Determinación de la profundidad de curado y propiedades mecánicas de composites dentales fotopolimerizables experimentales

Veranes-Pantoja,
Yaimarilis

Depth of cure and mechanical properties of experimental light-cured composite resins

Veranes-Pantoja, Yaimarilis*

Aufran-Mateu, Fernando**

Álvarez-Brito, Rubén*

Gil-Mur, Francisco Javier***

*Centro de Biomateriales. Universidad de La Habana. Ciudad de La Habana.

**Gabinete Dental "Fernando Aufran". Barcelona.

***Catedrático de Universidad. Grupo de Biomateriales. Dpto. Ciencia de los Materiales. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Resumen: En el presente trabajo se estudian la resistencia a la compresión, módulo en compresión, resistencia a la compresión diametral, dureza, desgaste y profundidad de curado de seis formulaciones de composites dentales fotopolimerizables. Los composites fueron preparados usando como matrices combinaciones de Bis-GMA/DMATEEG, Bis-GMA/MPS, Bis-GMA/DMATEEG/MPS. Como relleno se utilizó cuarzo del yacimiento „El Cacahual% y la combinación de cuarzo/aerosil 200. La resina Venus™ Heraus Kulzer fue utilizada como material de referencia. La profundidad de curado se determinó según norma ISO 4049. Para las determinaciones de la resistencia a la compresión, módulo en compresión, resistencia a la compresión diametral se utilizó la máquina universal de ensayos BIONIX. El desgaste se realizó en una máquina pin-on-disc, utilizando papeles abrasivos de SIC 1200 y 600 grip. Se obtuvo que las formulaciones con mejores propiedades son aquellas que tienen como sistema monomérico el Bis-GMA/DMATEEG/MPS..

Palabras claves: Composites dentales, Propiedades mecánicas, Resistencia a la compresión, Compresión diametral, Desgaste, Dureza, Profundidad de curado.

Abstract: The aim of this study was to determine the compressive strength, compressive modulus, diametrical tensile strength, Vickers hardness, wear resistance and depth of cure of six light-cured dental composites. The matrix were Bis-GMA/TEEGDMA, Bis-GMA/MPS, Bis-GMA/TEEGDMA/ MPS. Quartz of «El Cacahual» and combinations quartz-aerosil 200 were used as inorganic fillers. It was used as reference material the commercial resin Venus™ Heraus Kulzer. Depth of cure was determined according to ISO 4049. For the determinations of the compressive strength, module, diametrical tensile strength the universal machine of rehearsals BIONIX was used. The waste was carried out in a machine pin-on-disc, using abrasive papers of SIC 1200 and 600 grip. As a result, the formulations with better properties are those that have as monomeric system the Bis-GMA/TEEGDMA/MPS.

Keywords: Dental composites, Mechanical properties, Compressive strength, Diametrical tensile strength, Wear, Hardness.

Correspondencia

Francisco Javier Gil Mur
CREB. Centro de Investigación en Ingeniería Biomédica.
Dept. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.
ETSEIB-Universidad Politécnica de Cataluña.
Av. Diagonal 647. 08028-Barcelona.
E-mail: francesc.xavier.gil@upc.es

Fecha recepción	Fecha última revisión	Fecha aceptación
08-6-2004	19-10-2004	30-12-2004

BIBLID [1138-123X (2005)10:2; marzo-abril 125-240]

Veranes-Pantoja Y, Aufran-Mateu F, Álvarez-Brito R, Gil-Mur FJ. Determinación de la profundidad de curado y propiedades mecánicas de composites dentales fotopolimerizables experimentales. RCOE 2005;10(2):151-170.

Introducción

Las resinas compuestas fotopolimerizables tienen la ventaja de presentar buena estética y son capaces de enlazarse con la estructura del diente^{1**,2**}. El uso de estos materiales para la restauración de dientes posteriores se ha ido incrementando en los últimos años como alternativa a la amalgama. La limitación de su uso en el sector posterior radica en sus insuficientes propiedades mecánicas. Las causas fundamentales de los fallos de las resinas compuestas indicadas para restauraciones posteriores son la contracción al polimerizar y la baja resistencia al desgaste, que trae consigo la pérdida de la forma anatómica bajo la abrasión en el proceso masticatorio, fractura en los márgenes y dentro del cuerpo de la restauración^{3*,4,5*,6}.

El contenido de relleno, tamaño y distribución de las partículas de relleno tienen gran influencia en las propiedades físico-mecánicas de estos materiales. La fracción en volumen de los rellenos y el nivel de carga en los composites está relacionado con la resistencia del material, módulo elástico, así como con la resistencia a la fractura⁷⁻⁹. La resistencia al desgaste de las resinas compuestas se ha mejorado significativamente con la disminución del tamaño promedio de las partículas y el incremento de la carga de relleno^{3*,9,10*}, ya que la alta velocidad de desgaste está relacionada con la presencia de partículas grandes¹¹. Por esta razón, incrementando el contenido de relleno y la calidad del mismo se logran resinas compuestas con buenas propiedades físico-mecánicas que les permiten ser indicadas para restauraciones en los dientes poste-

Figura 1. Estructuras de los monómeros utilizados, A. Bis-GMA, B. DMTEEG y C. MPS.

riores. Con los composites dentales de relleno híbridos se logran buenas propiedades físico-mecánicas^{12,13}.

Las resinas compuestas fotopolimerizables se caracterizan por una alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la compresión diametral. La importancia de las propiedades de compresión diametral de las resinas compuestas ha sido enfatizada durante los últimos años; sin embargo, la relación entre estas dos propiedades no ha sido extensamente estudiada, de hecho, no se ha encontrado correlación entre la resistencia a la compresión y a la compresión diametral^{14, 15}.

Otro de los factores que influye en la calidad de los composites está relacionado con la interacción química del relleno con la matriz orgánica. Para lograr esto, el relleno es tratado con agentes de acoplamiento y generalmente se realiza en dos pasos, ya sea por contacto en seco o en disolución. Venhoven y col^{8,16**} sugirieron también, la silanización en un solo paso, que consiste en la incorporación del γ -metacriloxipropil trietoxisilano (γ -MPS) como integrante de la parte orgánica, como diluyente del

monómero base, 2-bis-[p-(2-hidroxi-3-me-tacriloxipropoxi)fenil] propano (Bis-GMA), debido a que posee buena miscibilidad con el monómero base y baja viscosidad. La presencia en esta molécula de los grupos trimetoxisilanos (fig. 1) permite su acción como agente acoplante al ponerlo en contacto con el relleno. Se ha demostrado que este tratamiento es tan eficaz como el tradicional en cuanto a lograr la unión necesaria entre la matriz y el relleno. Sin embargo, al producirse las reacciones de condensación entre el relleno y el γ -MPS se forma metanol, el cual puede propiciar la formación de poros y afectar así a las propiedades físico-mecánicas del material¹⁷. Además, cuando el sistema de monómeros contiene γ -MPS como diluyente, la conversión es menor que para el sistema Bis-GMA/ dimetacrilato de tetraetilenglicol (DMATEEG), pues al parecer parte del γ -MPS se consume en la reacción con el relleno¹⁸.

Por esta razón decidimos trabajar con un tercer sistema monomérico consistente en la mezcla de Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS, donde se añade menor cantidad de silano, de manera

tal que funcione preferentemente como agente de acoplamiento. Con este tercer sistema se intentan disminuir los efectos negativos que ocasiona la inclusión directa del γ -MPS como diluyente en la matriz y aprovechar sus beneficios como agente de enlace, que hacen que la superficie del relleno se compatibilice con la matriz y el relleno se embeba mejor en la matriz.

El presente trabajo tiene como objetivo la determinación de la profundidad de curado, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad en compresión, resistencia a la compresión diametral, dureza Vickers y resistencia al desgaste de seis composites dentales fotopolimerizables, preparados con diferentes mezclas de monómeros (Bis- GMA/ DMATEEG, Bis- GMA/ MPS y Bis- GMA/ DMATEEG/ MPS).

Material y método

Preparación de los composites

Los monómeros utilizados en la preparación de los composites están representadas sus formulaciones en la figura 1, siendo:

- 2-bis-[(p-(2-hidroxi-3-metacriloxipropoxi)fenil)]propano, Bis-GMA, (Nupol),
- dimetacrilato de tetraetilenglicol, DMATEEG, (Merck) y
- γ -metacriloxipropil trietoxisilano, γ -MPS, (Aldrich).

Como relleno se utilizaron cuarzo del yacimiento «El Cacahual», suministrado por el Laboratorio José Isaac del Corral, con el de 99,5 % de pureza, tamaño medio menor de 30 μ m y la mezcla de cuarzo/ 8% de aerosil 200 (Degussa.SA). El sistema iniciador fue

Tabla 1. Composición de las resinas compuestas estudiadas

Código	Bis-GMA (% en peso)	DMTEEG (% en peso)	g-MPS (% en peso)	Rellenos
TC	60	40	-	
MC	60	-	40	77% cuarzo (<30mm)
TMC	60	30	10	
TA [®]	60	40	-	63% cuarzo y aerosil
MA [®]	60	-	40	(0,01-0,04 mm, 8%)
TMA [®]	60	30	10	
COM Venus TM	75	25 DMTEEG	-	78% aluminosilicato de bario (0,7-2 μ m) y sílice altamente

el par canforquinona, (Aldrich) y N dimetilaminoetilo, DMAEM (Aldrich) en concentración de 0,5% en peso.

La resina comercial VenusTM de Heraeus Kulzer (A3.5 lote 020022) fue utilizada como material de referencia. Para el curado de las resinas se utilizó una lámpara de luz halógena (Dentistry SpectrumTM).

Hubo siete grupos de estudio en función de las combinaciones de monómeros utilizados. La composición de las formulaciones estudiadas se muestra en la tabla 1.

Profundidad de curado

La determinación de la profundidad de curado se realizó según la norma ISO 4049¹⁹. Se prepararon tres probetas de los composites en moldes metálicos de 4 mm de diámetro x 6 mm de altura. Las muestras se irradiaron 40 segundos por una de las caras, se retiraron del molde eliminando con ayuda de una espátula plástica la pasta que no polimerizó. Se midió la altura con un micrómetro (0,01 mm de precisión) y se dividió por dos el valor obtenido.

Resistencia la compresión y a la compresión diametral

Para cada ensayo se prepararon 10 probetas de los materiales descritos en la tabla 1, en moldes de teflón de 4 mm de diámetro x 8 mm de altura y 6 mm de diámetro x 3 mm de altura, para compresión y compresión diametral, respectivamente²⁰. Las muestras fueron irradiadas 40 segundos por cada cara y almacenadas a 37°C en agua destilada durante 7 días, para su posterior ensayo en la máquina universal BIONIX. La célula de carga fue de 25 kN y la velocidad de 1mm/min.

Dureza Vickers

Se prepararon discos de 6 mm de diámetro x 2 mm de espesor que se incrustaron en resina epoxi (RESIPOL 9944, lote 2033101) y fueron pulidos con papel de SiC de 400, 600 y 1200 y alúmina de 0,05 μ m en la pulidora (MECAPOL 2313). La dureza fue determinada en el microdurómetro AKASHI MVK-H0, aplicando una carga de 1 Kg. durante 15 segundos. Se realizaron 10 indentaciones por muestra.

Tabla 2. Resultados de la profundidad de curado, resistencia a la compresión, módulo en compresión y resistencia a la compresión diametral de las resinas

Formulaciones	Pc±Sd (mm)	Rc±Sd (MPa)	Rcd±Sd (MPa)	E±Sd (GPa)
TC	2,76±0,01	130±11	19±2	54±9
MC	1,91±0,04	148±32	29±3	34±9
TMC	2,98±0,01	204±14	41±6	48±5
TA8	2,65±0,06	84±10	24±2	23±5
MA8	1,45±0,09	134±19	23±2	18±4
TMA8	2,96±0,01	157±15	33±4	25±3
COM	2,06±0,03	280±19	40±2	-

Desgaste

Para el ensayo de desgaste se prepararon tres probetas de 4 mm de diámetro x 8 mm de altura. El desgaste de los composites se realizó en una máquina pin-on disk, utilizando dos papeles abrasivos de SiC 600 y 1200 grip, con velocidad de 200 rpm. Como fluido lubricante se utilizó solución de Hanks (Sigma- Aldrich, H8264, lote 12k 2314). La distancia recorrida

fue de 2500 m (10472 ciclos, diámetro de 40 mm), la lectura se realizó cada 2085 ciclos. La carga aplicada fue de 5 N. La profundidad del desgaste (H) se calcula según la ecuación:

$$H = (m_1 - m_2) 1000 / \rho S$$

Donde, m_1 es la masa en mg antes del desgaste, m_2 es la masa en mg después del desgaste, ρ es la densidad del material y S el área de las probetas.

Análisis de la microestructura de la superficie

Para el análisis de la microestructura de los materiales después del ensayo de desgaste con papel abrasivo de 600 grip, se utilizó el microscopio electrónico de barrido SEM, ZEISS DSM-950.

Análisis estadístico

Los resultados fueron procesados estadísticamente por comparación de medias y varianzas empleando los estadígrafos "t" de Student y "F" de Fisher con un 99% de confianza. Para todos los casos se reporta la media y la desviación estándar (Sd).

Resultados

Preparación de los composites

Todas las formulaciones, después de polimerizadas, presentaron coloración adecuada para el uso que se pro-

Figura 2. Resistencia a la compresión de las resinas.

Figura 3. Resistencia a la compresión diametral de las resinas.

Figura 4. Dureza Vickers.

Figura 5. Desgaste usando dos papeles abrasivos.

pone. Las formulaciones que contienen γ -MPS como diluyente incorporan mejor el relleno y son más fluidas. Las resinas preparadas con la mezcla de los tres monómeros son menos fluidas que las preparadas con MPS y mucho más que las preparadas con el sistema comercial.

Profundidad de curado

Los resultados de la profundidad de curado (Pc) de las formulaciones estudiadas se muestran en la tabla 2.

Los valores de profundidad de curado varían entre 1,45 mm y 2,98 mm. Los mayores valores de esta propiedad se obtuvieron para las resinas TMC ($2,98 \pm 0,01$ mm) y TMA₈ ($2,96 \pm 0,01$ mm), los cuales difieren significativamente. Las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ MPS presentaron valores de profundidad de curado inferiores a 2 mm. La resina comercial tuvo profundidad de curado igual a $2,06 \pm 0,03$ mm.

Resistencia a la compresión y a la compresión diametral, módulos en compresión

Los resultados de la resistencia a la compresión, módulos en compresión y resistencia a la compresión diametral se muestran en la tabla 2 y en las figuras 2 y 3.

La resina comercial presentó los mayores valores de resistencia a la compresión (280 ± 19 MPa) y a la compresión diametral (40 ± 2 MPa). La resistencia a la compresión de la resina TMC (204 ± 14 MPa) difiere significativamente de las resinas TC (130 ± 11 MPa) y MC (148 ± 32 MPa); estas últimas no difieren entre sí.

La formulación con el sistema Bis-GMA/ DMATEEG presentó la menor resistencia a la compresión (84 ± 10 MPa). No existieron diferencias significativas entre las resinas MA₈ (134 ± 19 MPa) y TMA₈ (157 ± 15 MPa).

En cada grupo, a los composites preparados con el sistema Bis-GMA/

MPS le correspondieron los menores módulos, MA₈ con 18 ± 4 GPa y MC 33 ± 9 GPa. Los módulos de elasticidad de las formulaciones TC (54 ± 9 GPa) y TMC (48 ± 5 GPa) no difirieron significativamente. De igual manera se comportaron los valores para las formulaciones TA₈ (23 ± 5 GPa) y TMA₈ (25 ± 3 GPa).

La resistencia a la compresión diametral de la resina TMC (41 ± 6 MPa) no difirió significativamente de la resina TMA₈ (33 ± 4 MPa). Los valores de esta propiedad para las resinas TC (19 ± 2 GPa) y MC (29 ± 3 MPa) difirieron significativamente, mientras que para TA₈ (24 ± 2 MPa) y MA₈ (23 ± 2 MPa) no difirieron significativamente.

Dureza

En la figura 4 se muestran los resultados de dureza Vickers obtenidos para las formulaciones estudiadas. Las resinas preparadas con el sistema Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS presentaron mayor dureza; de ellas, la que contie-

Figura 6. Micrografías SEM de los composites preparados con cuarzo después del desgaste: a) TC, b) MC, c) TMC.

Figura 7. Micrografías SEM de los composites preparados con relleno de híbrido (8% de aerosil) después del desgaste: a) TA8, b) MA8, c) TMA8.

ne el relleno híbrido, TMA₈ (174 ± 11 HV) tuvo una dureza similar a la de la resina comercial (192 ± 21 HV).

La dureza de la resina TMC (77 ± 6 HV) difirió significativamente de la TMA₈. La dureza de TC (66 ± 5 HV) difirió de TA₈ (37 ± 4 HV). Para el caso de las resinas MC (52 ± 16) y MA₈ (62 ± 10 HV) no hubo diferencias significativas en esta propiedad.

Desgaste y microscopia

Los resultados del desgaste de los materiales usando dos papeles abrasivos se muestran en la figura 5. Las formulaciones con mayor resistencia al desgaste son las preparadas con el sistema Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS (TM). La resina comercial experimentó mayor desgaste que las formulaciones estudiadas.

Las formulaciones con el sistema Bis-GMA/ DMATEEG experimentaron el mayor desgaste. De ellas la que contiene cuarzo (TC) es la que más se desgasta, seguidas de las formulaciones con el sistema Bis-GMA/ MPS.

No se observaron diferencias significativas en el desgaste de los sistemas MC y TMC. El desgaste de las resinas MA₈ y TMA₈ no difirió significativamente cuando se utilizó el papel de 1200 grip.

Las micrografías de los composites cuyos rellenos son cuarzo, la combinación que contiene 8% de aerosil y la resina comercial después del ensayo de desgaste con papel de 600 grip se muestran en la figura 6 (para los composites preparados con cuarzo después del desgaste fig.6a: TC, fig. 6b: MC y fig. 6c: TMC), la figura 7 (com-

posites preparados con relleno de híbrido después del desgaste fig. 7a: TA, fig.7b: MA y fig.7c: TMA); la figura 8 corresponde a la resina comercial después del desgaste.

Se logra mejor pulido para las formulaciones preparadas con los sistemas Bis-GMA/ MPS y Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS y la combinación de cuarzo/ aerosil, que son los que experimentaron menor desgaste en todos los casos.

Discusión

La profundidad de curado es una medida de la eficiencia de la polimerización, ya que el material que quede sin polimerizar puede migrar al medio bucal y producir reacciones alérgicas

en algunos pacientes, así como estimular el crecimiento de bacterias alrededor de la restauración^{11,21,22}. La norma ISO 4049 exige que estos materiales deben tener profundidad de curado mayor de 2 mm y la pérdida del material sin polimerizar debe ser inferior a 0,5 mm. Cumplen con los dos requerimientos de la norma las formulaciones preparadas con los sistemas Bis-GMA/ DMATEEG y Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS (tabla 2). Los mayores valores se obtuvieron para las resinas TMC (2,98 mm) y TMA₈ (2,96 mm). La resina comercial (2,06 mm) cumplió solo con el primer requerimiento de la norma, la matriz en este caso estaba formada por Bis-GMA y dimetacrilato de trietilenglicol, en proporción diferente a la de los composites estudiados.

Las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ MPS no cumplieron con ninguno de los dos requerimientos, al presentar valores de profundidad de curado inferiores a 2 mm, por lo que resultan inadecuadas para el fin que se persigue.

En estudios anteriores¹⁸, se demostró que si bien el uso de MPS como diluyente permite obtener formulaciones con adecuadas características de fraguado, comparables con otros materiales donde se utiliza el DMATEEG, la velocidad de polimerización del sistema T (Bis-GMA /DMATEEG) es dos veces mayor que para el sistema Bis-GMA/ MPS. Estos resultados se encontraron tanto para los composites preparados con otros rellenos, como para las matrices, aunque en estas, la diferencia es menos significativa.

El γ -MPS favorece la interacción matriz-relleno, ya que en su estructura (fig. 1), por un extremo, presenta

un grupo metacrílico que es compatible con la fase orgánica y por el otro, grupos siloxanos [-Si(OCH₃)₃] capaces de interactuar con los grupos hidroxilos de la superficie del relleno. Pensamos que en los composites preparados con el sistema M, una parte del MPS debe consumirse en la silanización del relleno, por lo que su concentración en la matriz estaría disminuida, de ahí que el porcentaje de conversión (22% a los 30s) sea menor y estas formulaciones presenten los menores valores de profundidad de curado.

Las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS presentaron profundidad de curado superior a las preparadas con el sistema convencional (Bis-GMA/ DMATEEG) y con el sistema M. En principio, el sistema Bis-GMA/ TEEDGMA/ MPS supera las limitaciones de ambos. Para este sistema no se tiene aun el estudio cinético, pero la conversión debe ser mayor y la compatibilidad del relleno con la matriz mejor aparentemente, pues el DMATEEG actuaría como diluyente. Con él se logra mayor entrecruzamiento, por ser un monómero bifuncional que polimeriza por los dos grupos metacrílicos y el MPS actuaría como agente de acoplamiento entre la matriz y el relleno.

Otra propiedad importante de los materiales restauradores, entre ellos las resinas compuestas fotocuradas, es su resistencia. Los datos generalmente incluyen resistencia a la compresión, a la compresión diametral y flexión. Estas propiedades están estrechamente relacionadas con el contenido de relleno y composición de las resinas, diferentes tiempos de curado y procedimientos de empaqueta-

miento^{3*,9,18}. Las propiedades mecánicas de un composite dental permiten predecir su comportamiento en el medio bucal, teniendo en cuenta que estos materiales no van a funcionar en condiciones estáticas, sino que van a estar sometidos continuamente a cargas oclusales en dicho medio, por los efectos de la masticación.

En los composites estudiados (figs. 2 y 3) se observó que, tanto para la resistencia a la compresión como para la resistencia a la compresión diametral había un ligero aumento de la propiedad con relación al sistema monomérico en el siguiente orden T < M < TM. Es válido señalar que para los composites preparados con el sistema TM se obtuvieron los mayores valores de profundidad de curado. En el caso del sistema M, a pesar de presentar valores pequeños de profundidad de curado, debe incidir positivamente la interacción que produce el silano entre el relleno y la matriz.

Para las resinas con relleno híbrido (combinación cuarzo/ 8% de aerosil) la resistencia a la compresión es menor que la de las resinas preparadas con cuarzo, lo que resulta razonable si se tiene en cuenta que a estas corresponde el menor contenido de relleno (63% en peso).

A la resina comercial Venus™, corresponden los mayores valores de resistencia a la compresión y a la compresión diametral. Esta resina contiene un 78% en peso (61% en volumen) de carga inorgánica con partículas entre 0,01-2 μ m (tabla 1).

El módulo elástico del esmalte (45 GPa) es sensiblemente superior al de la dentina (15- 18 GPa). La dentina es más flexible^{23,24}, lo que favorece la absorción de tensiones. Los módulos

elásticos en compresión van desde 17 a 53 Gpa; los valores mas adecuados son los más cercanos al valor de la dentina, ya que estas dos estructuras tendrían similar rigidez y por tanto, la deformación elástica ante cargas externas se realizará en la misma magnitud en el diente y en el material, lo que mejora el comportamiento mecánico en general. Los módulos de elasticidad de las resinas cuyo relleno es cuarzo son mayores que los de la resinas que contienen relleno híbrido. O sea, son más rígidas, esto se debe a que el contenido de relleno en ellas (77% en peso) es mayor, lo que concuerda con lo reportado por otros autores^{24,25,26}. En cada grupo, las resinas preparadas con el sistema M, son menos rígidas, lo que se atribuye al γ -MPS usado como diluyente.

La resistencia a la compresión diametral de las resinas compuestas es, en todos los casos, inferior a la compresiva, tanto en el tejido dentario (esmalte y dentina) como en los materiales de obturación y se considera adecuada para valores superiores a 30 MPa. Sólo las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ DMA-TEEG/ MPS presentaron valores de resistencia a la compresión diametral superiores a este. La resistencia a la compresión diametral de la resina TMC fue similar a la de la resina comercial y la resina MC tuvo valor cercano al reportado (29 ± 3 MPa).

La dureza es la resistencia que opone un material a ser penetrado por otro. Lógicamente ante la colisión de dos materiales el más duro desgastará al más blando. En condiciones normales la dentina está cubierta de esmalte²³ y esa es la razón por la que el esmalte (325HV) es más duro que la

Figura 8. Micrografías SEM de la resina comercial VenusTM después del desgaste.

dentina (75HV). De los composites estudiados, el de mayor dureza (fig. 4) fue el que contiene 8% de aerosil y el sistema Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS (TMA8); su dureza es similar a la de la resina comercial. La formulación TMA8 contiene 8% de partículas de $0,04 \mu\text{m}$ y 55% de cuarzo con tamaño de hasta $30 \mu\text{m}$ y en ella se logra disminuir el espacio inter-partículas, logrando mejor empaquetamiento y mayor homogeneidad (fig. 7c), razón que pudiera explicar su mayor dureza.

Algunas de las propiedades mecánicas son sensibles a cambios en el tamaño de partículas, como es el caso de la resistencia al desgaste. El tipo de relleno, tamaño promedio de las partículas, su fracción volumétrica y espacio inter-partículas afectan considerablemente la resistencia al desgaste de los composites. De ahí que composites con partículas pequeñas y

mayor fracción de volumen sufrieran menor desgaste^{3*,8,10,27,28}.

Como se observa en la figura 5, el desgaste fue mayor cuando se utilizó papel de 600 grip y para las formulaciones preparadas con cuarzo, de ellas la de mayor desgaste es la resina TC, lo que se debe a que las partículas de cuarzo son de gran tamaño y no están enlazadas químicamente a la matriz y en el proceso de desgaste o pulido son arrancadas de la matriz, dejando huecos en la superficie de la restauración (figs. 6a y 7a), lo que resulta desfavorable ya que propicia la acumulación de bacterias, formación de pequeñas grietas y el deterioro en general de la restauración.

El mayor desgaste correspondió a la resina comercial, para la cual se obtuvieron buenos resultados del resto de propiedades mecánicas estudiadas y está formada por una alta

fracción en volumen del relleno y partículas pequeñas, por lo que esperamos menor desgaste. No tenemos datos sobre el posible tratamiento superficial del relleno, quizás ahí pudiera estar la causa de este inesperado comportamiento. En la figura 8 se presenta la imagen SEM después del desgaste; la distribución de partículas resulta bastante homogénea y con pequeños huecos de donde han saltado las partículas de mayor tamaño.

Las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ MPS (MC y MA₆) experimentaron menor desgaste que las que contenían Bis-GMA/ DMATEEG y de ellas el desgaste siempre es menor en las que contienen el relleno híbrido (figs. 6b y 7b). Esto puede

explicarse por la presencia del γ -MPS en la matriz que realiza el efecto de agente de acoplamiento antes descrito, y que mejora las propiedades mecánicas del composite, lo que coincide con estudios anteriores^{10*}.

Se logró mejor pulido para las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ DMATEEG/ MPS (figs. 6c y 7c), en especial para el composite TMA₈ donde se logró mayor integración de las partículas del relleno a la matriz orgánica.

Conclusiones

Las formulaciones cuya matriz es Bis-GMA/ TEEDGMA/ MPS presentan los mayores valores de profundidad

de curado, dureza, resistencias a la compresión y a la compresión diametral y menor desgaste de entre los materiales fotopolimerizables experimentales utilizados. El composite comercial fue el que mejores propiedades mecánicas presentó.

Agradecimientos

Agradecemos la financiación de la AECI para la realización de este trabajo, la ayuda brindada por especialistas del grupo de biomateriales del departamento de ciencia de los materiales de la Universidad Politécnica de Cataluña y al Dr. José Ángel Delgado García-Menocal del centro de biomateriales de la Universidad de La Habana

Bibliografía recomendada

Para profundizar en la lectura de este tema, el/los autor/es considera/an interesantes los artículos que aparecen señalados del siguiente modo: *de interés **de especial interés.

1**. Craig RG. **Restorative dental materials**. 10th ed. St. Louis, Missouri: C. V. Mosby Company, 1997.

Corresponde a un libro en el que se pueden consultar los materiales dentales para la restauración, se explican claramente su obtención, caracterización y propiedades tanto físicas como mecánicas. Relaciona muy bien la naturaleza de los materiales con sus propiedades y sus aplicaciones en Odontología.

2**. Sideridou I, Trserky V, Papanastasiou G. **Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimetacrylate-based dental resins**. *Biomaterials* 2003;24:655-65.

Es un estudio muy profundo sobre la adsorción de agua, solubilidad y las propiedades mecánicas de las resinas dentales basadas en dimetacrilato y polimerizadas mediante luz. Hace especial énfasis en el módulo de elasticidad y por tanto de las transferencias de cargas mecánicas al diente en las diferentes condiciones de solubilidad.

3*. Manhart J, Kunzmann KH, Chen HY, Hickel

R. **Mechanical properties and wear behaviour of light-cured packable composites resins**. *Dental Materials* 2000;16:33-40.

Se estudian las propiedades mecánicas de materiales compuestos curados mediante luz y en especial el comportamiento a desgaste. Se aprecia como el contenido de material inorgánico mejora el comportamiento al desgaste de las resinas. También se puede apreciar el desgaste de la parte orgánica a diferentes tensiones aplicadas.

4. Leinfelder KF, Sluder TB, Santos JF, Wall J. **Five-year clinical evaluation of anterior and posterior restorations of composite resins**. *Oper Dent* 1980;3:276-81.

5*. Lutz F, Phillips RW, Roulet JF, Setcos JC. **In vivo and in vitro wear of potential posterior composites**. *J Dent Res* 1984;63:914-20.

Es un trabajo excelente de diferentes materiales compuestos colocados en animales y su corrosión con los ensayos *in vitro* realizados. De este trabajo se pueden obtener los mecanismos más importantes del desgaste de los materiales

de restauración dental y quedan confirmados con los estudios en animales de experimentación.

6. Roulet JF. **The problems associated with substituting composite resins for amalgam: a status report on posterior composite**. *J Dent* 1988;16:103-13.

7. Gladys S, Van MB, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. **Comparative Physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin restorative materials**. *J Dent Res* 1997;76:883-94.

8. Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. **Effect of filler content and size on properties of composites**. *J Dent Res* 1985;64:1396-401.

9. Braem M, Finger W, van Dorem VE, Lambrechts P, Vanherle G. **Mechanical properties and filler fraction of dental composite**. *Dent Mat* 2001;34:345-9.

10*. Venhoven BAM, de Gee AJ, Werner A, Davidson CL. **Influence of filler parameters on the**

- mechanical coherence of dental restorative resin composites.** *Biomaterials* 1996;17:735-40. Se estudian los factores de tecnología de producción de los materiales compuestos en las propiedades mecánicas de los materiales de restauración dental. Se estudian los factores de porcentajes de materiales de carga inorgánicas, su morfología, su morfometría y su orientación respecto a la acción del desgaste.
11. Leinfelder K. **Posterior composites. State-of-the-art clinical applications.** *Dent Clin North Am* 1993;37:411-8.
 12. Leinfelder K. **Posterior composite resins: the materials and their clinical performance.** *J. Am Dent Assoc* 1995;126:663-76.
 13. Perry R, McGary P, Kugel G. **One-year evaluation of a hybrid composite for posterior restorations.** *J Dent Res* 1995;74:404-14.
 14. Brosh T, Ganor Y, Belov I, Pilo R. **Analysis of strength properties of light-cured resin composites.** *Dental Materials* 1999;15:174-9.
 15. Chung KH, Greener EH. **Correlation between degree of conversion filler concentration and mechanical properties of posterior composites resins.** *Journal Oral Rehabilitation* 1990; 17:487-94.
 - 16**. Venhoven BA, de Gee AJ y cols. **Silane treatment of filler and composite blending in a one-step procedure for dental restoratives.** *Biomaterials* 1994;15:123-9. Es un excelente trabajo sobre los agentes de acoplamiento mediante silanos con el fin de unir la matriz orgánica con la carga inorgánica y mejorar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos. Se estudian las diferentes propiedades mecánicas de los materiales compuestos con diferentes proporciones de silano.
 17. Davidenko N, García R, Sastre R. **Composites dentales: efecto de la interfase y de otros factores sobre su durabilidad.** *Rev Plásticos Modernos* 2001;81:525-42.
 18. Davidenko N, Sastre R, Revista CINC Ciencias Químicas 2003;12:65-72.
 19. ISO 4049: 2000 E. **Dentistry-Polymer-based filling, restorative and lusting materials, 3rd edition, 2000.**
 20. ISO 604: 1996. **Plásticos. Determinación de las propiedades de compresión,** Editada por AENOR, 1997.
 21. Hansel C, Leyhausen G, Mai UEH, Geurtsen W. **Effects of various resin (co)monomers and extracts on two caries-associated micro-organisms *in vitro*.** *Dent Mat* 1998;77:60-7.
 22. Spahl W, Budzikiewicz H, Geurtsen W. **Extractable residual monomers from various resin materials- a qualitative study.** *J Dent Res* 1994;73:295-99.
 23. Díaz J, Abalos C, Sánchez MA y cols. **Análisis comparativo de las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales de obturación.** *Dentum* 1999;1:17-24.
 24. Arcis RW, López A, Toledano M y cols. **Mechanical properties of visible light-cured resins reinforced with hydroxiapatite for dental restorations.** *Dent Mat* 2002;18:49-57.
 25. Cheol P, Robertson R. **Mechanical properties of resin composites with filler particles aligned by an electric field.** *Dent Mat* 1998;14:385-93.
 26. Williams G, Lambrechtes P, Braem M, Celis JP, Vanherle G. **A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics.** *Dent Mat* 1992; 8:310-9.
 27. Lang B, Jaarda M, Wang R. **Filler particle size and composite resin classification systems.** *J Oral Rehabil* 1999;19: 569-84.
 28. Cordon J, Ferracane JL. ***In vitro* wear of composite with varied cure, filler level and filler treatment.** *J Dent Res* 1997;76:1405-11.