

Estabilidad del color del Agregado trióxido mineral

Marta Vallés Rodríguez

Dipòsit Legal: B. 15767 - 2014

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



ESTABILIDAD DEL COLOR DEL AGREGADO TRIÓXIDO MINERAL

Departamento de Restauradora dental y Endodoncia
Facultad de Odontología
Programa de Doctorado: Doctorado en Odontología
Universitat Internacional de Catalunya

TESIS DOCTORAL

MARTA VALLÉS RODRÍGUEZ

2014

DIRECTORA

Dra. Montserrat Mercadé Bellido

CODIRECTOR

Dr. Fernando Duran-Sindreu Terol

Als meus fills Mar i Biel

AGRADECIMIENTOS

A mi directora, la Dra. Montse Mercadé, porque sin su ayuda no habría conseguido este proyecto. Montse gràcies per haver confiat en mi, pel teu suport, per la teva paciència i per tot el temps que m'has dedicat.

A mi codirector, el Dr. Durán, por su importante ayuda. Por sus observaciones, sus consejos y por su amistad incondicional.

Al Dr. Roig, por su confianza. Gracias por conseguir que nuestro departamento sea una gran familia.

A Anaïs, por su ayuda durante la realización de esta tesis. Por ser una gran compañera y mejor amiga.

Al Dr. Bourdelande, por guiarme cuando ya no sabía por dónde continuar, abrirme las puertas de su universidad y brindarme su ayuda siempre que lo he necesitado.

A Mark Lodge, por su paciencia y ayuda en las correcciones de los artículos.

A todos los profesores y alumnos del departamento de Endodoncia y restauradora dental.

Por último...

A mis padres, por la educación que me han brindado. Gracias por enseñarme que podía conseguir todo aquello que quisiera, solo tenía que proponérmelo, esforzarme y ser constante.

A mis hermanos, por su cariño y soporte incondicional.

A Gerard, por su paciencia, ayuda y aliento. Gràcies per comprendre la importància que te per mi aquest projecte. Gràcies per ajudar-me i animar-me quan més ho necessitava.

A mis hijos Mar y Biel, por las horas robadas durante la realización de esta tesis. Gràcies per aconseguir que al arribar a casa oblidi les petites coses que potser no anat bé durant el dia i compregui que es allò realment important.

ÍNDICE

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIII |
| 1. JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 2. HIPÓTESIS | 19 |
| 3. OBJETIVOS | 25 |
| 4. INTRODUCCIÓN | 29 |
| 4.1. Materiales a base de Silicato de Calcio | 32 |
| 4.1.1. Cemento Portland | 32 |
| 4.1.1.1. Composición Cemento Portland | 32 |
| 4.1.1.2. Indicaciones del Cemento Portland | 33 |
| 4.1.1.3. Estabilidad color del Cemento Portland | 33 |
| 4.1.2. ProRoot® MTA | 33 |
| 4.1.2.1. Composición ProRoot® MTA | 33 |
| 4.1.2.2. Indicaciones ProRoot® MTA | 34 |
| 4.1.2.3. Estabilidad color ProRoot® MTA | 34 |
| 4.1.3. ProRoot® Tooth-colored MTA | 34 |
| 4.1.3.1. Composición ProRoot® Tooth-colored MTA | 34 |
| 4.1.3.2. Indicaciones ProRoot® Tooth-colored MTA | 35 |
| 4.1.3.3. Estabilidad del color ProRoot® Tooth-colored MTA | 35 |
| 4.1.4. Angelus® MTA | 37 |
| 4.1.4.1. Composición Angelus® MTA | 37 |
| 4.1.4.2. Indicaciones Angelus® MTA | 37 |
| 4.1.5. Angelus® Branco MTA | 38 |
| 4.1.5.1. Composición Angelus® Branco MTA | 38 |
| 4.1.5.2. Indicaciones Angelus® Branco MTA | 38 |
| 4.1.5.3. Estabilidad color Angelus® MTA y Angelus® Branco MTA | 38 |
| 4.1.6. Biodentine® | 39 |
| 4.1.6.1. Composición Biodentine® | 39 |
| 4.1.6.2. Indicaciones Biodentine® | 40 |
| 4.1.6.3. Estabilidad color Biodentine® | 41 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. El color | 41 |
| 4.2.1. El color dental | 41 |
| 4.2.1.1. Propiedades del color dental | 42 |
| 4.2.1.2. Espacio CIELAB | 42 |
| 4.2.1.3. Espectrofotómetro | 43 |
| 5. ARTÍCULO 1: Color stability of white mineral trioxide aggregate..... | 45 |
| 5.1. Descripción del artículo..... | 47 |
| 5.2. Resumen y Texto principal | 48 |
| 6. ARTÍCULO 2: Influence of light and oxygen on the color stability of five calcium silicate-based materials | 53 |
| 6.1. Descripción del artículo..... | 55 |
| 6.2. Resumen y Texto principal | 56 |
| 7. ARTÍCULO 3: Análisis espectrofotométrico de la decoloración dental inducida por MTA blanco y Biodentine | 61 |
| 7.1. Descripción del artículo..... | 63 |
| 7.2. Resumen | 64 |
| 7.3. Texto principal | 65 |
| 8. DISCUSIÓN | 75 |
| 9. CONCLUSIONES | 85 |
| 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 89 |
| 11. ANEXOS | 99 |
| 11.1. Anexo I “Aprobación proyecto de tesis”..... | 101 |
| 11.2. Anexo II “Aprobación Comisión de Doctorado”..... | 105 |
| 11.3. Anexo III “CER proyecto tesis”..... | 109 |
| 11.4. Anexo IV “CER artículo Endodoncia” | 113 |
| 11.5. Anexo V “Póster presentado en Conseuro 2013”..... | 117 |
| 11.6. Anexo VI “Tabla de acrónimos” | 121 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Presentación comercial del ProRoot Tooth-colored MTA. | 34 |
| Figura 2. Aplicaciones clínicas del ProRoot Tooth-colored MTA | 35 |
| Figura 3. Imagen del artículo de Boutsioukis y cols. Podemos observar el canal radicular tras la remoción del material de obturación de WMTA. Se observa la evidente decoloración oscura de los remanentes del WMTA. | 37 |
| Figura 4. (A) Fotografía intraoral de avulsión del diente 2.1. (B) Reposición del diente 2.1. y ferulización. (C) Radiografía periapical a las 4 semanas. (D) Tratamiento endodóntico con apicoformación con Angelus Branco MTA. (E) Ligera decoloración cervical al mes del tratamiento endodóntico. (F) Severa decoloración coronal 3 meses tras el tratamiento endodóntico. | 39 |
| Figura 5. Indicaciones clínicas del Biodentine®, según el fabricante. | 40 |
| Figura 6. El espacio de color CIELAB. | 43 |
| Figura 7. Espectrofotómetro SpectroShade™ Micro Booster. | 44 |

JUSTIFICACIÓN

1. JUSTIFICACIÓN

El Agregado de Trióxido Mineral (MTA, Tulsa, EEUU) fue introducido en el campo de la endodoncia el año 1993 por la Universidad de Loma Linda (1, 2). Es un material basado en silicato de calcio con unas características que lo convierten en un material versátil con múltiples indicaciones en odontología (3). En algunas de estas indicaciones, como en la reabsorción cervical (4), el recubrimiento pulpar (5-7), las pulpotomías (8, 9), en la base cervical creada previamente al blanqueamiento interno (10) y en la revascularización, el MTA tendrá una posición coronal y estará en contacto directo con la restauración adhesiva. Dicha ubicación coronal del MTA hace que su color sea importante, ya que podría afectar al color de la corona del diente e influir en el resultado estético final después de la restauración. Por esta razón, en el año 2002 el fabricante del MTA introdujo al mercado un MTA blanco (ProRoot MTA Tooth-colored Formula; Dentsply, Tulsa, USA). En los casos antes mencionados, el MTA blanco (WMTA) está indicado como sellador de elección, sin embargo, a pesar del cambio de formulación en el MTA, diversos estudios de investigación observan cambios en el color de dicho MTA blanco a lo largo del tiempo (10-12). Los resultados de los estudios mencionados se pueden clasificar como meras observaciones, y hasta el momento de la realización de esta tesis, no existía ningún estudio que evaluara científicamente la estabilidad del color del MTA.

Es por ello que nuestro primer estudio pretendía estudiar las causas que originan estos cambios en el color del MTA blanco. Al observar claramente en los resultados un cambio en el color del MTA decidimos seguir profundizando en dicha investigación e utilizar además otros materiales parecidos al MTA.

En nuestro segundo estudio evaluamos además la estabilidad del color del MTA blanco de la casa Angelus (MTA branco, comercializado en el 2003 por Angelus Soluções odontológicas, Londrina, Brasil), del cemento Portland (ya que es bien sabido que el MTA es básicamente cemento Portland modificado) y del Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fossés, Francia).

El Biodentine es un material que se comercializó para substituir al MTA en los tratamientos endodónticos mejorando algunas de sus características. Entre

las ventajas del Biodentine destacan su mejor manejabilidad y rendimiento (13) y el hecho de tener un tiempo de fraguado corto, de 12 minutos (14).

Hasta el momento de la realización del estudio no había datos disponibles sobre la estabilidad del color del Biodentine.

Finalmente, una vez estudiada la estabilidad del color de estos materiales individualmente, consideramos fundamental conocer el comportamiento de dichos materiales a nivel dental, ya que la interacción diente-material puede afectar a su estabilidad. Es por ello que nuestro tercer estudio pretendía observar la estabilidad del color de dientes humanos recién extraídos, obturados con WMTA y con Biodentine.

HIPÓTESIS

2. HIPÓTESIS

Hipòtesis nula (H₀): El color del ProRoot® Tooth-colored MTA i de los otros 4 materiales a base de silicato de calcio se mantiene estable en cualquier situación de presencia/ausencia de luz y oxígeno.

Hipòtesis alternativa (H₁): El color del ProRoot® Tooth-colored MTA i de los otros 4 materiales a base de silicato de calcio se oscurece cuando se irradia con luz y están en un ambiente libre de oxígeno. Sin embargo, se mantiene estable cuando se irradian con luz en un ambiente con oxígeno, o cuando se dejan en la oscuridad.

OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar, mediante registro espectrofotométrico, la estabilidad del color de varios materiales basados en silicato de calcio, bajo diferentes condiciones ambientales de luz y oxígeno.

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Evaluar el efecto que produce la irradiación con diferentes lámparas de polimerizar y la luz fluorescente en la estabilidad del color del ProRoot® Tooth-colored MTA en un ambiente sin oxígeno.

3.2.2. Evaluar el efecto que produce la irradiación con la lámpara de polimerizar poliwave LED Bluephase® 20i y con una lámpara fluorescente, y la influencia del oxígeno en la estabilidad del color de cinco materiales basados en silicato de calcio (cemento Portland, cemento Portland con óxido de bismuto, Biodentine®, Angelus® Branco MTA y ProRoot® Tooth-colored MTA).

3.2.3. Evaluar el efecto del tiempo en la estabilidad del color de dientes humanos extraídos restaurados con ProRoot® Tooth-colored MTA y con Biodentine®.

INTRODUCCIÓN

4. INTRODUCCIÓ

Hoy en día la estética dental es un factor muy importante para nosotros y para nuestros pacientes. El cambio de coloración dental, para la mayoría de pacientes, es más importante en el logro de una sonrisa estética que la alineación normal de los dientes dentro del arco (15). La decoloración de los dientes provocada por materiales de endodoncia es un hallazgo frecuente y puede afectar al resultado estético final de los dientes (16).

El Agregado Trióxido Mineral (MTA) es un material endodóntico a base de silicato de calcio que ha sido desarrollado por modificación del cemento Portland (17, 18). Diversos estudios *in vivo* y de laboratorio han demostrado que el MTA posee excelente biocompatibilidad y capacidad de sellado (19), por lo que actualmente es el material de elección para diversos tratamientos tales como la obturación radicular (20-22), el recubrimiento pulpar directo (23-25), la reparación de perforaciones (26) y la apicoformación (27). Sin embargo, este primer MTA se presentaba en color gris, y en alguno de estos tratamientos dónde debía ser colocado en una posición coronal, su color afectaba al resultado estético final, tal y como observaron varios estudios (9, 28).

En el año 2002, Dentsply comercializó un MTA de color blanco (ProRoot® Tooth-colored MTA, Dentsply, Tulsa, USA) para superar este inconveniente. El MTA blanco (WMTA) presenta características físicas y biológicas similares al MTA gris (GMTA) (29). Más adelante, en el año 2003 Angelus comercializó otro MTA blanco (Angelus® MTA Branco, Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, PR, Brazil). Por lo tanto, actualmente el WMTA es fabricado por Dentsply (ProRoot® Tooth-colored MTA) y por Angelus (Angelus® Branco MTA).

A pesar del cambio de color en la formulación del MTA original, pasando del gris al blanco, varios estudios también han observado decoloración de los dientes cuando el WMTA se aplicó en zonas de compromiso estético (30-32). La estabilidad del color es un tema importante para los materiales que se colocan en las zonas de compromiso estético y juega un papel vital en el éxito clínico del tratamiento restaurador.

Los materiales con base de silicato de calcio (CSMs) se caracterizan por la liberación de hidróxido de calcio en solución (33, 34), el cual al entrar en

contacto con los fluidos del tejido circundante forma hidroxiapatita y esto les atribuye propiedades antibacterianas (29, 33, 35). El silicato tricálcico es el componente principal de los CSMs, tanto en el Cemento Portland como en el MTA (36, 37).

Recientemente se han desarrollado varios CSMs (38-41) con el objetivo de mejorar algunos inconvenientes del MTA, tales como su difícil manejo (42), su largo plazo tiempo de fraguado (18, 43) y su potencial de decoloración (19). El Biodentine (Septodont®, Saint-Maur-des-Fosse, Francia) es uno de estos materiales con indicaciones endodónticas similares a las del MTA y pudiendo ser utilizado también como un material de restauración dentinaria.

4.1 MATERIALES A BASE DE SILICATO DE CALCIO

4.1.1. CEMENTO PORTLAND

4.1.1.1. Composición del Cemento Portland

El Cemento Portland (PC) es un polvo fino producido por molienda de clínker de cemento. Este, se clasifica como un cemento hidráulico, el cual normalmente está compuesto por un 65% de cal, un 20% de sílice, un 10% de alúmina y óxido férrico y un 5% de otros compuestos. El PC se produce mediante molienda de arcilla y minerales portadores de cal en las proporciones correctas y luego calentando la mezcla a 1.400°C. La adición de agua al PC resulta en una reacción de hidratación en la que el PC fragua (36). El estándar de la Unión Europea (UE) para PC, EN 197-1, regula la producción industrial de cemento en Europa y clasifica este material en cinco grupos de cemento (CEM I-V). Sólo el CEM I es PC puro (44). El contenido de iones de metales pesados en el PC gris está causado principalmente por el clínker seleccionado y por las características de los procesos de combustión. El PC blanco está fabricado a partir de materias primas más puras y requiere de una temperatura de combustión de aproximadamente 1600°C. Normalmente esta temperatura no puede ser alcanzada mediante combustión de carbón, es por ello que sobre todo se utiliza el gas como fuente de energía. Esta es la razón por la cual el PC blanco (WPC) contiene muy pocos iones metálicos pesados y Cromo IV soluble (45).

4.1.1.2. Indicaciones del Cemento Portland

El PC es un material barato. Debido a su similitud química con el MTA (46-48), algunas investigaciones han sugerido que el PC sea un sustituto del MTA (37, 49, 50). Numerosas investigaciones han demostrado que tanto el PC como el MTA tienen la misma composición, excepto por el óxido de bismuto (BO) (46-48, 51, 52) que contiene el MTA.

La eficacia del PC para el recubrimiento pulpar directo es comparable a la del MTA (53). Una revisión sistemática reciente concluyó que tanto el MTA como el PC no exhibían genotoxicidad (54). Sin embargo, hay numerosas razones para que el PC no sea usado con aplicaciones clínicas como sustituto del MTA. La razón principal es que el PC no ha sido formulado para el uso humano y la Sociedad dental americana (ADA) no ha aprobado su uso.

4.1.1.3. Estabilidad del color del Cemento Portland

Algunos fabricantes, como Medcem GmbH (Weinfelden, Suiza), afirman que el WPC tiene una mejor estabilidad del color que el WMTA (55).

En 2012, Lenherr (55) evaluó y comparó la decoloración provocada por diferentes materiales endodónticos mediante un modelo de diente bovino. En ese estudio, el WPC mostró la mejor estabilidad de color entre los diferentes materiales basados en PC (GMTA, WMTA, y PC). Sin embargo, después de la contaminación de las muestras con sangre, todos los materiales a base de cemento Portland mostraron un aumento de decoloración. Hasta el momento este es el único estudio publicado que estudia la estabilidad de color del PC.

4.1.2. PROROOT® MTA original (Dentsply / Tulsa Dental, Tulsa, OK)

El ProRoot® MTA original (GMTA) se introdujo en el campo de la odontología en 1993 como un compuesto de color gris con el potencial para sellar las vías de comunicación entre el sistema de conductos radiculares y la superficie externa del diente (56).

4.1.2.1. Composición del ProRoot® MTA original

El GMTA se compone de partículas hidrófobas de óxido tricálcico, silicato tricálcico, óxido de bismuto, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica y sulfato de calcio dihidratado que, mezcladas con agua esterilizada, forman un gel coloidal que se endurece en presencia de humedad durante un promedio de 4 horas (43, 56).



Figura 1. Presentación comercial del ProRoot Tooth-colored MTA

4.1.2.2. Indicaciones del ProRoot® MTA original

El GMTA ha sido propuesto como material de elección en la obturación del ápice radicular (57), el recubrimiento pulpar directo (23), las pulpotomías de dientes temporales (58), la formación de una barrera apical en dientes con pulpa necrótica y en el ápice abierto (59), la reparación de perforaciones (26, 60) y en la apicogénesis (60).

4.1.2.3. Estabilidad del color del ProRoot® MTA original

Maroto y cols. (9) evaluaron los resultados del uso de GMTA en pulpotomías de dientes temporales y observaron un cambio de coloración notable seis meses después del tratamiento. Jacobovitz y Lima (28), en un caso clínico de apicoformación con GMTA en un diente reimplantado, notaron una leve coloración gris en la corona del diente después del tratamiento, a pesar de que el material fue colocado en el tercio apical del conducto radicular. Sin embargo, Baratto Filho y cols. (4) en un caso clínico sobre un tratamiento de una reabsorción cervical invasiva con GMTA, no observaron a los dos años ningún cambio de color en el diente. Los autores explican este suceso gracias al control en el nivel de la aplicación del GMTA.

4.1.3. PROROOT® TOOTH-COLORED MTA (Dentsply / Tulsa Dental, Tulsa, OK)

El MTA blanco (WMTA) (Figura 1) fue desarrollado por Dentsply Tulsa Dental en 2002 para evitar los problemas de decoloración coronal derivados de la colocación de GMTA.

4.1.3.1. Composición ProRoot® Tooth-colored MTA

El WMTA difiere del GMTA en que tiene una reducción significativa en la proporción del componente tetracalcio aluminoferrita (61), del hierro y del magnesio (37, 46, 51, 62).

Un estudio cualitativo de superficie del WMTA y del GMTA mostró que el tamaño de los cristales del GMTA es 8 veces mayor que los del WMTA (62). Las imágenes reportadas en el estudio muestran como el oxígeno está distribuido a lo largo de ambas fases, cristalina y amorfa, del GMTA y del WMTA; y por lo tanto, todos los elementos están presentes en forma oxidativa (62).

4.1.3.2. Indicaciones ProRoot® Tooth-colored MTA

El WMTA tiene las mismas indicaciones que el GMTA (como se muestra en la Figura 2), sin embargo está especialmente indicado para las aplicaciones con compromiso estético, en las que el color oscuro del GMTA comprometería la estética del paciente.

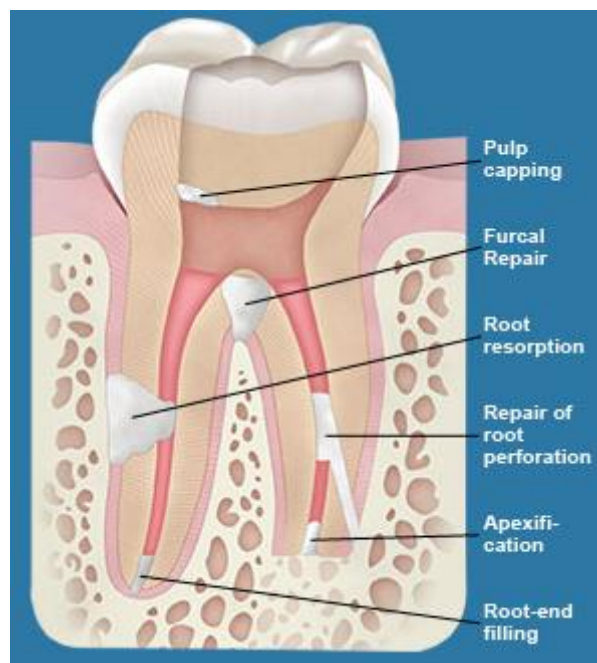


Figura 2. Aplicaciones clínicas del ProRoot Tooth-colored MTA (63)

4.1.3.3. Estabilidad del color ProRoot® Tooth-colored MTA

Las primeras observaciones de cambio de coloración del WMTA las encontramos en tres estudios *in vitro*, que durante el estudio de laboratorio de este material observan un oscurecimiento de este y lo comentan en el artículo como un hallazgo inesperado (10-12). En la evaluación de los efectos del pH

y agentes de mezcla en el fraguado del tooth-colored MTA, Watts y cols. (11) observaron que todos los especímenes de WMTA (independientemente del agente de mezcla, del pH, o del tiempo) eran de color gris cuando se retiran del molde, 3 días después de la colocación. En otro estudio *in vitro* que evaluaba la eficacia de la eliminación del WMTA como material de obturación del conducto radicular (12), se observó decoloración en la mayoría de los especímenes de WMTA (Figura 3). En ambos estudios, el material se decolora en los puntos ubicados más profundamente. Tsujimoto y cols. (10) cubrieron muestras de WMTA con dos agentes de blanqueamiento activados por un diodo emisor de luz, y se observaron un cambio de color de la superficie de blanco a gris, en ambos grupos. Además, la decoloración se produjo en la superficie de las muestras inmediatamente después de que el agente de blanqueamiento se activara por luz. Los autores suponen que esto se produjo por el bajo pH del H₂O₂ del agente blanqueante.

Belobrov y Parashos (30), en un caso clínico, observaron cambio de coloración dental 1 mes después de una pulpotomía parcial con WMTA. La decoloración fue tratada mediante la eliminación cuidadosa del WMTA y un blanqueamiento interno adicional. El color de la corona mejoró considerablemente tras la eliminación del WMTA. Sólo se observó una pequeña mejora en el color de la dentina interna tras el blanqueamiento interno.

El cambio de color dental después de la colocación de WMTA en posición coronal (recubrimiento pulpar directo, pulpotomía o una reparación de una perforación furcal) se observa en varios trabajos. Sin embargo, en un estudio *in vivo* de un tratamiento apicoformación WMTA en incisivos permanentes no vitales traumatizados, el cambio de color de la corona se observó en el 22,7% de los dientes. En este estudio el WMTA se colocó a los 3-5 milímetros apicales y el relleno se hizo con gutapercha termoplastificada. La causa no es clara, el WMTA fue colocado apicalmente, lejos de la línea cervical. La filtración de los componentes del WMTA a través de la dentina cervical causando una tinción es una de las hipótesis de los autores (32).



Figura 3. Imagen del artículo de Boutsoukis y cols. (2008) (12). Podemos observar el canal radicular tras la remoción del material de obturación de WMTA. Observa la evidente oscura decoloración de los remanentes del WMTA.

4.1.4. ANGELUS® MTA (Angelus Soluções em Odontologia, Londrina, PR, Brasil)

En el año 2001 se Angelus® comercializó un cemento MTA gris (AGMTA)

4.1.4.1. Composición Angelus® MTA (AMTA)

AMTA está compuesto de un 80% de PC y de un 20% de óxido de bismuto (48). El AMTA difiere del ProRoot MTA en que no contiene sulfato (64), lo que indica una insignificante presencia de yeso en el cemento, reduciendo así el tiempo de fraguado a 10-15min.

La mayoría de las propiedades físicas del AMTA y del MTA son muy parecidas, sin embargo, hay diferencias en el tiempo de fraguado y en la gama de tamaño de las partículas, teniendo el MTA una composición más homogénea (51, 65). El AGMTA contiene una menor cantidad de óxido de bismuto y de fosfato de magnesio que el GMTA. En contraste, la cantidad de carbonato de calcio, silicato de calcio, fosfato de bario y zinc en AGMTA es mayor que en GMTA (51).

4.1.4.2. Indicaciones Angelus® MTA

Las indicaciones del AGMTA son las mismas que las del GMTA. En la literatura encontramos estudios donde el AGMTA se utiliza para tratar

reabsorciones internas (66), perforaciones radiculares (67), perforaciones de furca (68), recubrimiento pulpar directo (69), pulpotomías en molares primarios con caries (70).

Sin embargo, existen muchos menos estudios sobre las aplicaciones clínicas del AMTA que sobre el ProRoot® MTA.

4.1.5. ANGELUS® BRANCO MTA (Angelus Soluções em Odontologia, Londrina, PR, Brasil)

En el año 2003 se introdujo en el mercado el cemento Angelus® Branco MTA, de color blanco (AWMTA).

4.1.5.1. Composición Angelus® Branco MTA

AWMTA presenta un menor contenido de Fe_2O_3 que el AGMTA (71).

Camilleri y cols. (64) estudiaron la composición química de AWMTA utilizando fluorescencia de rayos X y determinaron una inclusión de 10,5% de óxido de bismuto. Esta cantidad de radiopacificante es inferior al 20% de óxido de bismuto que establece la patente del MTA (72).

4.1.5.2. Indicaciones Angelus® Branco MTA

El AWMTA tiene las mismas indicaciones que el AGMTA pero al ser formulado en color blanco, sus indicaciones principales serían las de compromiso estético. En la literatura encontramos estudios donde el AGMTA se utiliza para tratar reabsorciones internas (66) y perforaciones radiculares (67).

4.1.5.3. Estabilidad del color de Angelus® MTA y Angelus® Branco MTA

Bortoluzzi (67), en 2007, fue el primero en publicar un caso clínico sobre una decoloración coronal y gingival después de un tratamiento de reparación de una perforación con AGMTA. Los autores trataron dicha decoloración cambiando el AGMTA por AWMTA. El paciente, así como el personal profesional, se mostró satisfecho con los resultados de inmediato y en el seguimiento clínico. Sin embargo, en otro informe sobre un tratamiento de una reabsorción interna con AWMTA, se reportó que el diente se oscureció a un tono gris (66). Moore (32), en un estudio *in vivo* de apicoformación de incisivos inmaduros permanentes con dos tipos de WMTA, se dió cuenta de que cinco dientes presentaban decoloración coronal. En tres casos, el cambio de color fue observado en el control a los 3 meses, mientras que en los otros

dos casos, la decoloración se observó a los 18 meses. El AWMTA era el material apicoformación en cuatro de los cinco dientes oscurecidos.

En un análisis espectrofotométrico *in vitro* de decoloración coronal inducida por AGMTA y AWMTA, se llegó a la conclusión que ambas formulaciones de AMTA inducen cambios significativos de color. No obstante, la decoloración inducida por AGMTA era más severa y rápida (73).

Akbari y cols. (74), en un reciente estudio de laboratorio investigaron los efectos cromógenos del AGMTA y AWMTA y confirmaron que ambas formulaciones pueden inducir decoloraciones coronas perceptibles *in vitro*, y aunque AGMTA produjo un poco más de tinción, no observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

En la figura 4 podemos observar un caso clínico en el que el diente 2.1. ha sufrido cambio de color tras un tratamiento de apicoformación con AWMTA.



Figura 4. (A) Fotografía intraoral de avulsión del diente 2.1. (B) Reposición del diente 2.1. y ferulización. (C) Radiografía periapical a las 4 semanas. (D) Tratamiento endodóntico con apicoformación con Angelus Branco MTA. (E) Ligera decoloración cervical al mes del tratamiento endodóntico. (F) Severa decoloración coronal 3 meses tras el tratamiento endodóntico. Caso clínico cedido por el odontólogo Gonzalo Olivieri.

4.1.6. BIODENTINE® (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Francia)

Basándose en las excelentes propiedades biológicas de los cementos a base de Portland, recientemente se ha desarrollado un nuevo CSM llamado Biodentine®.

4.1.6.1. Composición del Biodentine®

El Biodentine es un cemento que se forma con la unió de un polvo y un líquido. El polvo consiste en silicato tricálcico, silicato dicálcico, carbonato de calcio, óxido de calcio y óxido de circonio como radiopacificante (75). El líquido se compone de cloruro de calcio y un polímero hidrosoluble. El carbonato de calcio se incorpora tanto por su biocompatibilidad como por su contenido en calcio. El polímero hidrosoluble se basa en policarboxilato y mantiene un equilibrio entre el bajo contenido de agua y la consistencia de la mezcla. Su tiempo de fraguado es corto, de 12 minutos, gracias al uso de cloruro de calcio y al tamaño de fino de sus partículas.

4.1.6.2. Indicaciones del Biodentine®

El Biodentine se recomienda como un sustituto de la dentina bajo restauraciones de resina compuesta y como material de reparación endodóntico debido a su buena capacidad de sellado, alta resistencia a la compresión, corto tiempo de fraguado (13, 76), biocompatibilidad, bioactividad y propiedades de biomineralización (77, 78). En la figura 5 podemos observar las indicaciones de este material según su fabricante. Debido a que alguna de sus indicaciones están ubicadas en áreas dentales de compromiso estético, su color será clave para alcanzar el resultado estético deseado. Sin embargo, no hay estudios sobre estabilidad del color de este material.

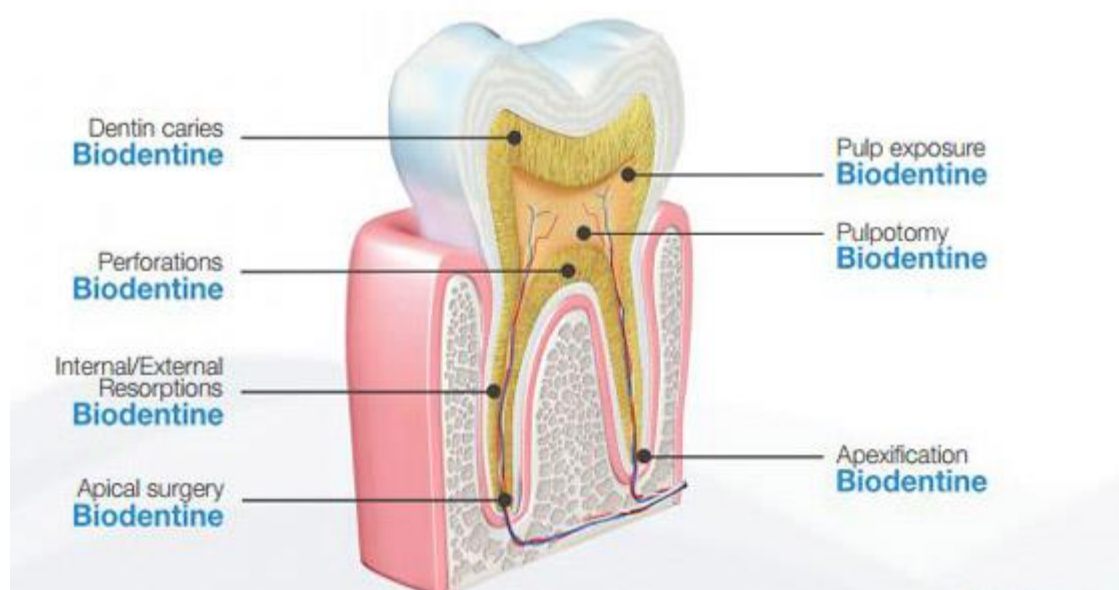


Figura 5. Indicaciones clínicas del Biodentine®, según el fabricante (79).

4.1.6.3. Estabilidad del color del Biodentine®

El color del Biodentine una vez fraguado es blanco-rosáceo. La casa comercial no nos ofrece información sobre la estabilidad del color del Biodentine, ni existen referencias en la literatura.

4.2. EL COLOR

La luz natural está compuesta por un amplio espectro de ondas electromagnéticas. Isaac Newton en 1666 realizó un experimento en el cual demostró que cuando un rayo de luz atraviesa un prisma, este se descompone en un patrón ordenado de colores, que actualmente conocemos como espectro. También descubrió que si estos colores nuevamente atraviesan el prisma, se produce la luz blanca, lo que demostraba que los colores del espectro se encontraban ya en el rayo de luz original (80).

Según J.C. Maxwell, los colores representan energía electromagnética, y cada color corresponde a una longitud de onda. Estas ondas electromagnéticas se miden en nanómetros (nm). El ojo humano solamente percibe las ondas incluidas en el espectro entre 380 y 760nm. Las ondas mayores a 760nm corresponden a los rayos infrarrojos y por debajo de 380 se encuentran los rayos ultravioleta (80).

El color de un cuerpo está determinado por el modo y por el grado de absorción de la luz, así pues un cuerpo aparece oscuro cuando absorbe mucha luz y aparece claro cuando absorbe poca luz. La percepción del color de un objeto por el ojo humano está regulada por la absorción y la reflexión de luz. En el ojo humano hay dos tipos de células sensibles a la luz: los conos y los bastones (81). Los conos son células que contienen pigmentos sensibles a longitudes de ondas del espectro, en un intervalo de 380 y 760nm. Los bastones contienen un pigmento visual, la rodopsina, funcionan en semioscuridad, perciben sensaciones de luminosidad y tienen capacidad de percibir intensidades mínimas de luz. Son sensibles a la luz verde y azul de 505nm. El ojo humano percibe la longitud de onda reflejada de un objeto y es esta la que determina el color (80).

4.2.1. EL COLOR DENTAL

4.2.1.1. Propiedades del color dental

El color natural del diente está usualmente determinado por tres propiedades de color: el Tono, el Croma y el Valor. En 1898, Munsell describió un sistema tridimensional del color, donde cada propiedad del color está representada (82).

TONO: Es la distribución espectral o lo que simplemente denominamos color. La tonalidad está determinada por la longitud de onda de la luz reflejada por el diente. En odontología, el tono está determinado por la guía Vita, esta guía comprende cuatro tonos: “A”, en el que predominan rojos y marrones; “B”, en el que predominan anaranjados y amarillos; “C”, en el que dominan verdes y grises; y “D”, en que dominan rojos y grises.

CROMA: Es la intensidad del color y define el grado de saturación o de pureza.

VALOR: Está definido como el grado de luminosidad del color. El color negro no tiene luminosidad, y el color blanco expresa la máxima luminosidad. En la práctica clínica, el valor expresa la cantidad de gris en el tono y el cromas.

4.2.1.2. Espacio CIELAB

Dado que una especificación numérica de las diferencias entre dos colores es muy útil en la práctica, en la década de los 70's la C.I.E (Comisión Internacional de L'Éclairage) se planteó la construcción de un espacio de color uniforme denominado CIELAB, cuyas coordenadas se indican con las siglas L^* , a^* y b^* ; como una aproximación a un espacio de color uniforme. Éste sistema tomo como referencia el sistema descrito por Munsell (82). El espacio de color CIELAB es una transformación matemática del espacio XYZ, en el cual se fija un blanco de referencia y cuyos valores de tri estímulo son (X_n, Y_n, Z_n) . Los tres ejes del sistema CIELAB se indican con los nombres L^* , a^* y b^* . Representan, respectivamente Luminosidad (*lightness*), tonalidad de rojo a verde (*redness-greenness*) y tonalidad de amarillo a azul (*yellowness-blueness*) (los dos últimos ejes están inspirados en la teoría de los colores oponentes) (83).

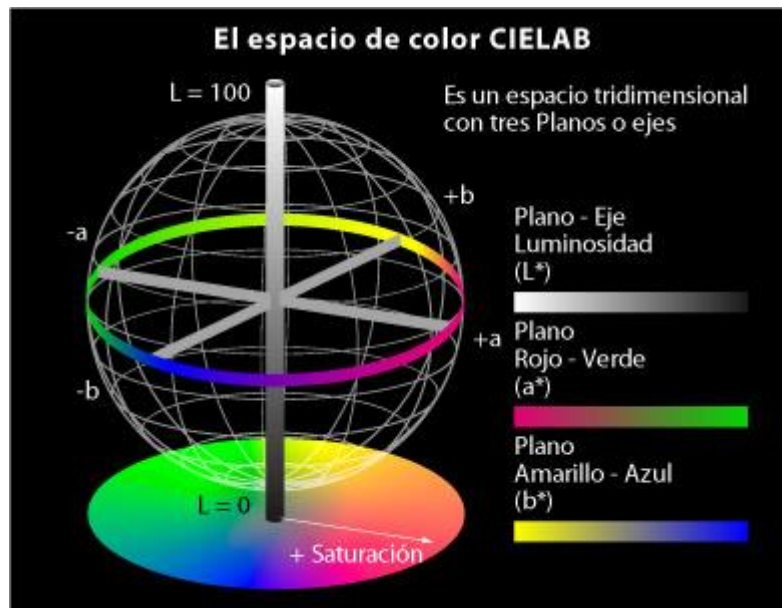


FIGURA 6. El espacio de color CIELAB (84).

El modo LAB se usa sobre todo para trabajar con imágenes digitales o cuando se quiere modificar los valores de color y luminosidad de una imagen por separado. Actualmente se utiliza en la medición del color dental, permitiendo que el dispositivo independiente de la cámara transforme cuantitativamente los datos de la gama de colores de los dientes humanos en valores colorimétricos creados por la comisión internacional de L'Éclairage (CIE) (85).

Dentro de este espacio, puede estar cualquiera de los colores que reconocemos, y por supuesto los colores de los dientes humanos. Cada uno de los colores, queda definido por las coordenadas $L^*a^*b^*$, y por lo tanto, entre dos puntos, o en nuestro caso dos colores, se puede trazar una línea que sería la distancia entre ambos colores, o clínicamente un cambio de color producido tras el tratamiento de aclaramiento. Esta distancia se calcula con la siguiente fórmula $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$ (86).

4.2.1.3. Espectrofotómetro

El espectrofotómetro es un instrumento fácil de utilizar que genera una serie de curvas espectrales de alta exactitud. Nos indica el color de un diente u objeto, en forma de tres valores, L^* , a^* y b^* . Entre las ventajas de éste método, nos permite cuantificar los valores del color numéricamente (85, 87-89). Diversos autores lo han utilizado para realizar estudios sobre la

estabilidad del color dental (90, 91) o para valorar la estabilidad del color de diferentes materiales (92, 93) .



FIGURA 7. Espectrofotómetro SpectroShade™ Micro Booster.

Hasta el momento de la realización de esta tesis doctoral no había ningún estudio de investigación sobre la estabilidad del color del MTA blanco. Algunas de las indicaciones de este material tienen una ubicación coronal, por lo que su color es clave en el resultado estético final. Es por ello que en nuestro primer artículo queríamos demostrar si el color del MTA blanco era estable o por el contrario, se oscurecía con el tiempo.

Debido a la observación del oscurecimiento de dicho material, en el segundo artículo quisimos observar la estabilidad del color de 5 materiales diferentes, basados en silicato de calcio.

La importancia de este cambio de coloración del material es clínica, tras la colocación del material a nivel dental. Es por ello que decidimos realizar nuestro tercer estudio de investigación donde observamos la estabilidad del color de los dientes, restaurados con dos materiales basados en silicato de calcio, el Pro Root® MTA blanco y el Biodentine®.

ARTÍCULO 1

Color stability of white mineral
trioxide aggregate

5. ARTÍCULO 1.

5.1. Descripción del artículo

Título: COLOR STABILITY OF WHITE MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE

Autores: Vallés, Marta; Mercadé, Montse; Durán-Sindreu, Fernando; Bourdelande, Jose Luis; Roig, Miguel.

Revista publicada: Clinical Oral investigations

Factor de impacto de la revista en el 2012: 2.200 (PRIMER CUARTIL)

Fecha de envío: 23 Febrero de 2012

Fecha de aceptación: 9 Julio de 2012

Fecha de publicación: 20 Julio de 2012

Referencia de publicación:

ISSN 1432-6981

Volume 17

Number 4

Clin Oral Invest (2013) 17:1155-1159

DOI 10.1007/s00784-012-0794-1

5.2. Resumen y texto principal

Clin Oral Invest (2013) 17:1155–1159
DOI 10.1007/s00784-012-0794-1

ORIGINAL ARTICLE

Color stability of white mineral trioxide aggregate

Marta Vallés · Montserrat Mercadé · Fernando Duran-Sindreu ·
Jose Luis Bourdelande · Miguel Roig

Received: 23 February 2012 / Accepted: 9 July 2012 / Published online: 20 July 2012
© Springer-Verlag 2012

Abstract

Objective This study aims to evaluate the color stability of white mineral trioxide aggregate (WMTA) after irradiation with three different curing lights and with a fluorescent lamp in an oxygen-free environment.

Material and methods Thirty samples of WMTA were divided into four experimental groups (three curing light and one fluorescent lamp) and one negative control group. The samples in the curing light groups were immersed in glycerine and were irradiated for 20, 60, and 120 s with a curing light. The samples in the fluorescent lamp group were immersed in glycerine and left on a laboratory shelf below a fluorescent lamp, whereas the negative control group was irradiated with a curing light without immersion in glycerine. A spectrophotometer was used to determine the color of each specimen before and after each light exposure and after 5 days. Data were analyzed using analysis of variance and Fisher's least significant difference test.

Results All the groups showed discoloration except for the negative control group. At 20, 60, and 120 s, there were no significant differences between the Optilux and Bluephase groups (which were the darkest). The Demi group was the curing light experimental group that showed the lowest degree of discoloration ($P=0.0001$). No differences were observed between the fluorescent lamp and the negative control groups. After 5 days, the fluorescent lamp group also showed darkening of the sample surface and there were no significant differences between this group and the other three experimental groups ($P>0.05$).

Conclusions WMTA showed dark discoloration after irradiation with a curing light or fluorescent lamp in an oxygen-free environment.

Clinical relevance WMTA may cause tooth discoloration when it is used in a coronal position.

Keywords Color stability · Curing light · Spectrophotometer · White mineral trioxide aggregate

Introduction

The characteristics of mineral trioxide aggregate (MTA) make it a versatile material with several treatment options [1]. In some clinical situations, MTA is used in a coronal position; namely, to treat cervical resorption [2], and for pulp capping [3–5], pulpotomy [6, 7], and revascularization [8, 9], as well as a cervical base before internal bleaching treatment [10]. In these situations, the color of MTA is key to the final esthetic result; hence, white MTA (WMTA) is the MTA of choice [11]. WMTA is manufactured by both Dentsply (ProRoot MTA Tooth-colored Formula; Dentsply, Tulsa, OK, USA) and Angelus (MTA Branco; Angelus Soluções em Odontologia, Londrina, PR, Brazil).

In evaluating the effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored MTA, Watts et al [12] noted that all specimens of WMTA (regardless of mixing agent, pH, or time) were gray when removed from the molds 3 days after placement. In a different in vitro study that evaluated the efficiency of removal of WMTA when used as a root canal filling material [13], dark discoloration was observed in most of the WMTA specimens. In both these studies, the material was discolored at the points where it was deepest. Tsujimoto et al [10] covered samples of WMTA with two bleaching agents that were activated with a light-emitting diode, and observed a change in surface color from white to

M. Vallés · M. Mercadé · F. Duran-Sindreu · M. Roig (✉)
Department of Restorative Dentistry and Endodontics,
Universitat Internacional de Catalunya,
Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Spain
e-mail: mroig@usc.uic.es

J. L. Bourdelande
Department of Chemistry,
Universitat Autònoma de Barcelona,
Bellaterra, Barcelona, Spain

 Springer

gray in both groups. In addition, the discoloration occurred immediately after the bleaching agent was applied to the surface of the samples. In two case reports, Jacobovitz and Lima [14] and Belobrov and Parashos [15] described tooth discoloration after placement of WMTA. WMTA was developed for application in esthetically sensitive areas; thus, if its color changes to gray, it may cause tooth discoloration.

Despite the fact that unexpected findings have been reported in relation to the color of WMTA [10, 12–15], to date, no studies have been performed to evaluate the color stability of WMTA.

Given that Tsujimoto et al [10] observed discoloration of WMTA after treatment with light-activated bleaching agents, and that in clinical situations, a light-cured composite restoration is usually placed over WMTA, we considered it necessary to study the influence of curing light on the color stability of WMTA.

The aim of the present study was to evaluate the color stability of WMTA after irradiation with three different curing lights and with a fluorescent lamp in an oxygen-free environment.

Materials and methods

Sample preparation

Thirty samples of WMTA (Dentsply; Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA) were prepared using silicon tubes (2 mm long × 2 mm diameter). Fifteen samples were prepared from WMTA batch number 10003598 and 15 from batch number 9001766. The WMTA was mixed in accordance with the manufacturer's instructions. The blocks of WMTA were stored in an incubator at 37 °C at 100 % humidity for 48 h to encourage setting. After removal of the silicon molds, the specimens were divided into four experimental groups ($n=6$) and a control group ($n=6$). Table 1 shows the specifications for the lights used in the experimental groups. The light intensity of the curing units was measured using a radiometer (Bluephase® Meter; Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

Experimental groups

Curing light groups

The samples from all the curing light experimental groups (group 1, Optilux 501; group 2, Bluephase 20i; group 3, Demi) were immersed initially in pure glycerine for 15 min, and then irradiated with a curing light for 20, 60, and 120 s.

Fluorescent lamp group

The samples in this experimental group were immersed in pure glycerine for 15 min but were not irradiated with a curing light. They were left on a laboratory shelf at 22 °C and 30 % humidity and at 1 m below an 18 W lamp (Philips Master TL-D Super 80; Amsterdam, Netherlands).

Negative control group

The samples in this control group were not immersed in pure glycerine. Each sample was irradiated with one of the curing lights for 20, 60, and 120 s. The samples from all the groups were kept in the laboratory for 5 days. All procedures were performed by a single operator.

Spectrophotometric measurements

Color values were recorded using a reflectance spectrophotometer (SpectroShade, Handy Dental Type 713000; MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy) by a single operator. The measurements were performed by positioning the spectrophotometer at 2 mm from the samples under constant laboratory light conditions. The instrument was calibrated before the measurements for each group, in accordance with the manufacturer's recommendations. Color was measured at five time points: at 0, 20, 60, and 120 s and after 5 days. Using the SpectroShade software, differences in color (ΔE) and color coordinates (ΔL^* , Δa^* , and Δb^*) were calculated, where ΔL is the change in luminosity [from 0 (black) to 100 (white)], Δa^* is the change in the red–green parameter, and Δb^* is the change in the yellow–blue parameter. ΔE was determined as follows [16]:

$$\Delta E = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2}$$

Subsequently, 4 ΔE time intervals were calculated for each group.

Statistical analysis

Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) L^* a^* b^* and ΔE values were analyzed statistically using analysis of variance and Fisher's least significant difference test. The level of significance was set at $P \leq 0.05$.

Results

No significant differences were observed between WMTA batches ($P=0.09$). Figure 1 shows a spectrophotometric image of a sample from each group at different time

Table 1 Light specifications

| Group | Light source | Light type | Manufacturer | Wavelength (nm) | Light intensity |
|-------|----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | Optilux 501 | Halogen | Kerr, Danbury, CT, USA | 400–505 | 1,086.67 mW/cm ² |
| 2 | Bluephase 20i | Poliwave (halogen+LED) | Ivoclar- Vivadent | 380–515 | 1,496.67 mW/cm ² |
| 3 | Demi | LED | Kerr, Danbury, CT, USA | 450–470 | 1,340 mW/cm ² |
| 4 | Master TL-D Super 80 | Fluorescent lamp | Philips, Amsterdam, Netherlands | 320–800 | 18 W ^a |

^aLight intensity product information

intervals. The negative control group showed no discoloration over time.

MTA discoloration according to light

Table 2 shows the results of the ΔE evaluation for the different groups at different time points. At 20, 60, and 120 s, there were no significant differences in ΔE values between the Optilux and Bluephase groups, which were the darkest. The Demi group showed some discoloration, but it was significantly less than that of the Optilux and Bluephase groups ($P=0.0001$). No significant differences were observed between the fluorescent lamp group and the negative control group for the first three time points; these two groups corresponded to the lightest samples. At the 5-day time point, the negative control group had the lowest ΔE values, and differences were observed between the negative control group and the experimental groups. However, at this time point, no significant differences were observed among the experimental groups ($P>0.05$).

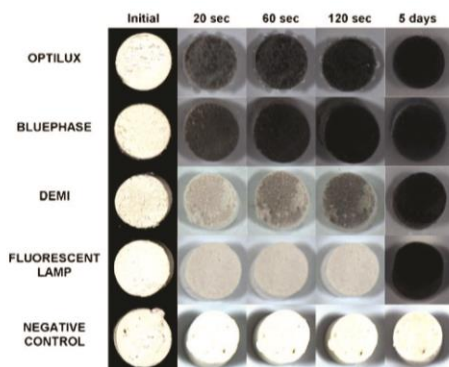


Fig. 1 Spectrophotometric images of one sample from each group taken at different time points

MTA discoloration according to exposure time

The 3 experimental groups that were exposed to curing light showed discoloration of the WMTA surface, which increased with exposure time ($P=0.0001$). The experimental group that was exposed to fluorescent light showed darkening of the sample surface at 5 days but not at the other time points. The color of the samples in the negative control group remained stable over time.

Figure 2 shows the mean L values for the different groups. At 5 days, all the groups had a similar degree of darkening, except the negative control group, which remained stable throughout.

Discussion

Color change can be assessed both visually and with specific instruments. The spectrophotometric and the CIE $L^*a^*b^*$ system were chosen to evaluate color variation (ΔE) because they are well suited to the detection of small changes in color and have advantages such as repeatability, sensitivity, and objectivity [17].

Watts et al [12] reported that, under their conditions, all specimens of WMTA were gray when removed from the molds. The surfaces of the samples that were exposed directly to phosphate-buffered saline (PBS) remained light in color. Once the samples had been removed from the molds and transferred to PBS, the dark discoloration faded over the course of the 28-day trial, but it remained visible in the internal portion of the specimens upon fracture. Similarly, Boutsioukis et al [13] observed dark discoloration of WMTA in most specimens that had been sealed previously with intermediate restorative material. With these findings in mind, we hypothesized that the presence or absence of oxygen plays an important role in the discoloration of WMTA. To corroborate this hypothesis, we conducted a pilot study in which WMTA samples were sealed in test tubes; half were saturated with pure oxygen and half with pure nitrogen. The surface color of the nitrogen-saturated samples changed from white to gray after exposure to curing light irradiation. However, the color of the oxygen-saturated

Table 2 ΔE values (mean \pm SD) for the different groups at the different time points

| Groups | 20 s | | 60 s | | 120 s | | 5 days | |
|------------------|----------|-------|----------|------|-----------|------|----------|------|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Optilux 501 | 35.27 aA | 11.18 | 47.36 aB | 8.8 | 55.19 aBC | 6.56 | 62.22 aC | 4.07 |
| Bluephase 20i | 38.80 aA | 9.71 | 49.83 aB | 8.28 | 57.46 aBC | 7.06 | 61.30 aC | 4.18 |
| DEMI | 20.88 bA | 8.54 | 31.04 bB | 9.27 | 40.82 bC | 9.1 | 60.63 aD | 3.68 |
| Fluorescent lamp | 8.85 cA | 0.98 | 9.38 cA | 1.42 | 9.11 cA | 1.02 | 61.65 aB | 3.03 |
| Negative control | 3.73 cA | 1.59 | 3.12 cA | 1.77 | 3.72 cA | 1.68 | 3.34 bA | 1.69 |

Different lower case letters indicate statistically significant differences between the groups ($P \leq 0.05$). Different upper case letters indicate statistically significant differences between time intervals ($P \leq 0.05$)

samples remained stable. The main drawback to this pilot study was that it was only possible to ensure optimum experimental conditions for a few minutes. In the present study, we used glycerine gel to reduce exposure to oxygen during irradiation with the curing light, as in restorative dentistry [18]. The samples that were coated with glycerine gel had low oxygen diffusion and might behave like those under a nitrogen atmosphere.

According to the information supplied in the material safety datasheet, ProRoot MTA consists of 75 % Portland cement, 20 % bismuth oxide (Bi_2O_3), and 5 % calcium sulfate dehydrate. Bi_2O_3 is added to WMTA as a radiopacifier [19]. It has been reported that Bi_2O_3 undergoes a thermal dissociation under high temperature, which yields metallic bismuth and oxygen [20]. The reduced black crystals of bismuth atoms are responsible for the darkening of the sample and the presence of these crystals has been identified by X-ray diffraction [21]. Increasing the partial pressure of oxygen at high temperature avoids the formation of metallic bismuth and the sample remains transparent. Our results suggest parallel behavior under irradiation. It is known that Bi_2O_3 can be excited by visible and UV light [22]. The irradiated Bi_2O_3 behaves in the same way as heated Bi_2O_3 . It turns dark when heated or irradiated under a nitrogen atmosphere (or coated with glycerin), whereas it remains stable when heated or irradiated under an oxygen atmosphere.

The role of oxygen could also be explained in another way. It is known that some compounds that absorb light (as

chromophores) reach an excited state that can interact with molecular oxygen [23]. This interaction may progress in different ways; one of which is the transfer of energy from the excited chromophore to oxygen. Once the energy transfer ends, the chromophore recovers its starting properties whereas the oxygen dissipates the excess energy to the surroundings as heat. Therefore, oxygen might act as a quencher that quickly deactivates the excited state of WMTA, thus preventing a light-induced decomposition of WMTA that eventually could produce dark or gray byproducts. In contrast, irradiation of oxygen-free samples (coated with glycerine) might create an excited WMTA state that persists longer, due to the absence of the quenching effect of oxygen. In this excited state, WMTA might have enough time to decompose and yield dark byproducts. In this way, the presence of oxygen would prevent photochemically induced darkening, whereas the absence of oxygen would promote it. The results of the present study showed that the color of WMTA remained stable over time in an oxygen environment (negative control group).

We speculate that the formation of metallic bismuth under light irradiation could be the main reason for the darkening of the WMTA samples, but further investigations are required to confirm this.

In addition to the effects of the presence or absence of oxygen, we observed that light is key to starting or accelerating the darkening process for WMTA. We showed that the samples that were irradiated with the Bluephase 20i or Optilux 501 curing light discolored significantly faster than those irradiated with the Demi light. The Optilux 501 halogen and the Bluephase 20i poliwave lights have broad emission bands (400–505 and 380–515 nm, respectively). These bands overlap partially with the UV-visible diffuse reflectance spectrum for nanocrystallite Bi_2O_3 [22], which spans from wavelengths shorter than 300 to 500 nm, with a maximum at 400 nm. Thus, both the Optilux 501 and Bluephase 20i curing lights can excite Bi_2O_3 , initiating the photochemical process. In contrast, although the Demi LED light has a higher intensity, its light spectrum is narrower (450–470 nm), and the overlap with the reflectance spectrum of Bi_2O_3 is small, which results in a less efficient excitation and a slower darkening of WMTA. The

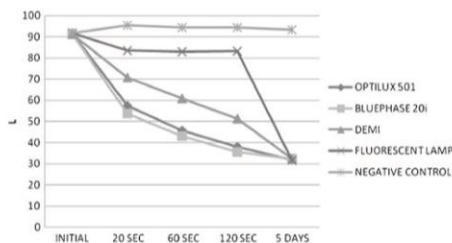


Fig. 2 Mean L values for the different groups at the different time points (black 0 and white 100)

discoloration in the fluorescent lamp experimental group was significantly slower than that in the other groups (except the negative control group). However, at 5 days, there were no significant differences in terms of the surface darkness of the samples among all the glycerine-coated groups. Given that the fluorescent lamp has a broad bandwidth (with three main narrow peaks at 436, 556, and 628 nm), in theory, it should have darkened the samples more quickly. Perhaps the distance of 1 m between the WMTA samples and the fluorescent lamp prevented them from receiving a high intensity of light. Hence, the intensity and wavelength of light seem to play a crucial part in the speed at which WMTA darkens. More research is needed to evaluate the color stability of WMTA under clinical conditions.

Conclusion

WMTA showed dark discoloration after irradiation with a curing light (Demi, Optilux 501, or Bluephase 20i) or with a fluorescent lamp in an oxygen-free environment.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Parirokh M, Torabinejad M (2010) Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part III: clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 36:400–413
- Baratto-Filho F, Limongi O, Araujo Cde J, Neto MD, Maia SM, Santana D (2005) Treatment of invasive cervical resorption with MTA: case report. *Aust Endod J* 31:76–80
- Iwamoto CE, Adachi E, Pameijer CH, Barnes D, Romberg EE, Jefferies S (2006) Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. *Am J Dent* 19:85–90
- Hilton TJ (2009) Keys to clinical success with pulp capping: a review of the literature. *Oper Dent* 34:615–625
- Parirokh M, Asgary S, Eghbal MJ, Stowe S, Eslami B, Eskandarizade A et al (2005) A comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents in dog's teeth. *Dent Traumatol* 21:150–154
- Naik S, Hegde AH (2005) Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in primary molars: an in vivo study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 23:13–16
- Maroto M, Barberia E, Planells P, Garcia Godoy F (2005) Dentin bridge formation after mineral trioxide aggregate (MTA) pulpotomies in primary teeth. *Am J Dent* 18:151–154
- Masuda YM, Wang X, Hossain M, Unno A, Jayawardena JA, Saito K et al (2005) Evaluation of biocompatibility of mineral trioxide aggregate with an improved rabbit ear chamber. *J Oral Rehab* 32:145–150
- Chen MY, Chen KL, Chen CA, Tayebaty F, Rosenberg PA, Lin LM (2012) Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *Int Endod J* 45:294–305
- Tsujimoto M, Ookubo A, Wada Y, Matsunaga T, Tsujimoto Y, Hayashi Y (2011) Surface changes of mineral trioxide aggregate after the application of bleaching agents: electron microscopy and an energy-dispersive X-ray microanalysis. *J Endod* 37:231–234
- Bortoluzzi EA, Araujo GS, Guerreiro Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M (2007) Marginal gingiva discoloration by gray MTA: a case report. *J Endod* 33:325–327
- Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE (2007) Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 33:970–973
- Boutsioukis C, Noula G, Lambrianidis T (2008) Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material. *J Endod* 34:1239–1242
- Jacobovitz M, de Lima RK (2008) Treatment of inflammatory internal root resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. *Int Endod J* 41:905–912
- Belobrov I, Parashos P (2011) Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 37:1017–1020
- Commission Internationale de l'Eclairage (1978) Recommendations on uniform colour spaces, colour difference equations and psychometric colour terms. Paris, Bureau Central de la CIE. Supplement: No. 2 to publication No. 15
- Khokhar ZA, Razzoog ME, Yaman P (1991) Color stability of restorative resins. *Quintessence Int* 22:733–737
- Bergmann P, Noack MJ, Roulet JF (1991) Marginal adaptation with glass-ceramic inlays adhesively luted with glycerine gel. *Quintessence Int* 22:739–744
- Torabinejad M, White DJ (1995) Tooth filling material and use. US patent number 5,769,638
- Sanz O, Haro-Poniatowski E, Gonzalo J, Navarro JF (2006) Influence of the melting conditions of heavy metal oxide glasses containing bismuth oxide on their optical absorption. *J Non-Cryst Solids* 352:761–8
- Zhang Y, Yang Y, Zheng J, Hua W, Chen G (2008) Effects of oxidizing additives on optical properties of Bi₂O₃-B₂O₃-SiO₂ glasses. *J Am Ceram Soc* 91:3410–2
- Zhang L, Wang W, Yang J, Chen Z, Zhang W, Zhou L et al (2006) Sonochemical synthesis of nanocrystallite Bi₂O₃ as a visible-light-driven photocatalyst. *Appl Catal A: Gen* 308:105–10.23
- Turro N (1991) Modern molecular photochemistry. Benjamin Cummings, California

ARTÍCULO 2

Influence of light and oxygen
on the color stability of five
Calcium Silicate-based
materials

6. ARTÍCULO 2.

6.1. Descripción del artículo

Título: INFLUENCE OF LIGHT AND OXYGEN ON THE COLOR STABILITY OF FIVE CALCIUM SILICATE-BASED MATERIALS

Autores: Vallés, Marta; Mercadé, Montse; Durán-Sindreu, Fernando; Bourdelande, Jose Luis; Roig, Miguel.

Revista publicada: Journal of Endodontics

Factor de impacto de la revista en el 2012: 2.929 (PRIMER CUARTIL)

Fecha de envío: 23 Febrero de 2012

Fecha de aceptación: 30 Diciembre de 2012

Fecha de publicación: 10 Febrero de 2013

Referencia de publicación:

Volume 39

Number 4

J Endod. 2013 Apr;39(4):525-8

DOI

10.1016/j.joen.2012.12.021

6.2. Resumen y texto principal

Basic Research—Technology

Influence of Light and Oxygen on the Color Stability of Five Calcium Silicate-based Materials

Marta Vallés, DDS, MSc,* Montse Mercadé, DDS, PhD,* Fernando Duran-Sindreu, DDS, PhD,* Jose L. Bourdelande, BSc, PhD,[†] and Miguel Roig, DDS, PhD*

Abstract

Introduction: Difficult handling, long setting time, and potential discoloration are important drawbacks of white mineral trioxide aggregate (WMTA). The development of Biodentine, a recently developed calcium silicate-based material (CSM), has overcome some of these shortcomings; however, there are no available data on its color stability. A previous study showed that WMTA discolors under light irradiation in an oxygen-free environment. The present study evaluated the influence of light irradiation and oxygen on the color stability of 5 CSMs. **Methods:** Fifteen samples of 5 CSMs (ProRoot WMTA, Angelus WMTA, White Portland Cement [PC], PC with bismuth oxide, and Biodentine) were divided into 5 groups. Each group was exposed to different oxygen and light conditions. A spectrophotometer was used to determine the color of each specimen at 0, 120 seconds, and 5 days. Data were analyzed by using analysis of variance and Tukey honestly significant difference test. **Results:** The materials PC with bismuth oxide, Angelus WMTA, and ProRoot WMTA showed dark discoloration after light irradiation in an oxygen-free environment, which was statistically significantly different from Biodentine and PC. In groups that were exposed to no light irradiation or to an oxygen atmosphere, all materials showed color stability over time, and no significant differences were observed among them. PC and Biodentine maintained color stability in all conditions over time and showed no significant differences. **Conclusions:** The combination of light and anaerobic conditions (similar to those in clinical situations) results in differences in color of the tested CSMs during a period of 5 days, of which Biodentine and PC demonstrated color stability. (*J Endod* 2013;39:525–528)

Key Words

Biodentine, bismuth oxide, color stability, Portland cement, white mineral trioxide aggregate

Calcium silicate-based materials (CSMs) such as mineral trioxide aggregate (MTA) have antibacterial properties and excellent biocompatibility, sealing ability, and regenerative capabilities (1, 2). These significant inherent advantages make them versatile materials that can be used in several treatment options.

MTA was developed by modifying Portland cement (PC) by adding bismuth oxide as a radiopacifier (3). It is well documented that MTA and PC have similar properties such as compressive strength, dimensional change, setting time, and pH; the only significant difference between the two is that PC has lower radiopacity (4–6).

Several new CSMs have been developed (7–10), with a view to alleviating some of the drawbacks of MTA such as its difficult handling (11), long setting time (12, 13), and potential discoloration (1). White MTA (WMTA) was developed for application in esthetically sensitive areas, although several studies have described tooth discoloration after the placement of WMTA (14–24).

Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fossés, France), a newly developed CSM, is a dentin restorative material that, according to the manufacturer, has endodontic indications similar to MTA. Biodentine powder is composed mainly of tricalcium silicate, calcium carbonate, and zirconium oxide as the radiopacifier, whereas Biodentine liquid contains calcium chloride as the setting accelerator and water-reducing agent (25). Biodentine liquid shows the formation of apatite after immersion in phosphate solution (26), which is indicative of its bioactivity. Biodentine received good ratings for material handling and performance after restoration placement (27) and has a short setting time of 12 minutes (26). However, there are no available data on the color stability of Biodentine.

Vallés et al (28) have observed that irradiation with a curing light or a fluorescent lamp in an oxygen-free environment causes dark discoloration in WMTA. Consequently, in the present study we evaluated the influence of light irradiation and oxygen on the color stability of 5 CSMs.

Materials and Methods

Sample Preparation

A mixture of White PC and bismuth oxide (PC + BO) in a ratio of 4:1 was prepared on a glass slab until a homogeneous mixture was obtained. Fifteen samples of each material to be tested (Table 1) were mixed in accordance with the manufacturer's instructions and then placed in 2 mm × 2 mm silicone tubes. PC and PC + BO were mixed at a water/powder proportion of 0.33. The resultant blocks were stored in an incubator at 37°C at 100% humidity for 48 hours to encourage setting. After the removal of the silicone molds, 3 specimens of each material were assigned to 5 different groups. In group 1 (n = 15), the samples were immersed in pure glycerin for 15 minutes to generate an oxygen-free environment (28) and were irradiated with a Bluephase 20i

From the *Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, Sant Cugat del Vallès, Barcelona; and [†]Departament de Química, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona, Spain.

Address requests for reprints to Dr Miguel Roig, Universitat Internacional de Catalunya, Dentistry Faculty, C/Josep Trueta s/n, 08195 Sant Cugat del Vallès, Spain.

E-mail address: mroig@uic.es

0099-2399/\$ - see front matter

Copyright © 2013 American Association of Endodontists.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.021>

Basic Research—Technology

TABLE 1. Materials Used in the Study

| Material | Manufacturer |
|------------------------------------|--|
| White ProRoot MTA | Dentsply, Tulsa, OK |
| Angelus Branco | Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, PR, Brazil |
| White PC | Molins Ciments, Barcelona, Spain |
| Mixture of PC +bismuth oxide (4:1) | Molins Ciments, Barcelona, Spain |
| Biodentine | Septodont, St. Maure des Fossés, France |

(Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) cure light for 120 seconds. In group 2 (n = 15), the samples were immersed in pure glycerin for 15 minutes. In group 3 (n = 15), the samples were irradiated with a Bluephase 20i cure light for 120 seconds without immersing them first in pure glycerin. In group 4 (n = 15), the samples were immersed in pure glycerin and wrapped in aluminum foil for storage in the dark. In group 5 (n = 15), the samples were wrapped in aluminum foil without being immersed first in pure glycerin.

After their respective treatments, the samples in all the groups were left on a laboratory shelf at 22°C, 30% humidity, and at 1 m below an 18-W fluorescent lamp (Philips Master TL-D Super 80, Amsterdam, Netherlands).

Spectrophotometric Measurements

Color values were recorded by a single operator who used a reflectance spectrophotometer (SpectroShade, Handy Dental Type 713000; MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy). The measurements were performed by positioning the spectrophotometer at 2 mm from the samples under constant laboratory light. The instrument was calibrated before the measurements for each group were taken in accordance with the manufacturer's recommendations.

In groups 1–3, a spectrophotometric color measurement of each sample was taken at time 0, 120 seconds, and 5 days. In groups 4 and 5, a spectrophotometric color measurement of each sample was taken at time 0 and at 5 days, when the aluminum foil was removed. No color measurement was taken at 120 seconds because this would involve the removal of the aluminum foil, which would expose the samples to light and therefore invalidate the reading at 5 days.

By using the SpectroShade software, differences in color (ΔE) and color coordinates (ΔL^* , Δa^* , and Δb^*) were calculated, where ΔL^* is the change in luminosity (from 0 [black] to 100 [white]), Δa^* is the change in red–green parameter, and Δb^* is the change in yellow–blue parameter. ΔE was determined as follows (29):

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Subsequently, two ΔE time intervals were calculated for groups 1–3 and one for groups 4 and 5.

Statistical Analysis

To assess the effect of oxygen and light on the 5 materials under study, the ΔE values were analyzed statistically by using an analysis of variance and Tukey honestly significant difference test, after confirming normal distribution with the χ^2 goodness-of-fit test ($P > .05$) and the homogeneity of variance with the Bartlett test ($P > .05$). The level of significance was set at $P \leq .05$.

Results

Figure 1 shows a spectrophotometric image of a sample of each material in the 5 different groups at different time points.

CSM Discoloration According to Oxygen Environment

In groups 3 and 5 in which the samples were in an atmosphere that contained oxygen, all the materials showed color stability over time, and there were no significant differences among them ($P = .2842$ and $P = .9577$, respectively).

CSM Discoloration According to Light

In groups 4 and 5 in which the samples were not irradiated with light, all the materials showed color stability over time, and there were no significant differences among them ($P = .8282$ and $P = .9577$, respectively). In groups 1 and 2, which were exposed to Bluephase 20i and fluorescent lamp irradiation, respectively, in an oxygen-free environment, the materials PC + BO, Angelus WMTA, and ProRoot WMTA presented dark discoloration and showed statistically significant differences from Biodentine and PC, which showed less discoloration.

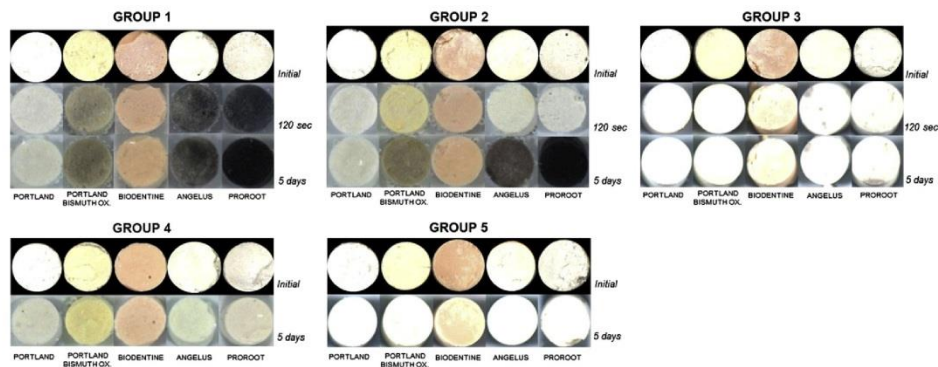


Figure 1. Spectrophotometric images of 1 sample of each material in the 5 groups at different time points.

Basic Research—Technology

TABLE 2. ΔE Values (mean ± SD) for Groups 1–3 at 120 Seconds

| Material | Group 1 | | Group 2 | | Group 3 | |
|--------------|----------------------|------|----------------------|------|---------------------|------|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| PC | 7.85 ^{abA} | 1.52 | 10.78 ^{abA} | 2.17 | 5.27 ^{abA} | 2.80 |
| PC + BO | 19.55 ^{baA} | 2.13 | 9.39 ^{abB} | 0.63 | 4.60 ^{abC} | 1.13 |
| Biodentine | 9.07 ^{abA} | 2.99 | 10.07 ^{abA} | 1.75 | 5.57 ^{abA} | 0.81 |
| Angelus WMTA | 35.88 ^{ca} | 3.39 | 8.20 ^{abB} | 2.50 | 3.78 ^{abB} | 0.74 |
| ProRoot WMTA | 49.67 ^{da} | 2.40 | 6.98 ^{abB} | 0.77 | 2.78 ^{abC} | 1.01 |

SD, standard deviation. Different lower case superscript letters indicate statistically significant differences between materials ($P \leq .05$). Different upper case superscript letters indicate statistically significant differences between groups ($P \leq .05$).

CSM Discoloration According to Exposure Time

Table 2 shows the results of the CSM ΔE evaluation for the 5 groups at 120 seconds, and Table 3 shows the equivalent results at 5 days. At 120 seconds, PC + BO, Angelus WMTA, and ProRoot WMTA showed dark discoloration in group 1 and significantly less discoloration in group 2 ($P = .0014$, $P = .0003$, and $P = .0001$, respectively). However, at the 5-day time point, there were no differences between these 2 groups ($P = .9937$). The materials PC + BO, ProRoot, and Angelus showed no differences between groups 1 and 2 or among groups 3, 4, and 5; however, groups 1 and 2 showed significantly greater discoloration than groups 3–5 (PC + BO, $P = .0001$; WMTA, $P = .0001$; and Angelus, $P = .0001$). PC and Biodentine remained stable without discoloration in all the groups over time and showed no significant differences among the groups.

Discussion

In our study, CSMs showed dark discoloration if the following conditions were present simultaneously: an oxygen-free environment, irradiation with a cure light or fluorescent lamp, and the presence of bismuth oxide.

Some manufacturers, such as Medcem GmbH (Weinfelden, Switzerland), claim that better color stability is achieved with PC than with MTA. In 2012, Lenherr et al (24) evaluated and compared the discoloration that developed in endodontic materials by using a bovine tooth model. In that study, PC showed the best color stability among the different PC-based materials tested (grey MTA, WMTA, and PC). In agreement with the results by Lenherr et al, in the present study, the color of PC remained stable over time under different *in vitro* conditions. However, when bismuth oxide was added to the same PC, the samples developed dark discoloration. In a previous study of the color stability of ProRoot WMTA (28), we speculated that the formation of metallic bismuth under irradiation could be the main reason for the darkening of the WMTA samples.

It has been reported that Bi₂O₃ undergoes thermal dissociation at high temperature, which yields metallic bismuth and oxygen (30). The reduced dark crystals of bismuth atoms are responsible for the darkening of the sample, and the presence of these crystals has been identified by x-ray diffraction (31). Increasing the partial pressure of oxygen at high temperature avoids the formation of metallic bismuth, and the sample remains transparent, which would explain why, in the present study, the cements that were exposed to an oxygen environment did not become discolored. It is known that Bi₂O₃ can be excited by visible and UV light; the UV-visible diffuse reflectance spectrum for nanocrystallite Bi₂O₃ spans wavelengths of 300–500 nm, with a maximum at 400 nm (32). The irradiated Bi₂O₃ behaves in the same way as heated Bi₂O₃; it darkens when irradiated under an oxygen-free atmosphere, whereas it remains white or transparent when irradiated under an oxygen atmosphere. Our results suggest behavior that is parallel to that of Bi₂O₃. Accordingly, we conjectured that the bismuth oxide present was responsible for the discoloration of PC + BO, Angelus WMTA, and ProRoot WMTA. These materials only showed dark discoloration in groups 1 and 2, so the discoloration required both an oxygen-free environment and irradiation with light. However, when they were exposed to irradiation with light in an atmosphere that contained oxygen or an oxygen-free environment without light, PC + BO, Angelus WMTA, and ProRoot WMTA remained stable in color.

In the present study, ProRoot showed the darkest discoloration, followed by Angelus and PC + BO. The MTA patent (3) reports the inclusion of 20% bismuth oxide in MTA, which has been verified for ProRoot MTA (33, 34). Camilleri et al (35) reported the inclusion of 10.5% bismuth oxide in MTA Angelus. This could explain why ProRoot WMTA showed significantly darker discoloration than did Angelus WMTA. However, PC + BO contained 20% bismuth oxide (this mixture was made by mixing and crushing the bismuth oxide with the PC on a glass slab) and showed significantly less discoloration than the 2 WMTA formulations. This might have been due to the process by which the manufacturers added bismuth oxide to MTA.

Our 5-day *in vitro* results suggest that PC + BO, Angelus WMTA, and ProRoot WMTA discolored in a combination of light and anaerobic conditions (similar to those found in the clinical situation), whereas PC and Biodentine demonstrated color stability. One advantage of PC is its low cost, but it is not approved for clinical use by the Food and Drug Administration. Because of its advantages of short setting time, mechanical properties, ease of handling, and potential color stability, Biodentine could be an interesting alternative CSM for use in esthetically sensitive areas. Although more work is necessary to derive the clinical implications of these findings, clinicians may wish to consider this information when choosing CSMs for use under light-cured restorative materials.

TABLE 3. ΔE Values (mean ± SD) for the 5 Groups at 5 Days

| Material | Group 1 | | Group 2 | | Group 3 | | Group 4 | | Group 5 | |
|--------------|----------------------|------|----------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| PC | 10.34 ^{abA} | 0.80 | 10.67 ^{abA} | 2.37 | 6.54 ^{abA} | 3.00 | 8.48 ^{abA} | 1.61 | 6.77 ^{abA} | 0.96 |
| PC + BO | 24.69 ^{baA} | 0.65 | 24.75 ^{baA} | 2.75 | 5.72 ^{abB} | 1.07 | 9.44 ^{abB} | 0.68 | 6.54 ^{abB} | 0.58 |
| Biodentine | 10.57 ^{abA} | 4.52 | 12.51 ^{abA} | 2.49 | 6.47 ^{abA} | 1.56 | 8.32 ^{abA} | 5.92 | 7.12 ^{abA} | 0.77 |
| Angelus WMTA | 41.68 ^{ca} | 1.17 | 38.64 ^{ca} | 2.10 | 4.32 ^{abB} | 1.05 | 7.29 ^{abB} | 0.17 | 6.86 ^{abB} | 0.49 |
| ProRoot WMTA | 62.51 ^{da} | 0.60 | 63.53 ^{da} | 2.15 | 3.73 ^{abB} | 1.74 | 7.01 ^{abB} | 1.17 | 6.49 ^{abB} | 2.07 |

SD, standard deviation. Different lower case superscript letters indicate statistically significant differences between materials ($P \leq .05$). Different upper case superscript letters indicate statistically significant differences between groups ($P \leq .05$).

Basic Research—Technology

Acknowledgments

The authors deny any conflicts of interest related to this study.

References

1. Torabinejad M, Parikh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod* 2010;36:190–202.
2. Camilleri J. Evaluation of the effect of intrinsic material properties and ambient conditions on the dimensional stability of white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 2011;37:239–45.
3. Torabinejad M, White DJ. Tooth filling material and use. US Patent number 5,769,638. May 1995.
4. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. *J Endod* 2006;32:193–7.
5. Bidar M, Moradi S, Jafarzadeh H, Bidar S. Comparative SEM study of the marginal adaptation of white and grey MTA and Portland cement. *Aust Endod J* 2007;33:2–6.
6. Storm B, Eichmiller FC, Tordik PA, Goodell GG. Setting expansion of gray and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 2008;34:80–2.
7. Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, et al. The properties of a new endodontic material. *J Endod* 2008;34:990–3.
8. Camilleri J. Modification of mineral trioxide aggregate: physical and mechanical properties. *Int Endod J* 2008;41:843–9.
9. Gandolfi MG, Pagani S, Perut F, et al. Innovative silicate-based cements for endodontics: a study of osteoblast-like cell response. *J Biomed Mater Res A* 2008;87:477–86.
10. Gomes-Filho JE, Rodrigues G, Watanabe S, et al. Evaluation of the tissue reaction to fast endodontic cement (CER) and Angelus MTA. *J Endod* 2009;35:1377–80.
11. Johnson BR. Considerations in the selection of a root-end filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999;87:398–404.
12. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995;21:349–53.
13. Dammaschke T, Gerth HU, Zuchner H, Schafer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dent Mater* 2005;21:731–8.
14. Naik S, Hegde AH. Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in primary molars: an in vivo study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2005;23:13–6.
15. Maroto M, Barberia E, Planells P, Garcia Godoy F. Dentin bridge formation after mineral trioxide aggregate (MTA) pulpotomies in primary teeth. *Am J Dent* 2005;18:151–4.
16. Percinoto C, de Castro AM, Pinto LM. Clinical and radiographic evaluation of pulpotomies employing calcium hydroxide and trioxide mineral aggregate. *Gen Dent* 2006;54:258–61.
17. Jacobovitz M, de Lima RK. Treatment of inflammatory internal root resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. *Int Endod J* 2008;41:905–12.
18. Belobrov I, Parashos P. Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2011;37:1017–20.
19. Watts JD, Holt DM, Besson TJ, et al. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2007;33:970–3.
20. Boutsoukis C, Noula G, Lambrianidis T. Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material. *J Endod* 2008;34:1239–42.
21. Tsujimoto M, Ookubo A, Wada Y, et al. Surface changes of mineral trioxide aggregate after the application of bleaching agents: electron microscopy and an energy-dispersive X-ray microanalysis. *J Endod* 2011;37:231–4.
22. Akbari M, Rouhani A, Samiee S, Jafarzadeh H. Effect of dentin bonding agent on the prevention of tooth discoloration produced by mineral trioxide aggregate. *Int J Dent* 2012;2012:563203. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/563203>. Epub 2011 Nov 3.
23. Ioannidis K, Mistakidis I, Beltes P, Karagiannis V. Spectrophotometric analysis of coronal discoloration induced by grey and white MTA. *Int Endod J* 2013;46:137–44.
24. Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, et al. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. *Int Endod J* 2012;45:942–9.
25. Laurent P, Camps J, De Meo M, et al. Induction of specific cell responses to a Ca(3)SiO(5)-based posterior restorative material. *Dent Mater* 2008;24:1486–94.
26. Pradelle-Plasse N, Tran X. Physico-chemical properties of Biodentine. In: Goldberg M, ed. *Biocompatibility or Cytotoxic Effects of Dental Composites*. 1st ed. Oxford: Coxmoor Publishing Co; 2009:222.
27. Koubi G, Colon P, Franquin JC, et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth: a prospective study. *Clin Oral Invest* 2013;17:243–9.
28. Vallés M, Mercadé M, Duran-Sindreu F, et al. Color stability of white mineral trioxide aggregate. *Clin Oral Invest* 2012 Jul 20. [Epub ahead of print].
29. Commission Internationale de l'Éclairage. *Recommendations on Uniform Colour Spaces, Colour Difference Equations and Psychometric Colour Terms*. Paris: Bureau Central de la CIE; 1978.
30. Sanz O, Haro-Poniatowski E, Gonzalo J, Navarro JF. Influence of the melting conditions of heavy metal oxide glasses containing bismuth oxide on their optical absorption. *Journal of Non-crystalline Solids* 2006;352:761–8.
31. Zhang Y, Yang Y, Zheng J, et al. Effects of oxidizing additives on optical properties of Bi2O3-B2O3-SiO2 glasses. *J Am Ceram Soc* 2008;91:3410–2.
32. Zhang L, Wang W, Yang J, et al. Sonochemical synthesis of nanocrystalline Bi2O3 as a visible-light-driven photocatalyst. *Appl Catal A Gen* 2006;308:105–10.
33. Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2008;41:408–17.
34. Belio-Reyes IA, Bucio L, Cruz-Chavez E. Phase composition of ProRoot mineral trioxide aggregate by X-ray powder diffraction. *J Endod* 2009;35:875–8.
35. Camilleri J, Kralj P, Veber M, Sinagra E. Characterization and analyses of acid-extractable and leached trace elements in dental cements. *Int Endod J* 2012;45:737–43.

ARTÍCULO 3

Análisis espectrofotométrico
de la decoloración dental
inducida por MTA blanco y
Biodentine

7. ARTÍCULO 3.

7.1. Descripción del artículo

Título: ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO DE LA DECOLORACIÓN DENTAL INDUCIDA POR MTA BLANCO Y BIODENTINE

Autores: Vallés, Marta; Mercadé, Montse; Durán-Sindreu, Fernando; Suarez, Carlota; Roig, Miguel.

Revista publicada: Revista de Endodoncia

Fecha de envío: 5 octubre de 2013

Fecha de aceptación: 13 de noviembre de 2013

Fecha de publicación: PENDIENTE

Referencia de publicación: PENDIENTE

7.2. Resumen

Objetivo: Evaluar el potencial de decoloración del ProRoot BMTA y del Biodentine en dientes humanos bajo condiciones de iluminación artificial.

Material y métodos: 19 dientes humanos fueron divididos en dos grupos experimentales (n=8) y un grupo control (n=3). Los dientes fueron seccionados 1 mm por debajo de la UAC, se les extirpó la pulpa cameral y se les preparó una cavidad. Las cavidades de los grupos experimentales fueron obturadas con ProRoot MTA® y con Biodentine®, en el grupo control no se colocó ningún material. Tras 48 horas, todas las cavidades se obturaron con composite y se colocaron 10 cm debajo de una lámpara, al 100% de humedad. El color fue registrado utilizando un espectrofotómetro en cuatro momentos: tras la colocación de material, tras la restauración coronal, una y dos semanas después de la restauración.

Resultados: Se observaron diferencias significativas entre los dos grupos experimentales. El grupo BMTA mostró un cambio de color mayor que el de Biodentine, a las 48 horas, a la semana y a las 2 semanas. A las 48 horas el BMTA presentó oscurecimiento, que fue aumentado con el tiempo, revelando diferencias significativas entre los tres intervalos. No se observaron diferencias significativas entre el Biodentine y el grupo control durante todo el tiempo.

Conclusiones: Debido al hecho de que el Biodentine mostró una mayor estabilidad de color que el BMTA, este se podría recomendar en tratamientos que requieran de CSM en zonas de compromiso estético. Sin embargo, se necesitan estudios a más largo plazo.

Palabras clave: Biodentine, agregado trióxido mineral blanco, color, óxido de bismuto.

7.3. Texto Principal

Introducción

El Agregado trióxido mineral (MTA, Dentsply®, Tulsa, OK, EE.UU) fue desarrollado inicialmente como material de obturación apical, sin embargo, actualmente tiene muchas otras indicaciones endodónticas como son la revascularización (1), la apicogénesis, la apicoformación, la reparación de reabsorciones externas e internas (2). En algunos tratamientos el MTA debe colocarse en una posición más coronal, como en el recubrimiento pulpar directo, la pulpotomía, el sellado de perforaciones o cuando se utiliza como base cervical antes de un blanqueamiento interno (3). El MTA fue desarrollado modificando el cemento Portland (CP) mediante la adición de óxido de bismuto, el cual actúa como radiopacificante (3). El MTA y el CP son similares en la mayoría de sus propiedades físicas y químicas (resistencia a la compresión, cambio dimensional, tiempo de fraguado, pH), sin embargo, la principal diferencia es que el CP tiene una radiopacidad más baja (4, 5). El MTA se compone principalmente de calcio, sílice y óxido de bismuto; y actualmente se comercializa en 2 formas: gris (GMTA) y blanca (BMTA). El MTA fue introducido por primera vez en color gris, pero debido a su potencial de decoloración, se desarrolló el BMTA. No obstante, aunque el BMTA presenta menores cantidades de hierro, aluminio y magnesio que el GMTA (2), diversos estudios han reportado oscurecimiento de los dientes tras la aplicación del BMTA a nivel coronal (6-9). Vallés y cols. (10) observaron que la irradiación del BMTA con una lámpara de polimerización o una lámpara fluorescente, en un ambiente libre de oxígeno, causaba un oscurecimiento de este. No ocurría así en un ambiente con oxígeno, donde el BMTA mantenía estabilidad del color.

Se han desarrollado nuevos materiales a base de silicato cálcico (MSC) (3, 11) con el fin de mejorar los inconvenientes del MTA. El Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fossés, Francia), un MSC desarrollado recientemente, es un sustituto dentinario bioactivo con indicaciones endodónticas similares al MTA. Se caracteriza por la liberación de hidróxido de calcio en solución (12, 13), que, cuando está en contacto con los fluidos de los tejidos forma hidroxiapatita (14-16). El Biodentine está formado por un

polvo compuesto por silicato tricálcico, carbonato de calcio, y óxido de circonio como radiopacificante; y de un líquido que contiene cloruro de calcio, como acelerador del fraguado, y agua, como agente reductor (17). El Biodentine está considerado un material de fácil manejo (18) y tiene un tiempo de fraguado corto de 12 minutos (19). Vallés y cols. en 2013 (20) estudiaron la influencia de la luz y del oxígeno en la estabilidad del color de cinco materiales a base de silicato cálcico, durante un período de 5 días. Se observó que en un ambiente donde se combinaba luz y condiciones anaeróbicas, los MSC testados se oscurecían, excepto el Biodentine y el PC, los cuales mostraron estabilidad del color. Sin embargo, hasta la fecha no hay estudios publicados sobre la estabilidad del color del Biodentine en dientes humanos.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar la estabilidad del color de dientes humanos, restaurados a nivel coronal con BMTA y con Biodentine bajo condiciones de luz artificial.

Material y Métodos

El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité Ético de la Universitat Internacional de Catalunya. Se recolectaron 19 dientes humanos unirradiculares, extraídos por motivos periodontales, a los cuales se les realizó una tartrectomía y fueron pulidos con cepillo y pasta abrasiva. La muestra se dividió al azar en tres grupos, dos grupos experimentales (n = 8), y un grupo control (n = 3).

Los dientes fueron seccionados horizontalmente 1 mm por debajo de la unión amelocementaria (UAC). La pulpa cameral fue extirpada quimio-mecánicamente mediante limas Hedstrom (nº 10 en dientes mandibulares y nº 20 para los dientes maxilares) e hipoclorito de sodio al 4,2% (10 ml), a través del acceso retrógrado. A través de dicho acceso, con una fresa de diamante cilíndrica (Komet® Lemgo, Alemania), se preparó una cavidad que llegaba a 2 mm del borde incisal, donde los materiales iban a ser colocados. Las cavidades se irrigaron finalmente con 10ml de hipoclorito de sodio al 4,2% y 5ml de solución salina.

Las cavidades del Grupo 1 fueron obturadas con ProRoot BMTA (Dentsply®, Tulsa, OK, EE.UU. Lote 12001879) y las del Grupo 2 fueron obturadas con Biodentine (Laboratorios Septodont, Saint-Maur, Francia. Lote 01564). Los dos materiales fueron preparados según las recomendaciones de su fabricante. Las cavidades del Grupo control no fueron obturadas. Todos los especímenes se mantuvieron en una incubadora a 38°C durante 48 horas en un ambiente del 100% de humedad. Tras 48 horas, todas las cavidades se sellaron con un adhesivo autograbante (Xeno® V, Dentsply, Konstanz, Alemania) y con un composite color A-3 (Spectrum, Dentsply, Konstanz, Alemania). Estos materiales adhesivos se fotopolimerizaron con la lámpara de polimerización Bluephase 20i (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente, en una humedad relativa del 100% y 10 cm por debajo de una bombilla fluorescente compacta de bajo consumo (Intergris® 11W, 220-240V, 50Hz, Inglés, Girona, España).

Mediciones espectrofotométricas

Los valores de color fueron registrados por un solo operador, utilizando un espectrofotómetro de reflectancia (SpectroShade, Handy Dental Tipo 713000, MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italia). Las mediciones se realizaron mediante el posicionamiento del espectrofotómetro a 2 mm de las muestras, bajo unas condiciones constantes de luz de laboratorio. El instrumento se calibró antes de la realización de las mediciones de cada grupo, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Una medición de color espectrofotométrico de cada muestra fue tomada en cuatro momentos de tiempo: después de la colocación de material (muestra inicial), después de la restauración (48 horas más tarde) (muestra 48h), una semana después de la restauración (muestra 1 semana), dos semanas después de la restauración (muestra 2 semanas).

Utilizando el software SpectroShade se calcularon las diferencias de color (ΔE) y las coordenadas de color (ΔL^* , Δa^* , and Δb^*) para cada intervalo de tiempo. El ΔE se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Análisis Estadístico

Los valores ΔE fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de varianza ANOVA. Se estableció un nivel de significación del 5%.

Resultados

La Tabla 1 muestra los valores de ΔE de los grupos en los diferentes intervalos de tiempo. En todos los intervalos de tiempo hubo diferencias significativas entre el Grupo BMTA y el Grupo Biodentine ($p= 0,0001$ en los tres intervalos), sin embargo, no hubieron diferencias significativas entre el Grupo Biodentine y el Grupo Control.

A las 48 horas el Grupo BMTA presentó oscurecimiento, que aumentó con el tiempo, mostrando diferencias significativas entre los tres momentos de tiempo. En el Grupo Biodentine y en el Grupo Control no se observaron diferencias significativas entre los tres momentos de tiempo.

| | 48 horas | | 1 semana | | 2 semanas | |
|------------|--------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| | Media | DE | Media | DE | Media | DE |
| BMTA | 7.13 ^{aA} | 2.45 | 11.02 ^{bA} | 3.07 | 15.08 ^{cA} | 4.17 |
| BIODENTINE | 2.42 ^{aB} | 1.56 | 2.99 ^{aB} | 1.45 | 3.70 ^{aB} | 1.41 |
| CONTROL | 2.88 ^{aB} | 0.45 | 3.61 ^{aB} | 0.89 | 4.49 ^{aB} | 0.69 |

Tabla 1. Valores Delta E (media \pm DE) de los tres grupos, en los diferentes momentos de tiempo. Diferentes letras mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p \leq 0,05$). Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas entre los intervalos de tiempo ($p \leq 0,05$).

La Figura 2 muestra una imagen espectrofotométrica de una muestra de cada material en los diferentes intervalos de tiempo. La decoloración progresiva del diente restaurado con BMTA es apreciable.



Figura 2. Imágenes espectrofotométricas de un diente de cada grupo, tomadas en los diferentes momentos de tiempo.

Discusión

El presente estudio in vitro muestra que los dientes humanos restaurados con BMTA bajo irradiación de luz, se oscurecen significativamente más que los dientes restaurados con Biodentine.

Los dientes restaurados con BMTA presentaron una decoloración significativa respecto al grupo control desde las primeras 48 horas y este oscurecimiento aumentaba con el tiempo, habiendo diferencias significativas entre las mediciones de las 48 horas, de la primera semana y de las dos semanas ($p=0,0001$). Vallés y cols. (10) evaluaron la estabilidad del color del BMTA después de la irradiación de luz y llegaron a la conclusión de que el BMTA se oscurecía después de la irradiación con una lámpara de polimerización (Demi, Optilux 501 o Bluephase 20i) o con una lámpara fluorescente en un ambiente libre de oxígeno. Los autores sugirieron que el óxido de bismuto presente en el material era responsable de la decoloración. El ProRoot MTA se compone de un 75% de cemento Portland, un 20% de óxido de bismuto (Bi_2O_3), y de un 5% de sulfato de calcio dihidratado. El Bi_2O_3 se añade al BMTA como radiopacificante (5). Se ha reportado que cuando el Bi_2O_3 es sometido a altas temperaturas sufre una disociación térmica que produce

bismuto metálico y el oxígeno (21). Los cristales reducidos de átomos de bismuto son negros y son los responsables del oscurecimiento de la muestra. La presencia de estos cristales ha sido demostrada por difracción de rayos X (22). El aumento de la presión parcial de oxígeno a alta temperatura evita la formación de bismuto metálico y este no cambia de color. Se sabe que el Bi_2O_3 puede ser excitado por la luz visible y UV (23). El comportamiento del Bi_2O_3 es similar al de los dientes del grupo restaurado con BMTA de nuestro estudio. Estos dientes fueron obturados con el BMTA, se sellaron con composite y se colocaron bajo una fuente de luz artificial. Así el BMTA estaba en un ambiente de ausencia de oxígeno e irradiado por luz. Lenherr (8), en otro estudio in vitro sobre dientes, observó un oscurecimiento progresivo de los dientes obturados con BMTA y BMTA más sangre, aunque el BMTA no presentó diferencias significativas en comparación con el CP (aunque fue el MSC que mostró menor decoloración). Sin embargo, en su estudio, las muestras se almacenaron en la oscuridad durante los primeros 3 meses, y a partir de entonces fueron expuestas a la luz solar indirecta hasta el final del experimento. Los valores de ΔE del BMTA aumentaron principalmente en el intervalo de 3 a 6 meses. Estos resultados concuerdan con la teoría de la necesidad de luz para que exista oscurecimiento del BMTA. Vallés y cols. (20), en otro estudio sobre la estabilidad del color de 5 MSC, corroboraron que la combinación de luz y condiciones anaeróbicas (similares a las de la situación clínica) producía cambios en el color del BMTA. Los autores también sugirieron que el óxido de bismuto presente era el responsable de la decoloración, ya que de los 5 MSC testados únicamente los materiales que contenían Bi_2O_3 en su composición mostraron decoloración.

En el estudio de Lenherr (8), el BMTA más sangre presentó una decoloración más acentuada desde la primera semana. Asimismo, Felman y Parashos (9) concluyeron que el BMTA induce la decoloración gris de la corona del diente, y el efecto se ve agravado por la presencia de sangre. En nuestro estudio los especímenes fueron instrumentados e irrigados con hipoclorito de sodio, para eliminar todos los restos pulpares y evitar que ello pudiera afectar a la estabilidad del color de los dientes.

En nuestro estudio, el grupo de dientes restaurados con Biodentine no mostró diferencias significativas con el grupo Control, y muestra estabilidad de color en el tiempo. De acuerdo con nuestros resultados, Vallés y cols. (20) en su estudio sobre la influencia de la luz y el oxígeno en la estabilidad del color de cinco materiales a base de silicato de calcio, llegaron a la conclusión de que Biodentine parece tener un color estable en el tiempo. Los autores de este estudio sostienen que la decoloración del BMTA se debe al óxido de bismuto. El Biodentine, como radiopacificante contiene óxido de circonio. Esto podría explicar por qué Biodentine mantiene la estabilidad de color con el tiempo. Sin embargo, nuestro estudio tan sólo ha proporcionado datos de observación de la estabilidad del color del Biodentine a las dos semanas; por ello se necesitan estudios a largo plazo para corroborar si esta estabilidad se mantiene a largo plazo.

Conclusiones

El Biodentine se podría recomendar como alternativa en los tratamientos que requieran la colocación de un MSC en zonas de compromiso estético. Sin embargo, se necesitan estudios a largo plazo para corroborar los resultados.

Bibliografía

1. Bidar M, Moradi S, Jafarzadeh H, Bidad S. Comparative SEM study of the marginal adaptation of white and grey MTA and Portland cement. Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc 2007;33(1):2-6.
2. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. Journal of endodontics 2010;36(3):400-413.
3. Gomes-Filho JE, Rodrigues G, Watanabe S, Estrada Bernabe PF, Lodi CS, Gomes AC, et al. Evaluation of the tissue reaction to fast endodontic cement (CER) and Angelus MTA. Journal of endodontics 2009;35(10):1377-1380.

4. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of endodontics* 2010;36(1):16-27.
5. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *Journal of endodontics* 2006;32(3):193-197.
6. Belobrov I, Parashos P. Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics* 2011;37(7):1017-1020.
7. Akbari M, Rouhani A, Samiee S, Jafarzadeh H. Effect of dentin bonding agent on the prevention of tooth discoloration produced by mineral trioxide aggregate. *International journal of dentistry* 2012;2012:563203.
8. Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. *International endodontic journal* 2012;45(10):942-949.
9. Felman D, Parashos P. Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics* 2013;39(4):484-487.
10. Valles M, Mercade M, Duran-Sindreu F, Bourdelande JL, Roig M. Color stability of white mineral trioxide aggregate. *Clinical oral investigations* 2013;17(4):1155-1159.
11. Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The properties of a new endodontic material. *Journal of endodontics* 2008;34(8):990-993.
12. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *Journal of conservative dentistry : JCD* 2008;11(4):141-143.
13. Camilleri J. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2011;27(8):836-844.
14. Tay FR, Pashley DH, Rueggeberg FA, Loushine RJ, Weller RN. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid. *Journal of endodontics* 2007;33(11):1347-1351.

15. Gandolfi MG, Ciapetti G, Perut F, Taddei P, Modena E, Rossi PL, et al. Biomimetic calcium-silicate cements aged in simulated body solutions. Osteoblast response and analyses of apatite coating. *Journal of applied biomaterials & biomechanics* : JABB 2009;7(3):160-170.
16. Han L, Okiji T, Okawa S. Morphological and chemical analysis of different precipitates on mineral trioxide aggregate immersed in different fluids. *Dental materials journal* 2010;29(5):512-517.
17. Laurent P, Camps J, De Meo M, Dejou J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca(3)SiO(5)-based posterior restorative material. *Dental materials* : official publication of the Academy of Dental Materials 2008;24(11):1486-1494.
18. Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO, et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth - a prospective study. *Clinical oral investigations* 2013;17(1):243-249.
19. Goldberg. *Emerging trends in biomaterials research*. 2009.
20. Valles M, Mercade M, Duran-Sindreu F, Bourdelande JL, Roig M. Influence of light and oxygen on the color stability of five calcium silicate-based materials. *Journal of endodontics* 2013;39(4):525-528.
21. Sanz O H-PE, Gonzalo J, Navarro JF Influence of the melting conditions of heavy metal oxide glasses containing bismuth oxide on their optical absorption. *J. Non-Cryst. Solids* 2006;352:761-768.
22. Zhang Y YY, Zheng J, Hua W, Chen G. Effects of oxidizing additives on optical properties of Bi₂O₃-B₂O₃-SiO₂ glasses. *J Am Ceram Soc* 2008;91:3410-3412.
23. Zhang L WW, Yang J, Chen Z, Zhang W, Zhou L, et al Sonochemical synthesis of nanocrystallite Bi₂O₃ as a visible-light-driven photocatalyst. *Appl Catal A: Gen* 2006;308:105-110.

DISCUSIÓN

El color de los materiales que colocamos en nuestros tratamientos es de vital importancia para tener un resultado estético final aceptable, sobre todo cuando esos materiales son ubicados clínicamente a nivel coronal. Sin embargo, aún es más importante saber si ese material tiene estabilidad de color, y si no es así, en qué condiciones clínicas variará su color y qué color acabará teniendo. Así, cuando clínicamente elijamos un material, deberemos saber qué color tiene ese material una vez fraguado y si ese color se mantendrá en el tiempo o no. Así, el clínico podrá saber si el diente tratado mantendrá estabilidad del color o no, y podrá explicar a sus pacientes el pronóstico estético de dicho diente.

Hasta el inicio de esta tesis había indicios y observaciones sobre el oscurecimiento del MTA blanco. Sin embargo no había ningún estudio que hiciera mediciones cuantitativas sobre dicho cambio ni que explicase en qué condiciones el MTA blanco cambiaba de color.

El objetivo de nuestro primer estudio fue observar la estabilidad del color del ProRoot MTA blanco. El cambio de color se puede evaluar visualmente y con instrumentos específicos. El espectrofotómetro y el CIE $L^* a^* b^*$ fueron elegidos para evaluar la variación de color (AE), ya que son muy adecuados para la detección de pequeños cambios en el color y tienen ventajas tales como la repetitividad, la sensibilidad, y la objetividad (94).

Hasta el momento solo teníamos noticias sobre el oscurecimiento del WMTA por tres estudios in vitro, en los cuales habían observado este cambio de color de forma fortuita mientras llevaban a cabo otro tipo de estudio sobre dicho material (10-12). Watts y cols. (11) informaron de que, en su estudio, todos los especímenes de WMTA eran de color gris cuando se retiraron de los moldes. Sin embargo, las superficies de las muestras que estaban directamente expuestas a suero salino tamponado en fosfato (PBS) se mantuvieron en color claro. Una vez que las muestras fueron retiradas de los moldes se sumergieron en PBS y tras los 28 días que duró el experimento la decoloración oscura desapareció, pero seguía siendo visible en la parte interna de los especímenes cuando estos se fracturaron. De manera similar, Boutsoukis y cols. (12) observaron una coloración oscura del WMTA en la mayoría de los especímenes que habían sido sellados previamente con material restaurador intermedio. Con estos estudios en mente, nos planteamos

la hipótesis de que la presencia o ausencia de oxígeno desempeña un papel importante en la decoloración de WMTA. Por otro lado Tsujimoto(10) cubrió muestras de WMTA con dos agentes blanqueantes para valorar el efecto de estos peróxidos en el material, y observó que tras activar los agentes blanqueantes con luz, las muestras se oscurecieron. Con lo cual, también nos planteamos la hipótesis que la presencia de luz podía afectar a la estabilidad del color del WMTA. Para corroborar esta segunda hipótesis, se realizó un estudio piloto en el que las muestras de WMTA fueron selladas en tubos de ensayo, la mitad de los cuales fueron saturados con oxígeno puro y la otra mitad con nitrógeno puro. El color de la superficie de las muestras saturadas con nitrógeno cambiaba de blanco a gris después de ser expuestas a la radiación de luz de una lámpara de polimerizar. Sin embargo, el color de las muestras saturadas de oxígeno se mantuvo estable. El principal inconveniente de este estudio piloto fue que sólo era posible asegurar condiciones experimentales óptimas durante unos pocos minutos. Por este motivo, en los estudios que realizamos posteriormente se utilizó gel de glicerina para reducir la exposición al oxígeno durante la irradiación con la lámpara de polimerización, para poder mantener así las muestras en un ambiente sin oxígeno durante más tiempo y asimismo imitando el procedimiento seguido por el clínico (95).

Los resultados del primer estudio revelan que todas las muestras irradiadas y en contacto con oxígeno, se habían oscurecido a los cinco días, sin embargo, el grupo control negativo no se oscureció, y este fue irradiado pero estuvo en un ambiente con oxígeno (no fue sumergido en glicerina). Las muestras de WMTA que fueron irradiadas con las lámparas de polimerización Bluephase 20i u Optilux 501 mostraban un oscurecimiento significativamente más rápido que las irradiadas con la luz Demi. La decoloración en el grupo experimental expuesto a la luz fluorescente fue significativamente más lento que en los otros grupos. Sin embargo, a los 5 días, no hubo diferencias significativas en cuanto a la oscuridad de superficie de las muestras entre todos los grupos recubiertos de glicerina (e irradiados con lámpara de polimerizar o luz fluorescente).

Para intentar explicar porque el WMTA se oscurece cuando es irradiado con una lámpara de polimerizar o con una luz fluorescente, debemos fijarnos

en primer lugar en la composición del ProRoot MTA. De acuerdo con la información suministrada en la hoja de datos de seguridad del material, el ProRoot MTA se compone de: 75% de cemento Portland, 20% Bi_2O_3 , y 5% de sulfato de calcio dihidratado. El Bi_2O_3 se añade al WMTA como radiopacificador (72). Ha sido demostrado que el trióxido de bismuto sufre una disociación térmica a alta temperatura, lo que da bismuto metálico y oxígeno (96). Los cristales negros de los átomos de bismuto reducidos son responsables del oscurecimiento de la muestra y la presencia de estos cristales se ha identificado por análisis de difracción de rayos X (97). El aumento de la presión parcial de oxígeno a alta temperatura evita la formación de bismuto metálico y el color de la muestra permanece inalterado. En nuestro estudio el WMTA sigue un comportamiento paralelo bajo la radiación con luz. Se sabe que el Bi_2O_3 puede ser excitado por la luz visible y por la UV (98). El Bi_2O_3 irradiado se comporta de la misma manera que el Bi_2O_3 calentado; se oscurece cuando se calienta o cuando se irradia en una atmósfera sin oxígeno (como en nuestro estudio), mientras que sigue siendo blanco o transparente cuando se calienta o se irradia bajo una atmósfera con oxígeno. Con toda esta información, podríamos señalar que la formación de bismuto metálico bajo la radiación con luz puede ser la razón principal para el oscurecimiento de las muestras de WMTA, ya que los grupos experimentales que están en un ambiente libre de oxígeno e irradiados con luz se oscurecen, sin embargo las muestras del grupo control, las cuales son irradiadas pero están en presencia de oxígeno, no cambian de color. Sin embargo se necesitan investigaciones adicionales para confirmar esta hipótesis.

Además del papel del oxígeno, se observó que la luz es un elemento clave para iniciar o acelerar el proceso de oscurecimiento del WMTA. Las muestras de WMTA que fueron irradiadas con las lámparas de polimerización Bluephase 20i u Optilux 501 mostraban un oscurecimiento significativamente más rápido que las irradiadas con la luz Demi. Para intentar explicar estos resultados debemos fijarnos en las bandas de emisión de las mismas. La luz halógena Optilux 501 y la luz de polionda Bluephase 20i tienen bandas de emisión amplias (400-505nm y 380-515nm, respectivamente). Estas bandas de emisión se superponen parcialmente con el espectro de reflectancia difusa de la luz UV-visible del Bi_2O_3 (98), que tiene una longitud de onda que abarca de

300nm a 500nm, con un pico máximo de absorbancia a 400nm. Así, tanto la luz de polimerizar halógena Optilux 501 como la luz Bluephase 20i pueden excitar el Bi_2O_3 , iniciando el proceso fotoquímico y por consiguiente, oscureciéndolo. En contraste, aunque la luz Demi LED tiene una mayor intensidad, su espectro de luz es más estrecho (450-470nm), y la superposición con el espectro de reflectancia de Bi_2O_3 es pequeño, lo que resulta en una excitación menos eficiente y un oscurecimiento más lento del WMTA. La decoloración en el grupo experimental expuesto a la luz fluorescente fue significativamente más lenta que en los otros grupos (excepto el grupo control negativo). Dado que la lámpara fluorescente tiene un ancho de banda amplio (con tres picos estrechos a 436, 556 y 628nm), en teoría, debería haber oscurecido las muestras más rápidamente. Sin embargo, la distancia de 1 metro entre las muestras de WMTA y la lámpara fluorescente hacía que llegara una intensidad baja de luz a las muestras y tal vez esto fuera el motivo de la lentitud en su oscurecimiento. Sin embargo, a los 5 días, no hubo diferencias significativas en cuanto a la oscuridad de superficie de las muestras entre todos los grupos recubiertos de glicerina. Por lo tanto, la intensidad y longitud de onda de la luz parecen jugar un papel crucial en la velocidad a la que el WMTA se oscurece.

Basándonos en las conclusiones obtenidas con este primer estudio, nos planteamos si este mismo fenómeno de oscurecimiento ocurría con otros cementos basados en silicato de calcio utilizados por el clínico.

Así, el objetivo de nuestro segundo estudio fue evaluar el efecto de la luz y del oxígeno en la estabilidad de color de diferentes materiales basados en calcio-silicato. Con este, pretendíamos demostrar la importancia de que se dieran simultáneamente las premisas de ambiente libre de oxígeno e irradiación con luz, para que las muestras cambiasen de color. Es por ello que las muestras se observaron en 5 ambientes diferentes: irradiadas con luz de polimerizar y sin oxígeno; irradiadas con luz fluorescente y sin oxígeno; irradiadas con luz de polimerizar y con oxígeno; conservadas en la oscuridad y con oxígeno; y conservadas en la oscuridad y sin oxígeno. Asimismo nos propusimos observar la estabilidad del color de diferentes materiales basados en silicato de calcio en dichos ambientes, entre los cuales hay algunos que tienen óxido de bismuto en su composición y otros que no.

Los CSMs mostraron un oscurecimiento si se daban simultáneamente las siguientes condiciones: un ambiente libre de oxígeno, radiación con luz fluorescente o lámpara de polimerización, y la presencia de óxido de bismuto.

Algunos fabricantes, como Medcem GmbH (Weinfeld, Suiza), afirman que el PC tiene una mejor estabilidad del color que el MTA. En el año 2012, Lenherr y cols. (55) evaluaron y compararon en un modelo de diente bovino la decoloración producida por diferentes materiales endodónticos. En ese estudio, entre los diferentes materiales basados en PC testados (GMTA, WMTA, y PC), el PC mostró la mayor estabilidad de color. De acuerdo con los resultados obtenidos por Lenherr, en nuestro estudio el color del PC permaneció estable en el tiempo bajo todas las condiciones *in vitro* a las que se le sometió. Sin embargo, cuando al mismo PC se le añadió óxido de bismuto, los especímenes en algunas condiciones experimentales mostraron oscurecimiento de la superficie. Estos resultados coinciden con nuestra primera hipótesis, en que el bismuto metálico es el responsable del cambio de coloración del WMTA y del PC con óxido de bismuto.

En nuestro segundo estudio el PC + BO, el Angelus WMTA, y el ProRoot WMTA se oscurecieron en algunas condiciones experimentales, que detallaremos a continuación. Estos tres CSMs contienen óxido de bismuto por lo que, de acuerdo con nuestra hipótesis del primer artículo, deducimos que el óxido de bismuto era responsable de su decoloración. Estos materiales sólo mostraron oscurecimiento en los Grupos 1 (ambiente sin oxígeno e irradiado con Bluephase 20i durante 120 segundos) y 2 (ambiente sin oxígeno e irradiado con luz fluorescente a 1 metro de distancia), por lo que la decoloración requiere tanto un entorno libre de oxígeno como irradiación con luz. Sin embargo, cuando estos materiales fueron expuestos a irradiación con luz en una atmósfera con oxígeno o en un ambiente libre de oxígeno pero sin luz, el PC + BO, el WMTA Angelus, y el WMTA ProRoot no cambiaron de color.

En este segundo estudio, el ProRoot WMTA mostró la mayor decoloración, seguido por el Angelus WMTA y el PC + BO. La patente del MTA (72) señala la inclusión de un 20% de óxido de bismuto en el MTA, que ha sido verificado por diferentes autores (33, 99). Camilleri y cols. (64) reportaron que en el MTA Angelus la cantidad de óxido de bismuto es del 10.5%, por lo tanto, inferior a la presente en el MTA. Esto podría explicar por qué las muestras de

ProRoot WMTA presentaban una superficie significativamente más oscura que las de Angelus WMTA. Sin embargo, la mezcla de PC + BO que realizamos contenía un 20% de óxido de bismuto y su cambio de color fue significativamente menor que el de las otras dos formulaciones de WMTA. Esto puede ser debido al proceso con el que los fabricantes añaden óxido de bismuto a MTA (el proceso se realiza bajo mecanización para obtener una mezcla homogénea y con un aumento de la temperatura). En nuestro caso, para realizar la mezcla de PC + BO se trituraron los dos materiales en una placa de vidrio, hecho que podría haber resultado en una mezcla menos homogénea que la que se pueda obtener mediante un proceso mecanizado.

Nuestros resultados del estudio *in vitro* a 5 días sugieren que la mezcla de PC + BO, el Angelus WMTA y el ProRoot WMTA se oscurecen en combinación de luz y condiciones anaeróbicas (similares a las que encontramos clínicamente), mientras que el PC y el Biodentine muestran estabilidad de color. El PC y el Biodentine no presentan óxido de bismuto en su composición, por lo tanto esta podría ser la causa de que estos CMS mantuvieran estabilidad de su color. Una ventaja del PC es su bajo coste, pero sin embargo, este material no está aprobado para uso clínico por la FDA. El Biodentine, dadas sus ventajas, como son su corto tiempo de fraguado, las propiedades mecánicas, su facilidad de manejo y su potencial estabilidad de color, podría ser una alternativa interesante como CSM para su uso en zonas de compromiso estético. Sin embargo este estudio es sobre especímenes de material y, por lo tanto, no se contempla la interacción diente-material. Es por ello que en nuestro tercer artículo nos planteamos observar la estabilidad del color de dientes restaurados con ProRoot WMTA versus dientes restaurados con Biodentine.

Nuestro tercer estudio ha demostrado que los dientes humanos restaurados con ProRoot WMTA colocado coronalmente bajo irradiación de luz se oscurecen significativamente más que los dientes restaurados con Biodentine.

En este estudio únicamente se testaron dos materiales, el ProRoot MTA y el Biodentine. El ProRoot MTA se escogió porque es el cemento a base de silicato de calcio de elección por la mayoría de los clínicos; el Biodentine, se

seleccionó porque es el cemento que obtuvo los mejores resultados en el estudio anterior.

Los dientes restaurados con ProRoot WMTA presentaron mayor decoloración ($p=0,0001$) respecto al grupo control desde las primeras 48 horas y este oscurecimiento aumentó con el tiempo, habiendo diferencias significativas entre las mediciones de las 48 horas, de la primera semana y de las dos semanas. Estos dientes fueron obturados con ProRoot WMTA, se sellaron con composite y se colocaron bajo una fuente de luz artificial. Así el ProRoot WMTA estuvo en un ambiente libre de oxígeno e irradiado con luz. Lenherr (55), en otro estudio in vitro sobre dientes, observó un oscurecimiento progresivo de los dientes obturados con WMTA y WMTA más sangre, aunque el WMTA no presentó diferencias significativas en comparación con el PC (aunque el PC fue el CSM que mostró menor decoloración). Sin embargo, en su estudio, las muestras se almacenaron en la oscuridad durante los primeros 3 meses, y a partir de entonces fueron expuestas a la luz solar indirecta hasta el final del experimento. Los valores de ΔE del WMTA aumentaron principalmente en el intervalo de 3 a 6 meses. Estos resultados concuerdan con la teoría de la necesidad de luz para que exista oscurecimiento del WMTA. En el estudio de Lenherr (55), el WMTA más sangre presentó una decoloración más acentuada desde la primera semana. Asimismo, Felman y Parashos (31) concluyeron que el WMTA induce la decoloración gris de la corona del diente, y el efecto se ve agravado por la presencia de sangre. En nuestro estudio los especímenes fueron instrumentados e irrigados con hipoclorito de sodio, para eliminar todos los restos pulpares y evitar que ello pudiera afectar a la estabilidad del color de los dientes.

En este estudio, el grupo de dientes restaurados con Biodentine no mostró diferencias significativas con el grupo Control, y mostró estabilidad de color en el tiempo. Estos resultados coinciden con los del segundo artículo, donde llegamos a la conclusión de que el Biodentine parece tener un color estable en el tiempo. Estos resultados coinciden con la hipótesis de que el causante de la decoloración del WMTA es el óxido de bismuto, ya que el Biodentine, como radiopacificante contiene óxido de circonio. Esto podría explicar por qué el Biodentine mantiene la estabilidad de color en el tiempo. Sin embargo, nuestro estudio tan sólo ha proporcionado datos de observación de la estabilidad del

color del Biodentine a las dos semanas; por ello se necesitan estudios a largo plazo para corroborar si esta estabilidad se mantiene a largo plazo.

En nuestros tres estudios hemos observado que el color del MTA blanco no es estable, ya que en un ambiente libre de oxígeno y con luz, se oscurece. La longitud de onda de esta luz y su intensidad hará que el cambio de color sea más rápido, pero si le llega luz siempre acabará oscureciéndose, aunque sea lentamente y al cabo de unos días su color se igualará al de los que han recibido una luz más potente. Otros materiales basados en silicato de calcio, como el Ángelus WMTA y la mezcla de cemento portland con óxido de bismuto, se comportaron de igual manera bajo las mismas condiciones, pero su oscurecimiento fue menor. Nuestra presunción es que el causante de la decoloración es el óxido de bismuto presente en su composición, que en el Ángelus WMTA está en menor proporción; y en el cemento portland con óxido de bismuto su adición ha sido a temperatura ambiente y de forma manual y no a altas temperaturas y en un ambiente mecanizado, como en el WMTA.

Cuando transferimos nuestro estudio al modelo de diente comprobamos que el comportamiento del WMTA es el mismo que en condiciones de muestras de laboratorio. Esto puede ser explicado porque el ambiente que se crea en el interior del diente es el mismo que hemos creado artificialmente en los estudios 1 y 2, es un ambiente sin oxígeno y con luz. Lo que es realmente importante para el clínico y que demuestra este tercer artículo, es que este cambio de color afecta también al color final del diente, afectando por lo tanto a la estética. Sin embargo, los dientes restaurados con Biodentine mantienen estabilidad de color (presumiblemente porque el Biodentine no contiene óxido de bismuto en su composición) a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Biodentine podría ser el material de elección en aquellos casos en que la estética sea fundamental para el éxito clínico.

C ONCLUSIONES

3.1 Conclusiones

Objetivo específico 1: *Evaluar el efecto que produce la irradiación con diferentes lámparas de polimerizar y la luz fluorescente en la estabilidad del color del ProRoot® Tooth-colored MTA en un ambiente sin oxígeno.*

Conclusión 1: El ProRoot® Tooth-colored MTA al ser irradiado con una lámpara de polimerizar o con una luz fluorescente en un ambiente sin oxígeno se oscurece.

Objetivo específico 2: *Evaluar el efecto que produce la irradiación con la lámpara de polimerizar poliwave LED Bluephase® 20i y con una lámpara fluorescente, y la influencia del oxígeno en la estabilidad del color de cinco materiales basados en silicato de calcio (cemento Portland, cemento Portland con óxido de bismuto, Biodentine®, Angelus® Branco MTA y ProRoot® Tooth-colored MTA).*

Conclusión 2: Los materiales basados en silicato de calcio testados que contenían óxido de bismuto en su composición (cemento Portland con óxido de bismuto, Angelus® Branco MTA y ProRoot® Tooth-colored MTA) se oscurecen en un ambiente en que simultáneamente estén en un ambiente sin oxígeno y sean irradiados con una lámpara de polimerizar poliwave LED Bluephase® 20i o con una lámpara fluorescente. Estos materiales, si se encuentran en un ambiente con oxígeno o sin luz mantienen su color original.

Los materiales basados en silicato de calcio testados que no contienen óxido de bismuto en su composición (cemento Portland y Biodentine®) en ambientes con diferentes combinaciones de oxígeno y luz, mantienen su color inicial.

Objetivo específico 3: *Evaluar el efecto del tiempo en la estabilidad del color de dientes humanos extraídos restaurados con ProRoot® Tooth-colored MTA y con Biodentine®.*

Conclusión 3: Los dientes humanos extraídos restaurados con ProRoot® Tooth-colored MTA se oscurecen progresivamente durante los primeros quince días tras la colocación del material, sin embargo los dientes humanos extraídos restaurados con Biodentine® mantienen su color durante este tiempo.

Conclusión 4: Los materiales a base de silicato de calcio estudiados (Cemento Portland, la mezcla de Cemento Portland con óxido de bismuto, Biodentine®, Angelus® Branco MTA y ProRoot® Tooth-colored MTA) mostraron coloración oscura si se daban simultáneamente las siguientes condiciones: un ambiente libre de oxígeno, radiación con luz fluorescente o lámpara de polimerización y la presencia de óxido de bismuto.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

1. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 1993;**19**(12):591-5.
2. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;**19**(11):541-4.
3. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 2010;**36**(3):400-13.
4. Baratto-Filho F, Limongi O, Araujo Cde J, Neto MD, Maia SM, Santana D. Treatment of invasive cervical resorption with MTA: case report. *Aust Endod J* 2005;**31**(2):76-80.
5. Iwamoto CE, Adachi E, Pameijer CH, Barnes D, Romberg EE, Jefferies S. Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. *Am J Dent* 2006;**19**(2):85-90.
6. Hilton TJ. Keys to clinical success with pulp capping: a review of the literature. *Oper Dent* 2009;**34**(5):615-25.
7. Parirokh M, Asgary S, Eghbal MJ, Stowe S, Eslami B, Eskandarizade A, et al. A comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents in dog's teeth. *Dent Traumatol* 2005;**21**(3):150-4.
8. Naik S, Hegde AH. Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in primary molars: an in vivo study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2005;**23**(1):13-6.
9. Maroto M, Barberia E, Planells P, Garcia Godoy F. Dentin bridge formation after mineral trioxide aggregate (MTA) pulpotomies in primary teeth. *Am J Dent* 2005;**18**(3):151-4.
10. Tsujimoto M, Ookubo A, Wada Y, Matsunaga T, Tsujimoto Y, Hayashi Y. Surface changes of mineral trioxide aggregate after the application of bleaching agents: electron microscopy and an energy-dispersive X-ray microanalysis. *J Endod* 2011;**37**(2):231-4.
11. Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2007;**33**(8):970-3.

12. Boutsoukias C, Noula G, Lambrianidis T. Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material. *J Endod* 2008;**34**(10):1239-42.
13. Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO, et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth - a prospective study. *Clin Oral Investig* 2013;**17**(1):243-9.
14. Pradelle-Plasse N, Tran XV, Colon P. Physico-chemical properties of biodentine. In: Goldberg M, ed. Biocompatibility or Cytotoxic Effects of Dental Composites. Oxford, UK: Coxmoor Publishing Company; 2009:187–195.
15. Sulieman MA. An overview of tooth-bleaching techniques: chemistry, safety and efficacy. *Periodontol 2000* 2008;**48**:148-69.
16. van der Burgt TP, Eronat C, Plasschaert AJ. Staining patterns in teeth discolored by endodontic sealers. *J Endod* 1986;**12**(5):187-91.
17. Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 2005;**38**(11):834-42.
18. Dammaschke T, Gerth HU, Zuchner H, Schafer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dent Mater* 2005;**21**(8):731-8.
19. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod* 2010;**36**(2):190-202.
20. Chong BS, Pitt Ford TR, Hudson MB. A prospective clinical study of Mineral Trioxide Aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J* 2003;**36**(8):520-6.
21. Saunders WP. A prospective clinical study of periradicular surgery using mineral trioxide aggregate as a root-end filling. *J Endod* 2008;**34**(6):660-5.
22. Baek SH, Lee WC, Setzer FC, Kim S. Periapical bone regeneration after endodontic microsurgery with three different root-end filling

- materials: amalgam, SuperEBA, and mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2010;**36**(8):1323-5.
23. Nair PN, Duncan HF, Pitt Ford TR, Luder HU. 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**(2):128-50.
 24. Okiji T, Yoshida K. Reparative dentinogenesis induced by mineral trioxide aggregate: a review from the biological and physicochemical points of view. *Int J Dent* 2009;**2009**:464280.
 25. Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch MJ, Friedrich Ding PG, Wolff D, et al. Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: an analysis of the clinical treatment outcome. *J Endod* 2010;**36**(5):806-13.
 26. Main C, Mirzayan N, Shabahang S, Torabinejad M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long-term study. *J Endod* 2004;**30**(2):80-3.
 27. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *Int Endod J* 2007;**40**(3):186-97.
 28. Jacobovitz M, de Pontes Lima RK. The use of calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate on apexification of a replanted tooth: a case report. *Dent Traumatol* 2009;**25**(3):e32-6.
 29. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 2010;**36**(1):16-27.
 30. Belobrov I, Parashos P. Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2011;**37**(7):1017-20.
 31. Felman D, Parashos P. Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2013;**39**(4):484-7.
 32. Moore A, Howley MF, O'Connell AC. Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dent Traumatol* 2011;**27**(3):166-73.

33. Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2008;**41**(5):408-17.
34. Camilleri J. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dent Mater* 2011;**27**(8):836-44.
35. Tay FR, Pashley DH, Rueggeberg FA, Loushine RJ, Weller RN. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid. *J Endod* 2007;**33**(11):1347-51.
36. Steffen R, van Waes H. Understanding mineral trioxide aggregate/Portland-cement: a review of literature and background factors. *Eur Arch Paediatr Dent* 2009;**10**(2):93-7.
37. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater* 2005;**21**(4):297-303.
38. Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The properties of a new endodontic material. *J Endod* 2008;**34**(8):990-3.
39. Camilleri J. Modification of mineral trioxide aggregate. Physical and mechanical properties. *Int Endod J* 2008;**41**(10):843-9.
40. Gandolfi MG, Pagani S, Perut F, Ciapetti G, Baldini N, Mongiorgi R, et al. Innovative silicate-based cements for endodontics: a study of osteoblast-like cell response. *J Biomed Mater Res A* 2008;**87**(2):477-86.
41. Gomes-Filho JE, Rodrigues G, Watanabe S, Estrada Bernabe PF, Lodi CS, Gomes AC, et al. Evaluation of the tissue reaction to fast endodontic cement (CER) and Angelus MTA. *J Endod* 2009;**35**(10):1377-80.
42. Johnson BR. Considerations in the selection of a root-end filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999;**87**(4):398-404.
43. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995;**21**(7):349-53.

44. Bye GC. Portland cement. London, Thomas Telford , 1999.
45. Taylor HFW. Cement chemistry. London, Thomas Telford, 1997.
46. Asgary S, Pairokh M, Eghbal MJ, Brink F. A comparative study of white mineral trioxide aggregate and white Portland cements using X-ray microanalysis. *Aust Endod J* 2004;**30**(3):89-92.
47. Islam I, Chng HK, Yap AU. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Int Endod J* 2006;**39**(3):220-5.
48. Oliveira MG, Xavier CB, Demarco FF, Pinheiro AL, Costa AT, Pozza DH. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. *Braz Dent J* 2007;**18**(1):3-7.
49. Coomaraswamy KS, Lumley PJ, Hofmann MP. Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic Portland cement-based (MTA-like) system. *J Endod* 2007;**33**(3):295-8.
50. Storm B, Eichmiller FC, Tordik PA, Goodell GG. Setting expansion of gray and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 2008;**34**(1):80-2.
51. Song JS, Mante FK, Romanow WJ, Kim S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;**102**(6):809-15.
52. Hwang YC, Lee SH, Hwang IN, Kang IC, Kim MS, Kim SH, et al. Chemical composition, radiopacity, and biocompatibility of Portland cement with bismuth oxide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;**107**(3):e96-102.
53. Holland R, de Souza V, Murata SS, Nery MJ, Bernabe PF, Otoboni Filho JA, et al. Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J* 2001;**12**(2):109-13.
54. Ribeiro DA. Do endodontic compounds induce genetic damage? A comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;**105**(2):251-6.

55. Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. *Int Endod J* 2012;**45**(10):942-9.
56. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999;**25**(3):197-205.
57. Rubinstein R, Torabinejad M. Contemporary endodontic surgery. *J Calif Dent Assoc* 2004;**32**(6):485-92.
58. Ng FK, Messer LB. Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy medicament: a narrative review. *Eur Arch Paediatr Dent* 2008;**9**(1):4-11.
59. Camp JH. Diagnosis dilemmas in vital pulp therapy: treatment for the toothache is changing, especially in young, immature teeth. *J Endod* 2008;**34**(7 Suppl):S6-12.
60. Carrotte PV. A clinical guide to endodontics - update part 1. *Br Dent J* 2009;**206**(2):79-84.
61. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2005;**31**(2):101-3.
62. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Stowe S, Brink F. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. *J Mater Sci Mater Med* 2006;**17**(2):187-91.
63. Dentsply Tulsa Dental Specialities. En: Clinical Applications of ProRoot MTA. Endodontic brands. Disponible en http://www.tulsadentalspecialties.com/default/endodontics_brands/proroot_MTA.aspx
64. Camilleri J, Kralj P, Veber M, Sinagra E. Characterization and analyses of acid-extractable and leached trace elements in dental cements. *Int Endod J* 2012;**45**(8):737-43.
65. Duarte MA, Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga Sde C. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;**95**(3):345-7.
66. Jacobovitz M, de Lima RK. Treatment of inflammatory internal root resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. *Int Endod J* 2008;**41**(10):905-12.

67. Bortoluzzi EA, Araujo GS, Guerreiro Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Marginal gingiva discoloration by gray MTA: a case report. *J Endod* 2007;**33**(3):325-7.
68. Silveira CM, Sanchez-Ayala A, Lagravere MO, Pilatti GL, Gomes OM. Repair of furcal perforation with mineral trioxide aggregate: long-term follow-up of 2 cases. *J Can Dent Assoc* 2008;**74**(8):729-33.
69. Accorinte ML, Loguercio AD, Reis A, Bauer JR, Grande RH, Murata SS, et al. Evaluation of two mineral trioxide aggregate compounds as pulp-capping agents in human teeth. *Int Endod J* 2009;**42**(2):122-8.
70. Sakai VT, Moretti AB, Oliveira TM, Fornetti AP, Santos CF, Machado MA, et al. Pulpotomy of human primary molars with MTA and Portland cement: a randomised controlled trial. *Br Dent J* 2009;**207**(3):E5; discussion 128-9.
71. Darvell BW, Wu RC. "MTA"-an Hydraulic Silicate Cement: review update and setting reaction. *Dent Mater* 2011;**27**(5):407-22.
72. Torabinejad M, White DJ (1995) Tooth filling material and use. US patent number 5,769,638.
73. Ioannidis K, Mistakidis I, Beltes P, Karagiannis V. Spectrophotometric analysis of coronal discolouration induced by grey and white MTA. *Int Endod J* 2013;**46**(2):137-44.
74. Akbari M, Rouhani A, Samiee S, Jafarzadeh H. Effect of dentin bonding agent on the prevention of tooth discoloration produced by mineral trioxide aggregate. *Int J Dent* 2012;**2012**:563203.
75. Biodentine scientific file. Active Biosilicate Technology™, Septodont.Saint –Maur-des-Fossés Cedex, France: R&D Department; 2010 www.septodont.fr.
76. Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *Int Endod J* 2011;**44**(12):1081-7.
77. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine(TM) induces TGF-beta1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J* 2012;**45**(5):439-48.

78. Laurent P, Camps J, De Meo M, Dejou J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca(3)SiO(5)-based posterior restorative material. *Dent Mater* 2008;**24**(11):1486-94.
79. Dentaltv web. En: Biodentine-Sustituto de la dentina. Disponible en <http://www.dentaltvweb.com/producto/biodentine-sustituto-de-la-dentina>
80. Vanini L, Klimovskaia O. Il restauro conservativo del denti anteriori. 1st ed. Acme (Promoden); 2003.
81. Hill A. R. How we see colour. In R. McDonald, editor. Colour physics for Industry. H.Charlesworth & Co Ltd, Huddersfield, 1987. p. 211–281.
82. McLaren K. Colour space, colour scales and colour difference In: Colour physics for industry. H. Charlesworth & Co Ltd, Huddersfield; 1987. p. 97-115.
83. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 1997;**13**(3):179-85.
84. Gusgsm. En: Imagen digital ~4.0. Disponible en http://gusgsm.com/espacio_color_cie_lab.
85. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004;**32** **Suppl 1**:3-12.
86. Commission de l'Eclairage. Recommendations on Uniform Colour Spaces, Colour Difference Equations and Psychometric Colour Terms. In. París: Bureau Central de la CIE; 1978.
87. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;**81**(8):578-82.
88. Benbachir N, Ardu S, Krejci I. Spectrophotometric evaluation of the efficacy of a new in-office bleaching technique. *Quintessence Int* 2008;**39**(4):299-306.
89. Adeyemi AA, Jarad FD, de Josselin de Jong E, Pender N, Higham SM. The evaluation of a novel method comparing quantitative light-induced fluorescence (QLF) with spectrophotometry to assess staining and bleaching of teeth. *Clin Oral Investig* 2010;**14**(1):19-25.

90. Braun A, Jepsen S, Krause F. Spectrophotometric and visual evaluation of vital tooth bleaching employing different carbamide peroxide concentrations. *Dent Mater* 2007;**23**(2):165-9.
91. Ardu S, Braut V, Di Bella E, Lefever D. Influence of background on natural tooth colour coordinates: an in vivo evaluation. *Odontology* 2013.
92. Lefever D, Mayoral JR, Mercade M, Basilio J, Roig M. Optical integration and fluorescence: a comparison among restorative materials with spectrophotometric analysis. *Quintessence Int* 2010;**41**(10):837-44.
93. Chandrasekhar V, Reddy LP, Prakash TJ, Rao GA, Pradeep M. Spectrophotometric and colorimetric evaluation of staining of the light cured composite after exposure with different intensities of light curing units. *J Conserv Dent* 2011;**14**(4):391-4.
94. Khokhar ZA, Razzoog ME, Yaman P. Color stability of restorative resins. *Quintessence Int* 1991;**22**(9):733-7.
95. Bergmann P, Noack MJ, Roulet JF. Marginal adaptation with glass-ceramic inlays adhesively luted with glycerine gel. *Quintessence Int* 1991;**22**(9):739-44.
96. Sanz O H-PE, Gonzalo J, Navarro JF Influence of the melting conditions of heavy metal oxide glasses containing bismuth oxide on their optical absorption. *J Non-Cryst Solids* 2006;**352**:761-8.
97. Zhang Y YY, Zheng J, Hua W, Chen G. Effects of oxidizing additives on optical properties of Bi₂O₃-B₂O₃-SiO₂ glasses. *J Am Ceram Soc* 2008;**91**:3410-2.
98. Zhang L WW, Yang J, Chen Z, Zhang W, Zhou L, et al Sonochemical synthesis of nanocrystallite Bi₂O₃ as a visible-light-driven photocatalyst. *Appl Catal A: Gen* 2006;**308**:105-10.
99. Belio-Reyes IA, Bucio L, Cruz-Chavez E. Phase composition of ProRoot mineral trioxide aggregate by X-ray powder diffraction. *J Endod* 2009;**35**(6):875-8.

ANEXOS

ANEXO 1. Aprobación proyecto tesis




FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
Comisión de Doctorado

La comisión de doctorado del Departamento de Odontología de la Universitat Internacional de Catalunya, CERTIFICA que

El presente proyecto de Tesis Doctoral titulado: "**Estabilitat del color del MTA**", cuyo director es el Dra Montse Mercadé i Bellido y cuyo investigador principal es el doctorando **Marta Vallés**.

ha sido evaluado satisfactoriamente y es apto para entrar en el programa de doctorado.

Firmado en Sant Cugat del Vallès, a 25 de noviembre de 2011.

 Universitat Internacional
de Catalunya
Facultat d'Odontologia

Dr. Luís Giner i Tarrida
Director de la Comisión de Doctorado de Odontología

| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| Título: | Estabilitat del color del MTA |
| Investigador principal: | Marta Vallés Rodríguez |
| Director de la tesis: | Dra. Montse Mercadé Bellido |
| Número de estudio: | EST-ELM-2011-15-NF |

ANEXO 2. Aprobación Comisión de
Doctorado

ANEXO 3. CER proyecto tesis



CARTA APROVACIÓ DIRECTA PROJECTE PEL CER

Codi de l'estudi: EST-ELM-2011-15-NF
Versió del protocol: 1.0
Data de la versió: 29/11/12
Títol: "Estabilitat del color del MTA"

Sant Cugat del Vallès, 18 de desembre de 2012

Investigadora: Marta Vallés Rodríguez

Títol de l'estudi: "Estabilitat del color del MTA"

Benvolgut(da),

Valorat el projecte presentat, el CER de la Universitat Internacional de Catalunya, considera que, el contingut de la investigació, no implica cap inconvenient relacionat amb la dignitat humana, respecte als animals, ni atempta contra el medi ambient, ni té conflictes econòmics i d'interessos.

Per aquests motius, el Comitè d'Ètica de Recerca, **RESOLT FAVORABLEMENT**, emetre aquest **CERTIFICAT D'APROVACIÓ**, per que pugui ser presentat a les instàncies que així ho requereixin.

Em permeto recordar-li que si en el procés d'execució es produís algun canvi significatiu en els seus plantejaments, hauria de ser sotmès novament a la revisió i aprovació del CER.

Atentament,



Dr. Josep Argemí
President CER-UIC

ANEXO 4. CER ARTÍCULO “Análisis
espectrofotométrico de la decoloración
dental inducida por MTA blanco y
Biodentine”



CARTA APROVACIÓ PROJECTE PEL CER

Codi de l'estudi: ODO-2013-04
Versió del protocol: 1.0
Data de la versió: 21/05/13
Títol: "Spectrophotometric analysis of tooth discoloration induced by white MTA and Biodentine: 1-Year Follow-up"

Sant Cugat del Vallès, 05 de juny de 2013

Investigadora: Carlota Suárez Tuero

Títol de l'estudi: "Spectrophotometric analysis of tooth discoloration induced by white MTA and Biodentine: 1-Year Follow-up"

Benvolgut(da),

Valorat el projecte presentat, el CER de la Universitat Internacional de Catalunya, considera que, des del punt de vista ètic, reuneix els criteris exigits per aquesta institució i, per tant, ha

RESULT FAVORABLEMENT

emetre aquest CERTIFICAT D'APROVACIÓ per part del Comitè d'Ètica de la Recerca, per que pugui ser presentat a les instàncies que així ho requereixin.

Em permeto recordar-li que si en el procés d'execució es produís algun canvi significatiu en els seus plantejaments, hauria de ser sotmès novament a la revisió i aprovació del CER.

Atentament,



Dr. Josep Argemí
President CER-UIC

ANEXO 5. Póster presentado en congreso

Conseuro2013

COLOR STABILITY OF TWO CALCIUM SILICATE-BASED MATERIALS,

WHITE MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE AND BIODENTINE

Marta Vallés¹, Montserrat Mercader¹, Fernando Durán-Sindreu¹, José Luis Bourdelende² & Miguel Roig¹

¹Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, Sant Cugat del Valles, Barcelona, Spain.
²Department of Chemistry, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, Barcelona, Spain

OBJECTIVE

Difficult handling, long setting time, and potential discoloration are important drawbacks of white mineral trioxide aggregate (WMTA). The development of Biodentine, a recently developed calcium silicate-based material, has overcome some of these shortcomings; however, there are no available data on its color stability. A previous study showed that WMTA discolors under light irradiation in an oxygen-free environment.

The aim of this study is to evaluate the color stability of ProRoot WMTA and Biodentine.

METHODS

The figure shows the packaging for Biodentine and ProRoot WMTA, followed by two photographs of the materials being applied to a tooth. Below this, five experimental groups are detailed:

- GROUP 1:** n = 5. Biodentine + Glycoline 15 min. + 120° light irradiation.
- GROUP 2:** n = 5. Biodentine + Glycoline 15 min.
- GROUP 3:** n = 5. ProRoot WMTA + NO Glycoline + 120° light irradiation.
- GROUP 4:** n = 5. ProRoot WMTA + Glycoline 15 min.
- GROUP 5:** n = 5. ProRoot WMTA + NO Glycoline.

RESULTS

The figure displays color stability results for five groups. Each group is represented by a 2x2 grid of color patches. The top row shows the material before irradiation, and the bottom row shows it after irradiation. The groups are:

- GROUP 1:** Biodentine + Glycoline 15 min. + 120° light irradiation. Initial L*a*b* (18.20, 14.07, 12.17), Final L*a*b* (12.07, 11.21, 12.17).
- GROUP 2:** Biodentine + Glycoline 15 min. Initial L*a*b* (15.22, 11.66, 11.66), Final L*a*b* (15.22, 11.66, 11.66).
- GROUP 3:** ProRoot WMTA + NO Glycoline + 120° light irradiation. Initial L*a*b* (18.20, 14.07, 12.17), Final L*a*b* (21.11, 17.71, 13.71).
- GROUP 4:** ProRoot WMTA + Glycoline 15 min. Initial L*a*b* (18.20, 14.07, 12.17), Final L*a*b* (18.20, 14.07, 12.17).
- GROUP 5:** ProRoot WMTA + NO Glycoline. Initial L*a*b* (18.20, 14.07, 12.17), Final L*a*b* (18.20, 14.07, 12.17).

CONCLUSION

The ProRoot WMTA showed dark discoloration after light irradiation in an oxygen-free environment, statistically significantly different from Biodentine.

Biodentine maintained color stability in all conditions over time.

The clinical application of ProRoot WMTA in an aesthetically sensitive area should be avoided because of the risk of discoloration, the use of Biodentine could offer a viable alternative.

REFERENCES

1. Vallés M, Mercader M, Sindreu F, Durán F, Bourdelende J, Roig M. Color stability of two calcium silicate-based materials: white mineral trioxide aggregate and Biodentine. J Endod. 2014;40(12):1911-1915.
2. Durán F, Mercader M, Vallés M, Sindreu F, Bourdelende J, Roig M. Color stability of two calcium silicate-based materials: white mineral trioxide aggregate and Biodentine. J Endod. 2014;40(12):1911-1915.
3. Vallés M, Mercader M, Sindreu F, Durán F, Bourdelende J, Roig M. Color stability of two calcium silicate-based materials: white mineral trioxide aggregate and Biodentine. J Endod. 2014;40(12):1911-1915.
4. Vallés M, Mercader M, Sindreu F, Durán F, Bourdelende J, Roig M. Color stability of two calcium silicate-based materials: white mineral trioxide aggregate and Biodentine. J Endod. 2014;40(12):1911-1915.
5. Vallés M, Mercader M, Sindreu F, Durán F, Bourdelende J, Roig M. Color stability of two calcium silicate-based materials: white mineral trioxide aggregate and Biodentine. J Endod. 2014;40(12):1911-1915.

ANEXO 6. Tabla de acrónimos

ACRÓNIMOS

| | |
|--------------------------------|--|
| MTA | Agregado de Trióxido Mineral |
| WMTA | Agregado de Trióxido Mineral Blanco |
| GMTA | Agregado de Trióxido Mineral Gris |
| CSM | Materiales a base de Silicato Cálcico |
| PC | Cemento Portland |
| AMTA | Agregado de Trióxido Mineral Angelus® |
| AGMTA | Agregado de Trióxido Mineral Angelus® Gris |
| AWMTA | Agregado de Trióxido Mineral Angelus® Blanco |
| CIELAB | Comisión Internacional de L´Eclairage, coordenadas L, a, b |
| Bi ₂ O ₃ | Trióxido de Bismuto |
| PC + BO | Cemento Portland con Óxido de Bismuto |
