary mandibular second molar using mineral trioxide aggregate: a case report. *J Endodon* 2001;**27**:703-705.
61. Kim E, Jou Y-T. A supernumerary tooth fused to the facial surface of a maxillary permanent central incisor: case report. *J Endodon* 2000;**26**:45-48.
62. Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endodon* 1998;**24**:768-771.
63. Lee ES. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endodon* 2000;764-765.
64. Wucherpfening AL, Green DB. Mineral trioxide vs Portland cement: two biocompatible filling materials. *J Endodon* 1999;**25**: 308 (abstract).
65. Estrela C, Bammann LL, Estrela CRA, Silvia RS, Pecora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dental J* 2000;**11**:19-27.
66. Berástegui E. Actualización sobre cementos de obturación de conductos radiculares. *Odontol Con* 1999;**2**:36-46.