

Caracterización térmica de hueso y sustratos metálicos para uso biomédico

GABRIEL PEÑA RODRÍGUEZ^{1,2}, MAGDALENA MÉNDEZ GONZÁLEZ³
ANTONIO CALDERÓN ARENAS⁴, ALFREDO CRUZ OREA⁵, FELICIANO SÁNCHEZ SINENCIO⁵

¹ Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional,
Departamento de Física, México D. F., México

² Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de Física, Cúcuta, Colombia

³ Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional,
Ciencia de Materiales, México D. F., México

⁴ Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional.
Departamento de Pruebas Físicas. Grupo de Propiedades Termofísicas, México D. F. México

⁵ Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Física.
Grupo de Técnicas Fototérmicas, México D. F. México

Resumen

En este trabajo reportamos mediciones de difusividad térmica a temperatura ambiente en dos diferentes cortes de hueso denso de res, hueso de res en polvo e hidroxiapatita comercial en polvo. Realizamos una comparación entre estos valores medidos y los obtenidos para muestras metálicas frecuentemente utilizadas en implantes, como el titanio de alta pureza y el acero 316L. Nuestros resultados muestran que la porosidad y su orientación en el hueso son dos factores importantes para el flujo de calor a través de él. Por otra parte, obtenemos que la hidroxiapatita en polvo compactada presenta un valor de la difusividad térmica muy semejante a los obtenidos para las muestras de hueso lo que indica una buena compatibilidad térmica entre estos materiales. Finalmente, obtenemos una diferencia de alrededor de un orden de magnitud entre los valores de la difusividad térmica entre los metales y los valores de las muestras de hueso e hidroxiapatita siendo esta diferencia mayor en el titanio que en el acero.

Summary

In this work we report thermal diffusivity measurements at room temperature in two different sections of bull dense bone, bull bone and commercial hydroxyapatite, the last two in powder form. It was realised a comparison between these measured values and those obtained from metallic samples frequently used in implants, as high purity titanium and 316L stainless steel. Our results show that the porosity and its orientation in the bone are two important factors for the heat flux through the bone. By other hand, we obtained that the hydroxyapatite, in compact powder form, presents a thermal diffusivity value very near to those obtained for the bone samples which gives a good thermal agreement between these materials. Finally, it was obtained a one order of magnitude difference between the thermal diffusivity values of metallic samples and those corresponding values to bone and hydroxyapatite being this difference greater in titanium than in stainless steel.

Keywords: *thermal properties, metals, hydroxyapatite, bone cements, biocompatible materials.*

Correspondencia:

M. Méndez González

Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional, Ciencia de Materiales.

Apdo. Postal 75-526 Col. Lindavista C. P. 07300 México D. F., México

fax: 57296000-ext. 55003

e-mail: mmendez@esfm.ipn.mx

Introducción

Se conocen con el nombre de biomateriales a los materiales usados en aplicaciones médicas, dentales o farmacéuticas, los cuales pueden estar en contacto prolongado con algún tejido del cuerpo (implante). El estudio y determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales utilizados en los implantes es fundamental desde el punto de vista de la biocompatibilidad que estos materiales deben presentar con el tejido que reemplazarán (Williams 1987). Por consiguiente, el conocimiento de las propiedades físicas, como las térmicas, mecánicas y eléctricas nos proveen de información que nos ayuda en la delicada tarea de elegir la posibilidad de emplear un determinado material para substituir algún tipo de tejido. Es deseable que el conocimiento reunido acerca de las propiedades del material elegido sea lo más completa posible debido a que este estará en contacto prolongado con tejidos vivos del cuerpo.

Entre los biomateriales se encuentran aquellos que son derivados de fosfatos de calcio, los cuales han probado ser biocompatibles con el tejido óseo humano. Nuestro tejido óseo presenta una estructura composicional que consta, entre otros, de cristales de una biocerámica de este tipo, la hidroxiapatita (HA), la cual se encuentra en el hueso en medio de una matriz orgánica. La HA es un mineral de especial importancia desde el punto de vista médico ya que se ha utilizado como cubierta de substratos metálicos en implantes óseos (Williams 1987 y Nagai et al 1991). Metales como el titanio y cromo han sido utilizados como substratos cubiertos con HA la cual proporciona, como resultado, un substrato biocompatible entre el hueso y el implante metálico (Bento 1996).

La cantidad que mide la razón de flujo de calor a través de un medio se denomina difusividad térmica y se denota por la letra griega α . La importancia de esta cantidad física se debe a que, al igual que el coeficiente de absorción óptico, es única para cada material (Touloukian et al 1970). Es conocido que la difusividad térmica es una cantidad extremadamente sensible a la composición y estructura de los materiales (Calderón et al 1997). Este es particularmente el caso de las propiedades térmicas en los materiales porosos, las cuales dependen fuertemente, además de la clase de componentes constituyentes, del tipo de estructura que presentan y de su grado de porosidad (Ziegler et al 1981). Este es un tema poco estudiado hasta ahora y su importancia científica y tecnológica es creciente.

En el presente trabajo realizamos, mediante la técnica fotoacústica (FA) en una configuración de transmisión de calor (Marquezini et al 1991), la medición de la difusividad térmica en hueso de res e hidroxiapatita comercial y realizamos una comparación con mediciones que hemos realizado en metales frecuentemente utilizados en aplicaciones biomédicas, como el titanio y el acero 316L. La determinación de la difusividad térmica contribuye al conocimiento de las propiedades térmicas en estos materiales, las cuales han sido escasamente estudiadas.

Materiales y métodos

En la Tabla 1 se indica el conjunto de muestras estudiadas junto con su espesor. Estas muestras consisten de discos de 1 cm de diámetro y un espesor variable entre 191 y 239 μm . Las muestras 1 y 2 son de acero inoxidable 316L y titanio de alta pureza, respectivamente. Estas se obtuvieron mediante corte de laminas de 3 mm de espesor para el acero y de 2 mm para el titanio utilizando para ello una cortadora de baja velocidad con discos de recubrimiento de diamante. Después, se rebajaron a los espesores finales aplicando primero lija 150 y después lija 400. El hueso de res utilizado proviene la parte superior de una de las piernas traseras de res macho adulto y sano, con una edad de 18 a 20 meses. El hueso se limpio de carne con bisturi y se dejó hervir en agua por dos horas para eliminar restos de tejido óseo y grasa. Luego, se dejó secar durante una semana al aire a temperatura ambiente y al final se introdujo al horno de microondas durante 5 minutos para eliminar la humedad. Con el hueso seco se realizaron cortes usando una cortadora de baja velocidad. La muestra 3 se obtuvo de cortes longitudinales a la dirección de la porosidad del hueso y la muestra 4 de cortes transversales. Una vez cortadas las muestras se colocaron en una pipeta con alcohol y después se sometieron a ultrasonido para eliminar las trazas de polvo residuales. Finalmente, las muestras se colocaron en silica gel para controlar la humedad. La muestra 5 es una pastilla de polvo de hueso de res comprimido a 10 toneladas de presión. El polvo de hueso se obtuvo al reunir el fino polvo resultante al realizar cortes con sierra fina en el hueso denso. Una vez elaborada la pastilla se colocó en una campana de vidrio con silica gel para controlar la humedad. La muestra 6 es una pastilla obtenida al comprimir polvo comercial de hidroxiapatita a una presión de 10 toneladas. Al igual que la muestra anterior, una vez ela-

Tabla 1. Valores medidos de la difusividad térmica y espesores de las muestras.

Muestra	Espesor (l_s) mm	Difusividad térmica (a) $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$
1. Acero 316L	239 ± 5	36 ± 2
2. Titanio de alta pureza	200 ± 4	92 ± 4
3. Hueso denso de res (corte longitudinal)	191 ± 3	4.4 ± 0.1
4. Hueso denso de res (corte transversal)	239 ± 4	5.4 ± 0.1
5. Polvo de hueso de res compactado	203 ± 6	3.1 ± 0.1
6. Polvo de hidroxiapatita compactado	227 ± 7	4.0 ± 0.2

borada la pastilla se depositó en una campana de vidrio con silica gel para controlar la humedad.

Debido a que las muestras 3 – 5 son porosas, para realizar las mediciones de difusividad térmica se colocó un recubrimiento de plata con tintura de alta pureza (marca SPI) en ambas caras de estas muestras para asegurar un sellado hermético entre la muestra y la cámara FA y una completa absorción superficial de la radiación en la cara de incidencia de la muestra. Además, en todas las muestras se pintó la cara de incidencia con tintura conductora negra de grafito para incrementar la absorción de radiación.

Las mediciones de difusividad térmica de las muestras se realizaron a temperatura ambiente utilizando la técnica fotoacústica en una configuración de transmisión de calor [Marquezini et al 1991]. Se usó un láser de Argón de 100 mW de potencia como fuente del haz luminoso, el cual fue modulado mediante un cortador mecánico de luz de rapidez variable (SRS-modelo 540). El voltaje de salida de la celda se registró mediante un amplificador lock-in (SRS-modelo 850) y la adquisición de datos se controló a través de un computador. De acuerdo al modelo de difusión térmico para el efecto fotoacústico, la amplitud de la señal medida está dada por [Calderón et al 1998],

$$S = C_0 \frac{1}{f \sqrt{\cosh(2\sqrt{f/f_c}) - \cos(2\sqrt{f/f_c})}} \quad (1)$$

donde C_0 es una constante relacionada a las propiedades térmicas del aire, la intensidad de la luz y las características geométricas de la celda, f es la frecuencia de modulación y $f_c (= \alpha/\pi l^2)$ es un parámetro denominado frecuencia de corte y representa el valor de la frecuencia de modulación para el cual la longitud de difusión térmica $m(= (\alpha/\pi f)^{1/2})$ es igual al espesor l de la muestra. El valor de la difusividad térmica a de la muestra en estudio se obtiene mediante el ajuste de la expresión (1) a los datos experimentales de la amplitud de la señal FA, manteniendo a f_c como parámetro de ajuste.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los puntos experimentales de la amplitud de la señal FA en función de la frecuencia de modulación para las muestras 3–6 obtenidas mediante esta técnica, y las correspondientes curvas de ajuste. Los puntos experimentales y la curva de ajuste correspondiente a las muestras 1 y 2 no se incluyeron en esta figura debido a que el rango de frecuencia de ajuste para ellas ocurre arriba de 50 Hz y por cuestión de espacio no se incluyen en otra gráfica aparte. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos para la difusividad térmica del conjunto completo de muestras.

De los valores reportados en la Tabla 1 se observa que la difusividad térmica de las muestras de hueso denso, muestras 3 y 4, es mayor que la del polvo de hueso compactado, muestra 5, en un 42 %

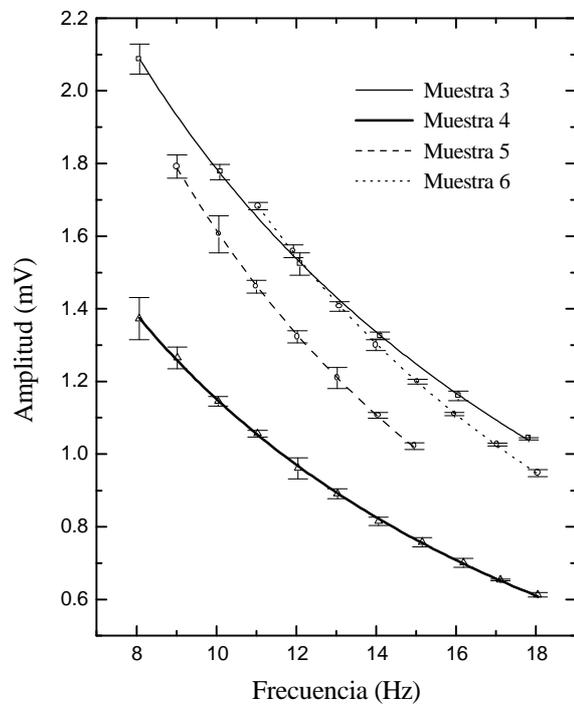


Figura 1. Amplitud de la señal FA en función de la frecuencia de modulación. Las curvas continuas representan el mejor ajuste de la ecuación (1) a los datos experimentales.

y 74%, respectivamente. Esta diferencia la determina fundamentalmente la composición porosa de las muestras 3 y 4 que no tiene la muestra 5. También tenemos que la muestra 4 tiene un valor de α mayor en un 23% que la de la muestra 3. Esto diferencia muestra la importancia que presenta el corte en el flujo de calor. El calor se difunde notablemente mejor en la dirección de la porosidad (corte transversal) que en dirección perpendicular a esta (corte longitudinal). Se observa una notable analogía entre el valor de α del polvo de hidroxiapatita compactado, muestra 6, con el de las muestras de hueso, muestras 3-5. Esta analogía revela un comportamiento térmico semejante entre estos materiales. Finalmente, observamos una diferencia de alrededor de un orden de magnitud entre la difusividad térmica de los metales, muestras 1 y 2, con la de las otras muestras.

Conclusiones

Hemos reportado mediciones de la difusividad térmica a temperatura ambiente en cortes longitudinal y transversal a la porosidad en hueso de res, hueso de res en polvo compactado e hidroxiapatita en polvo compactada, así como en muestras metálicas de acero 316L y titanio de alta pureza. La porosidad y su orientación son factores importantes en el flujo de calor a través del hueso. El valor de la difusividad térmica de las muestras de hueso denso es entre 42% y 74 % mayor que la del polvo de hueso compactado, en tanto que la muestra de hueso cortada transversalmente a la porosidad presenta un valor de la difusividad térmica 23% mayor que el de la muestra de hueso cortado longitudinalmente a la porosidad. La semejanza obtenida de los valores de α entre la hidroxiapatita comercial en polvo y las muestras de hueso indican una excelente compatibilidad tér-

mica entre estos materiales, en tanto que, los valores de α del titanio y el acero 316L muestran una disparidad con aquellos medidos en el hueso que sería aconsejable tener en cuenta en las aplicaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a J. Antonio García y Armando Gómez del ITESM-CEM, a M. Guerrero Cruz, E. Ayala Maycotte y P. Rodríguez Fragoso de CINVESTAV-IPN por su asistencia técnica. Deseamos Agradecer el apoyo económico otorgado por la Coordinación General de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional CEGEPI-IPN a través de los proyectos No. 990315, 990042 y 990464.

Referencias

1. **Williams DF**, Journal of Materials Science. 1987; 22: 3421-3445.
2. **Nagai M, Shibuya Y, Nishino T, Saeki T, Owada H, Yamashita K y Umegaki T**, Journal of Materials Science. 1991; 26: 2949-2953.
3. **Bento AC, Almond DP, Brown SR y Turner IG**, Journal of Applied Physics. 1996; 79: 6848-6852.
4. **Marquezini MV, Cella N, Manzanares, AM, Vargas H y Miranda LCM**, Measurements Science and Tecnology. 1991; 2: 396-402.
5. **Touloukian YS, Powell RW, Ho CY y Nicolau MC**, Thermophysical Properties of Matter Vol 10., Plenum, New York, (1970).
6. **Calderón A, Muñoz Hernández RA, Tomas SA, Cruz Orea A y Sánchez Sinencio F.**, Journal of Applied Physics. 1998; 84: 6327-6329.
7. **Calderón A, Alvarado Gil JJ, Gurevich YG, Cruz Orea A, Delgadillo I, Vargas H y Miranda LCM**, Physical Review Letters. 1997; 79: 5022-5025.
8. **Ziegler G y Hasselman DPH**, Journal of Materials Science. 1981; 16: 495-503.