BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
Cerámica y Vidrio
ARTICULO

Efecto de la incorporación del hidrogel hidroxipropil-metacrilato sobre la propagación de grietas por fatiga en los cementos óseos acrílicos

M.P. GINEBRA, F.J.GIL, J. CLEMENT Y J.A. PLANELL
Dept. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. E.T.S.E.I.B, Universitat Politècnica de Catalunya.
Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona

En este trabajo se ha determinado la velocidad de propagación de grietas por fatiga en cementos óseos modificados con el hidrogel hidroxipropil-metacrilato (HPMA). Este compuesto se incorpora en el cemento óseo acrílico para incrementar la absorción de agua en el material con la intención de mejorar la fijación del cemento y de reducir la velocidad de propagación de grietas por fatiga debido al efecto plastificante del agua. Sin embargo, los ensayos de fatiga en medio fisiológico a 37ºC con cementos óseos acrílicos convencionales y modificados con un 25 y un 40% de HPMA, han mostrado que el cemento que no incorpora el hidrogel presenta una velocidad de propagación de grieta menor que los modificados. Este hecho se ha justificado a partir de los estudios fractográficos mediante microscopía electrónica de barrido donde se ha observado una falta de homogeneidad en la matriz del cemento, con una segregación de fases producida por la copolimerización, que facilita el crecimiento de la grieta.

Palabras clave: Cemento óseo acrílico, hidrogel, fatiga.

Fatigue crack propagation in acrylic bone cements modified with hydroxypropil methacrylate

A modified formulation for acrylic bone cement, which contains different proportions of the hydrogel hydroxypropil-methacrylate (HPMA) is proposed in order to improve prosthesis fixation and to obtain better mechanical properties in service. The specimens tested were placed in two selected storage environments, in air and in saline solution at 37ºC. The specimens were conventional acrylic bone cement and modified with 25% and 40% of HPMA. The conventional acrylic bone cements presented a fatigue crack resistance superior to the modified cements. One of the reasons of this behaviour is that with the addition of HPMA, a phases separation is observed in the matrix of the cement. The material seems not to have a good copolimerization.

Key words: Acrylic bone cement, fatigue, hydrogel.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica quirúrgica más extendida para la fijación de prótesis articulares se basa en la utilización de un cemento óseo de poli-metilmetacrilato (PMMA), que se coloca entre la prótesis metálica y el hueso (1-3). El cemento óseo acrílico se obtiene de la mezcla del monómero líquido (metacrilato de metilo) y un fino polvo blanco que es el componente polimérico (PMMA). La reacción se inicia a temperatura ambiente por la acción de una amina terciaria (DMT) sobre el productor de radicales libres: peróxido de benzoilo.

Una de las causas de aflojamiento que llevan al fallo de las prótesis articulares está en la fractura por fatiga de la capa de cemento, que presenta un comportamiento marcadamente frágil. Es un hecho conocido que la absorción de agua o fluidos fisiológicos por parte del PMMA tiene un efecto plastificante en el material, con consecuencias positivas para su comportamiento a fatiga (4). Teniendo en cuenta este resultado se ha propuesto modificar la composición del cemento óseo sustituyendo una parte del MMA por un hidrogel, el 2-hidroxipropil metacrilato (HPMA), para aumentar el porcentaje de absorción de agua, con la idea de mejorar su comportamiento a fatiga. Además, el aumento de volumen que experimenta el material al absorber una mayor cantidad de agua podría contrarrestar la contracción que sufre el PMMA durante el proceso de fraguado, permitiendo una mejor fijación del cemento.

2. MATERIALES Y METODO EXPERIMENTAL

Para determinar el efecto de la adición del HPMA sobre la propagación de grietas por fatiga en el cemento acrílico se prepararon tres series de probetas C.T. con distintos contenidos de hidrogel (0, 25 y 40% en volumen sobre la fase líquida), y se ensayaron después de conservarlas en seco a 22ºC o en solución salina a 37ºC durante distintos periodos de tiempo (1 mes o 3 meses). En la Figura 1 se muestra la geometría de la probeta C.T. empleada en este estudio. La longitud inicial de la grieta fue de 11.35 mm y la pregrieta se realizó mediante la incisión de una cuchilla de afeitar.

Los ensayos se llevaron a cabo en una Máquina servohidráulica MTS Bionix 858 con una célula de carga de 2,5 KN, con

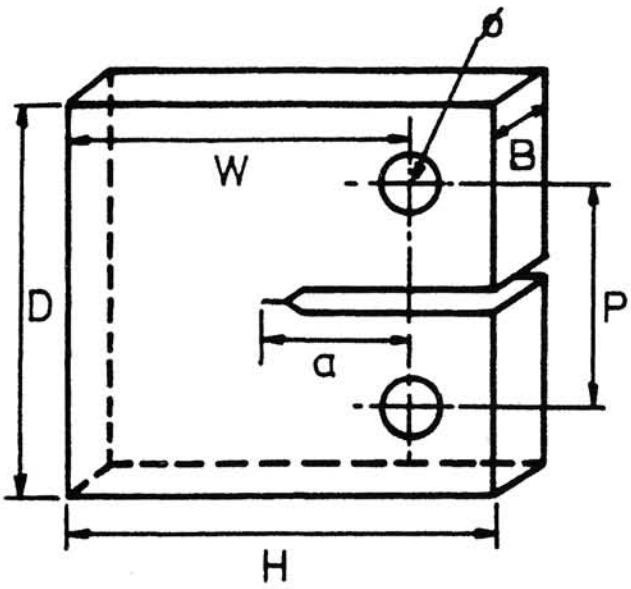

Fig. 1. *Probetas tipo compact tension (C.T.) empleadas para llevar a cabo el estudio de propagación de grietas por fatiga. Las dimensiones de las probetas fueron B=6 mm, W=23mm, D=27 mm, H=30 mm , P= 13 mm y la longitud de la grieta a=11.35 mm.*

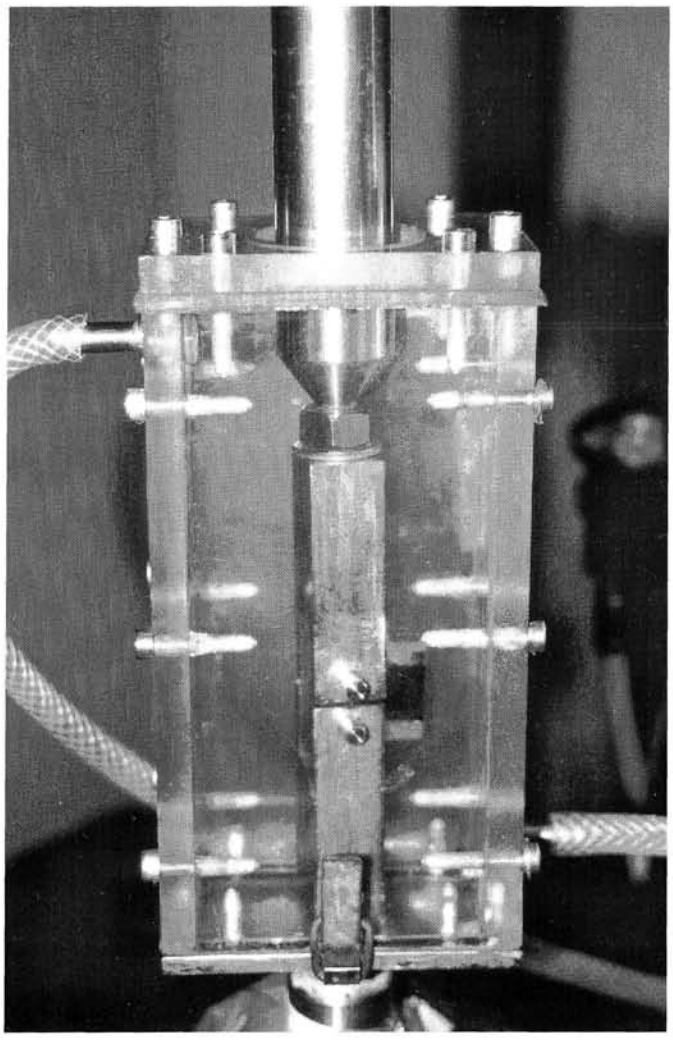

Fig. 2. *Dispositivo experimental empleado.*

control de carga, a una frecuencia de 2 Hz, aplicando ciclos tracción-tracción con R=0,33. El avance de la grieta se midió mediante un catetómetro, representándose a respecto al número de ciclos para cada serie para calcular su velocidad de propagación. Una vez verificado que la relación entre la velocidad de propagación de la grieta y el factor de intensidad de tensiones, calculado según (5) cumplía la ley de Paris-Erdogan, se calcularon los parámetros correspondientes a cada uno de los materiales ensayados. En la Figura 2 se puede apreciar el montaje experimental utilizado. Las superficies de fractura se estudiaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

En primer lugar, se ha determinó la cantidad de agua absorbida por el cemento óseo acrílico modificado con HPMA, observando que el contenido de agua se incrementa con el tiempo de permanencia en el medio fisiológico a 37ºC hasta llegar a un valor de equilibrio. La cantidad de agua absorbida en el equilibrio aumenta linealmente con el contenido de hidrogel en el cemento, como puede apreciarse en la Figura 3.

Se comprobó que para todas las muestras ensayadas, la propagación de grietas por fatiga cumple la ley de Paris-Erdogan: $da/dN = A(\Delta K_I)^m$, siendo da/dN la velocidad de propagación de la grieta, ΔK_I el rango del factor de intensidad de tensiones y A y m constantes que dependen del material y las condiciones de ensayo. En la Figura 4 se muestra la representación gráfica de la ley de Paris para el cemento acrílico convencional almacenado durante distintos periodos de tiempo en seco y en solución salina. En las Figuras 5 y 6 se compara el comportamiento a fatiga del cemento convencional con los cementos modificados con un 25% y un 40% de HPMA, después de su conservación durante 1 mes y 3 meses en medio fisiológico a 37ºC respectivamente. Los coeficientes A y m de la ecuación de Paris-Erdogan se obtienen por regresión lineal y se muestran en la Tabla I.

Para el cemento convencional se observa una reducción de la velocidad de propagación de la grieta cuando el material se ha conservado en solución salina en lugar de conservarlo en seco. En la Figura 4 se aprecia que para un mismo valor de ΔK la velocidad de propagación de grietas da/dN es aproximadamente dos órdenes de magnitud mayor en seco que en salino. Este efecto se puede atribuir al efecto plastificante del agua. Mediante

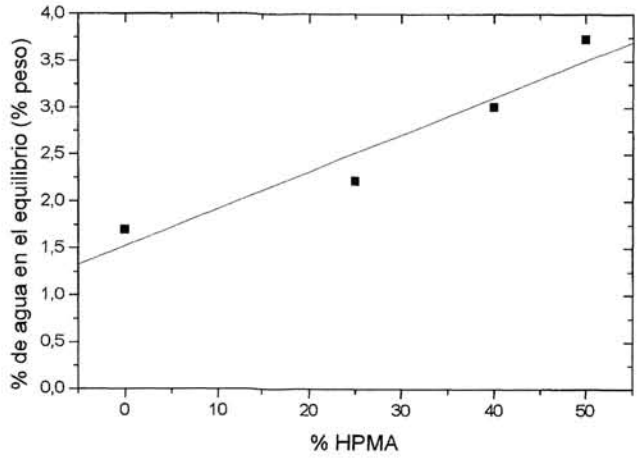

Fig. 3. *Evolución del contenido de agua en el equilibrio en función del porcentaje de HPMA.*

TABLA I
COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN DE PARIS PARA EL CEMENTO CONVENCIONAL Y LOS CEMENTOS MODIFICADOS, CONSERVADOS EN SECO Y EN MEDIO FISIOLÓGICO

MATERIAL	CONDICIONES	A	m
Cemento convencional	1 mes en seco	$6.266\ 10^{-3}$	5.70
	1 mes en medio fisiológico	$1.908\ 10^{-4}$	3.91
	3 meses en medio fisiológico	$3.160\ 10^{-4}$	5.10
25% HPMA	1 mes en seco	29.84	12.625
	1 mes en medio fisiológico	$1.147\ 10^{-3}$	4.669
	3 meses en medio fisiológico	$1.949\ 10^{-3}$	5.259
40%HPMA	1 mes en seco	$5.117\ 10^{5}$	20.976
	1 mes en medio fisiológico	0.6742	13.064
	3 meses en medio fisiológico	0.00575	6.551

análisis de la varianza se estimó que la conservación de las probetas durante uno o tres meses en medio fisiológico no tiene influencia significativa sobre la velocidad de propagación de grietas ($p<0,05$), probablemente debido a que la saturación de la absorción de agua se ha alcanzado ya tras 1 mes de inmersión.

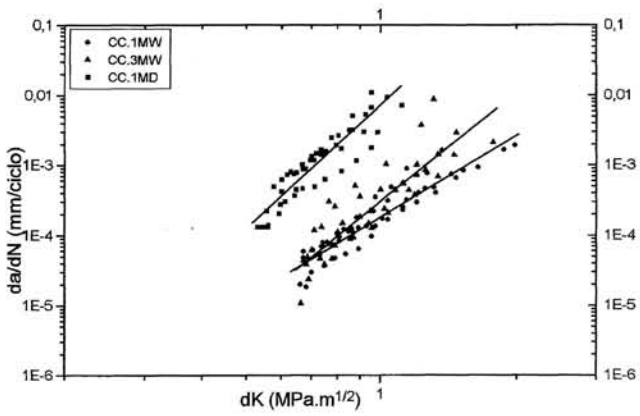

Fig. 4. *Velocidad de propagación de grietas por fatiga en el cemento convencional, conservado durante 1 mes en seco (CC1MD), durante 1 mes en solución salina (CC1MW) y durante 3 meses en solución salina (CC3MW) .*

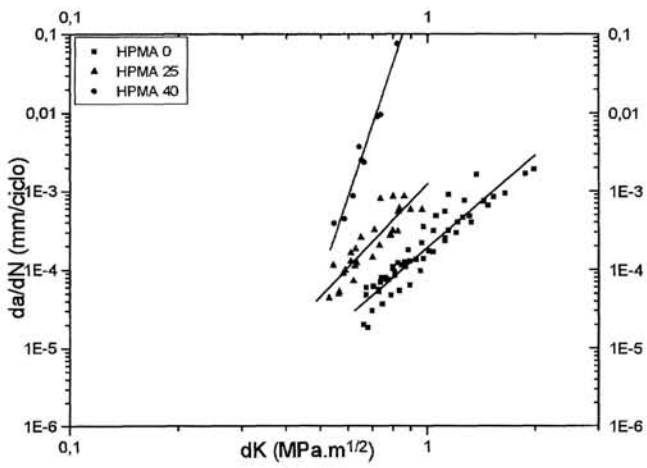

Fig. 5. *Influencia del contenido de HPMA (%) en la ley de Paris para los cementos conservados durante 1 mes en solución salina.*

A pesar de que con la adición de hidrogel aumenta la cantidad de agua absorbida por el material, si se comparan entre sí el cemento convencional con los cementos con adiciones de HPMA (Figuras 5 y 6) se observa que la mayor resistencia a la propagación de grietas por fatiga corresponde al material sin adición de hidrogel, y que el comportamiento empeora al aumentar el contenido de HPMA. La causa puede atribuirse a dos fenómenos: a) las pobres propiedades mecánicas del hidrogel; b) la deficiente copolimerización entre el MMA y el HPMA, detectada mediante estudios fractográficos, que hace que la matriz sea heterogénea, formada por dos fases diferentes que presentan una mala adhesión entre sí, y se descohesionan al ser sometidas a cargas cíclicas, acelerando la propagación de la grieta. En la Figura 7a se muestra esta segregación de fases para una muestra ensayada a fatiga con un 40% de HPMA, en la Figura 7b se muestra la superficie de fractura de un cemento convencional, en los dos casos las muestras han permanecido 3 meses en medio fisiológico. Se puede apreciar como en el primer caso la fractura muestra una descohesión entre las partículas de PMMA y la matriz en comparación con el convencional en el que se aprecia la deformación por crazes en una superficie plana donde nos se aprecian las partículas de PMMA.

La misma descohesión de fases se aprecia en los cementos óseos con un contenido del 25% de HPMA, aunque en una menor proporción. El tiempo de conservación en solución salina no tiene un efecto apreciable en el cemento con un 25% de HPMA. En el cemento con un 40% de HPMA se observa una ligero aumento de la resistencia a la propagación de la grieta al pasar de 1 mes a 3 meses de inmersión. Esto podría atribuirse a un aumento de la absorción de agua. En cualquier caso, la plastificación causada por el incremento de agua absorbida no

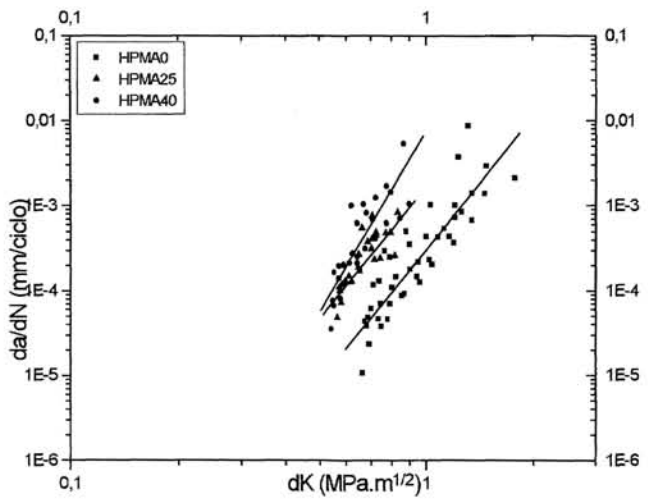

Fig. 6. *Influencia del contenido de HPMA (%) en la ley de Paris para los cementos conservados durante 3 meses en solución salina.*

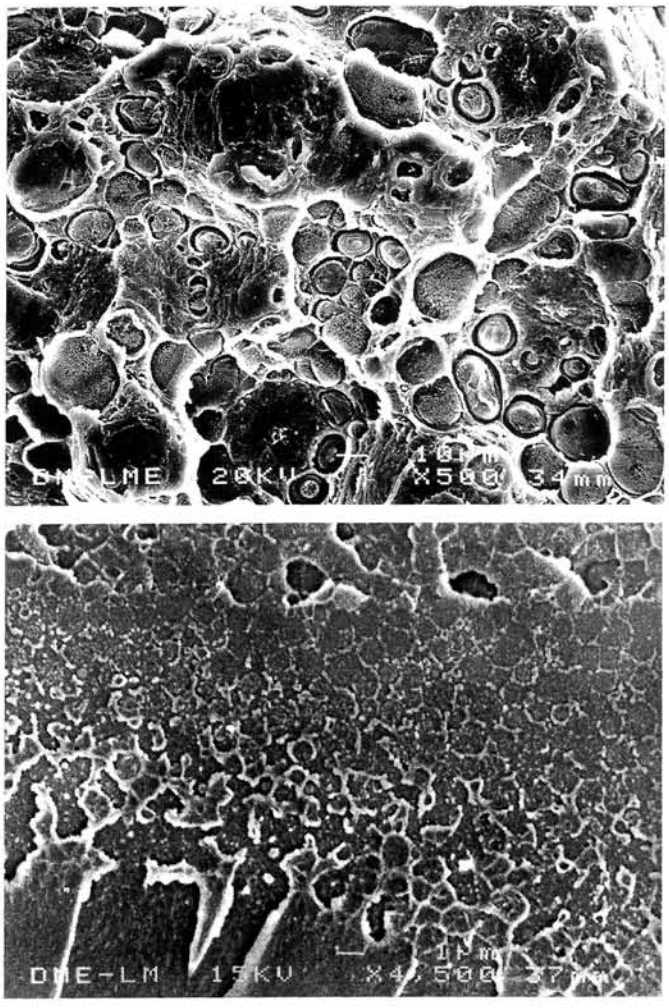

Fig. 7. *Micrografía correspondiente a una superficie de fractura a) del cemento con un 40% de HPMA sometido a un ensayo de fatiga b) del cemento convencional.*

consigue contrarrestar la fragilización introducida por la adición del copolímero en la matriz del cemento.

4. CONCLUSIONES

La velocidad de propagación de grietas por fatiga para las probetas conservadas en medio salino es de dos órdenes de magnitud menor que para las conservadas en seco. Este hecho se puede justificar por el efecto plastificante del agua.

Las muestras que incorporan HPMA en su composición muestran una menor resistencia a la propagación de grietas por fatiga que el cemento convencional, a pesar de que en el primer caso la adición de hidrogel aumenta la cantidad de agua absorbida por el material. Este hecho se atribuye a la deficiente copolimerización entre el MMA y el HPMA y las bajas propiedades mecánicas del hidrogel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la CICYT la concesión del proyecto MAT96-0981 que ha sufragado en parte la realización de este trabajo. ◆

REFERENCIAS

1. J.Charnley. "Acrylic cement in orthopaedic surgery". E&S Livingstone, Londres (Gran Bretaña) 1970.
2. W.Bonfield. "Materials for replacement of osteoarthritic hip joints". Metals and Materials. **12**, 712-716 (1986).
3. J.Charnley. "Bonding of prosthesis to bone cement". J.Bone Joint Surg. **46B** 518-534 (1964).
4. T.A. Freitag, S.L. Cannon, "Fracture characteristics of acrylic bone cements", J. Biomed. Mater. Res. **11**, 609-624 (1977)
5. J.G. Williams, Testing Protocol, A Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) Standard for determining K_c and G_c for Plastics, H.H.Kausch and J.G.Williams, EGF Newsletter, **8**, 14-15. (1988).

◆◆◆