



DETERMINACIÓN DE CURVAS DE ISODOSIS EN RADIOTERAPIA USANDO UN DOSÍMETRO DE ALANINA/ESR

*Felipe Chen^{1,2},
Oswaldo Baffa¹, Carlos F.
O. Graeff¹*

*¹Departamento de Física e Matemática,
Universidade de São Paulo-FFCLRP
14040-901 Ribeirão Preto-SP, Brasil.*

*²Departamento de Física, Universidad
de Panamá, Panamá.*

Resumen

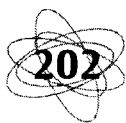
Se estudió el posible uso de un dosímetro de alanina/ESR en el mapeo de curvas de isodosis en tratamientos normales de radioterapia. Se fabricó un lote de 150 dosímetros con base en una mezcla de DL-alanina en polvo (80 %) y parafina (20 %). Cada dosímetro tiene 4,7 mm de diámetro y 12 mm de longitud. Un grupo de 100 dosímetros del lote fueron colocados dentro de los 50 agujeros de la rebanada 25 del fantoma Rando Man.

La irradiación del fantoma se realizó en dos proyecciones opuestas (AP y PA) en un equipo de Co-60. Un grupo de 15 dosímetros fue tomado del mismo lote para obtener la curva de calibración en un rango de 1-20 Gy. Después de la irradiación, la señal de cada dosímetro fue medida en un espectrómetro de ESR operando en la Banda-X (~9,5 GHz) y la amplitud de la línea central del espectro ESR de la alanina fue correlacionada con la dosis de radiación. La curva de calibración amplitud-dosis resultó lineal con un coeficiente de correlación de 0,9996. Las curvas de isodosis obtenidas muestran un perfil bastante semejante al compararlas con las curvas teóricas.

Introducción

El uso de la alanina como dosímetro se remonta a 1962 cuando en aquella ocasión se utilizó para mediciones de dosis en profundidad en animales (Bradshaw y otros, 1962).

Posteriormente, en 1982, se sugiere el uso de compuestos orgánicos sólidos (aminoácidos) como dosímetros en vez de sustancias inorgánicas, para diferentes aplicaciones en dosimetría biológica (Regulla y Deffner, 1982). El aminoácido alanina ha sido utilizado exitosamente como dosímetro para altas dosis de radiación (en el rango de kilogray). La radiación ionizante produce en la alanina radicales libres estables, los cuales pueden ser cuantificados por medio de su espectro de ESR, midiendo la amplitud de la línea central de este espectro, y es esta amplitud la que se correlaciona directamente con la dosis de radiación (Regulla y Deffner, 1982). Además, la alanina posee características deseables como dosímetro: respuesta equivalente a tejido, poco fading, respuesta independiente de la energía por encima de 100 keV, respuesta lineal en un amplio rango de dosis. En años más recientes, la técnica de dosimetría Alanina/ESR se ha usado para aplicaciones en radioterapia de electrones de alta energía (Chu y otros, 1989), y en 1993 se reporta el primer ensayo clínico para determinar, con esta técnica, la dosis de radiación recibida por



un paciente (Kudynski y otros, 1993). Más recientemente, la técnica demostró su utilidad en mediciones *in vivo*, durante un tratamiento de braquiterapia con ^{192}Ir (Schaeken y Scalliet, 1996). El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la posibilidad de usar el dosímetro de alanina/ESR para mapear curvas de isodosis en tratamientos normales de radioterapia.

Materiales y método

Preparación de los dosímetros

Se prepararon 150 pastillas en forma cilíndrica con una mezcla uniforme de DL-alanina más parafina pura. El procedimiento para preparar las pastillas fue tomado de Alexandre y otros (1992). Cada pastilla tiene una masa nominal de 241 mg con 80 % de DL-alanina en polvo y 20 % de parafina. Para poder hacer la mezcla, la parafina se raspó y luego se pasó por un tamizador de mesh 32 obteniéndose un polvo fino. La forma cilíndrica compacta se obtuvo introduciendo la mezcla dentro de una matriz de acero inoxidable con un diámetro interno de 4,7 mm y 55 mm de altura. Con la ayuda de un pistón con escala milimétrica grabada en él, se comprimió la mezcla manualmente con una prensa hidráulica hasta obtener una longitud de 12 mm para la pastilla. Con estas dimensiones, el volumen y densidad nominales de cada pastilla fueron de 0,21 cm³ y 1,16g/ cm³ respectivamente. Para facilitar la manipulación de las pastillas se rociaron con barniz.

Irradiación de los dosímetros

Del fantoma Rando Man, fue retirada la rebanada 25, la cual tiene un espesor de aproximadamente 2,5 cm y 50 agujeros; cada agujero con un diámetro aproximado de 4,5 mm.

Esto dio para colocar dos dosímetros por agujero, de tal forma que se necesitaron 100 dosímetros para rellenar completamente la rebanada. El fantoma fue acostado en la cama, simulando un paciente, e irradiado con un campo de 10 x 10 cm, distancia fuente-piel de

80 cm y en dos proyecciones opuestas: AP y PA, con una fuente de Co-60 Gammatron-S Siemens. La tasa de dosis fue de 0,502 Gy/min y el tiempo de irradiación de 20 min para cada proyección, dando una dosis total aproximada de 10 Gy en el centro de la rebanada. Los dosímetros de calibración fueron irradiados usando una capa de build-up de Lucita de 0,4 g/mm², bajo las mismas condiciones, pero en una sola proyección, en una rango de dosis de 1-20 Gy. La temperatura media de irradiación fue de 23 °C. La irradiación fue realizada en el Servicio de Radioterapia del Hospital Das Clínicas de la Facultad de Medicina de Ribeirão Preto, Universidad de São Paulo.

Lecturas de ESR

Las señales ESR de pastillas irradiadas y no irradiadas fueron medidas en un espectrómetro VARIAN E-4 funcionando en la Banda-X (~9,5 GHz), y equipado con una cavidad resonante rectangular, modelo E-231, operando en el modo TE₁₀₂. Los parámetros de operación del espectrómetro se escogieron para optimizar el registro de los detalles del espectro ESR. La frecuencia de modulación fue de 100 kHz y la amplitud de modulación de 0.25 mT. La potencia de microondas fue de 50 mW; este valor fue escogido después de hacer un gráfico de amplitud de la señal vs. raíz cuadrada de la potencia; aunque algunos autores reportan el uso de potencias más bajas (Arber y otros, 1991), en nuestro caso, esta potencia (50 mW) fue la que dio la mejor señal sin alcanzar la saturación. El campo magnético central H₀ fue de 325 mT, y para registrar el espectro completo, se usó un barrido de campo DH de 20 mT. El tiempo de barrido fue de 2 min, y se hicieron 10 barridos para cada pastilla. La sensibilidad del espectrómetro fue mejorada con la adaptación de un amplificador lock-in (EG&G DSP Lock-in Amplifier, model 7260), empleando los parámetros de detección: 100 kHz, 500 ms de constante de tiempo, y 500 mV en sensibilidad. La frecuencia



de microondas se midió con un contador digital HP modelo 5350B. Estos instrumentos fueron controlados por medio de una GIPB y la adquisición de los datos fue realizada con una microcomputadora PC-Pentium 100. El posicionamiento de la muestra dentro de la cavidad es crítico en la toma de espectros de ESR conllevando a variaciones si no se tiene cuidado al colocar la muestra. Para mejorar lo anterior, se colocó la pastilla dentro de la cavidad con ayuda de un tubo de cuarzo. Todas las mediciones se realizaron a temperatura ambiente (25 °C).

Resultados y discusión

La figura 1 muestra un espectro de ESR, típicamente conocido, de una pastilla de alanina irradiada (10 Gy), mostrando sus cinco líneas características, que representan la estructura hiperfina debida a la interacción equivalente, de los momentos magnéticos de cuatro protones con el momento magnético del electrón no apareado en el radical libre predominante a temperatura ambiente. Para propósitos de dosimetría, la amplitud (h) de la línea central del espectro se correlaciona con la dosis de radiación y se interpreta como la "lectura" del dosímetro.

La dependencia de la amplitud de la línea central del espectro ESR de la alanina con la potencia de microondas fue estudiada y se muestra en la figura 2. La figura 3 muestra la variación de la anchura de la línea central del espectro con la amplitud de modulación del campo magnético. Se escogió una modulación de 0,25 mT para asegurar que no existiera deformación del espectro.

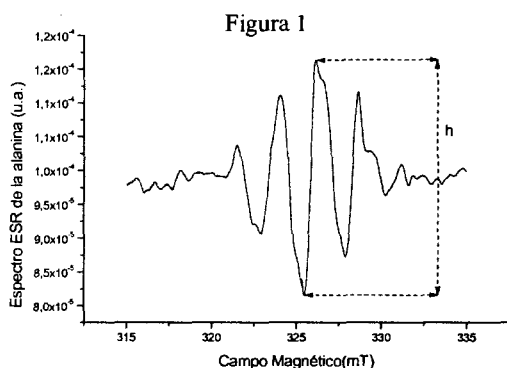
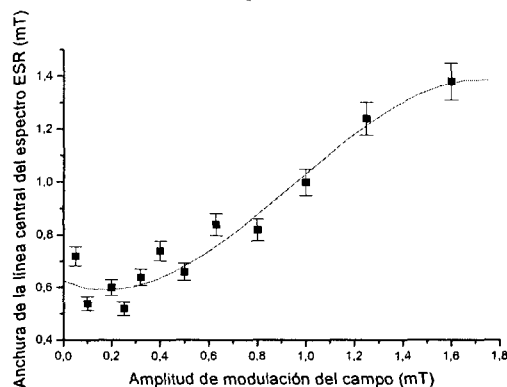


Figura 1

La curva de calibración de los dosímetros (figura 4) muestra una relación lineal entre la amplitud neta de la línea central del espectro y la dosis, con un coeficiente de correlación de 0,9996. La amplitud neta se obtuvo restandole a la lectura de los dosímetros irradiados, la lectura de los dosímetros sin irradiar. Esta lectura de los dosímetros sin irradiar representa una dosis residual de 0,6 Gy.

Figura 2



La lectura de los dosímetros colocados en la rebanada 25 fueron transformados a dosis con ayuda de la figura 4. Colocando estos valores de dosis en la matriz de puntos de la rebanada (figura 5), se obtiene la distribución presentada en la figura 6. De esta última figura se nota que la distribución de la dosis es bastante uniforme en el volumen de irradiación. Se construyó un gráfico de superficie tridimensional, y luego un gráfico de contorno con proyección en el plano X-Y, obteniéndose la figura 7. En la figura 8 se presentan curvas teóricas. Si se comparan las figuras 7 y 8, vemos que ambas presentan un perfil de distribución de dosis bastante semejante.

Figura 3

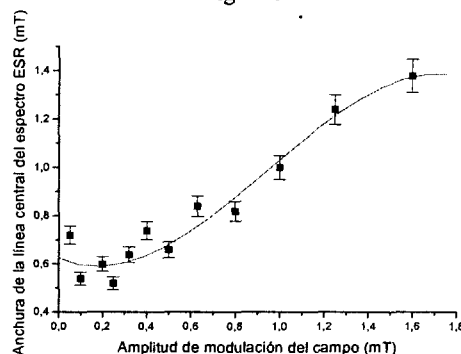


Figura 4

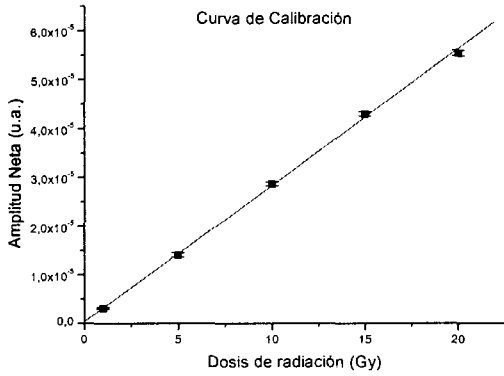


Figura 5

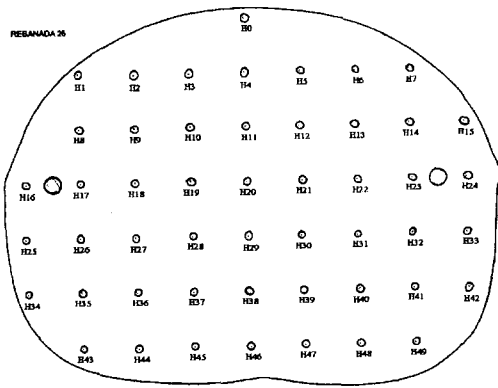
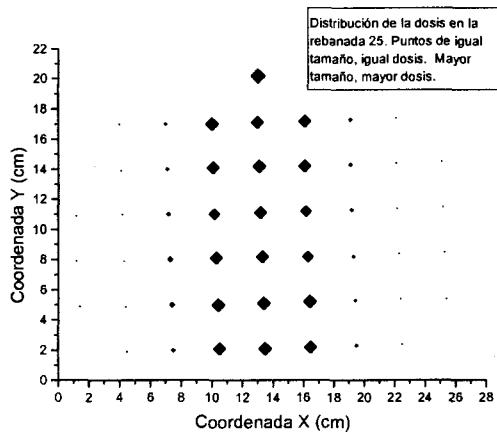
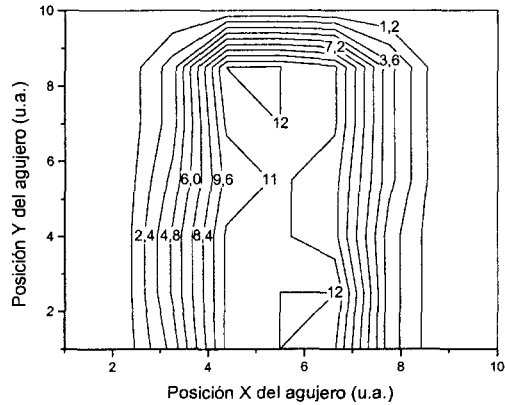


Figura 6



Distribución puntual de la dosis en la rebanada. Se observa una distribución bastante uniforme en el volumen de irradiación (campo 10 x 10 cm).

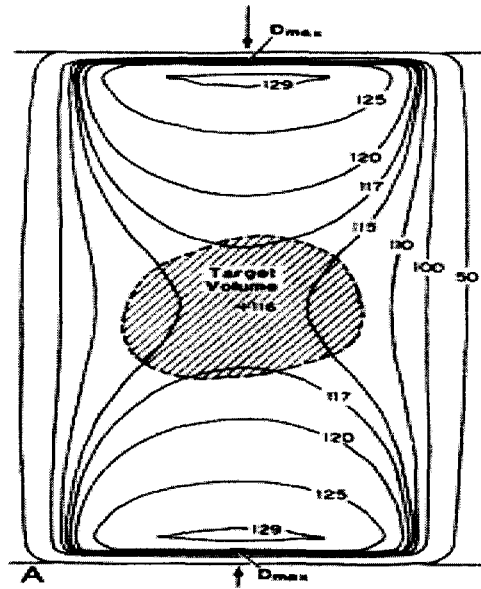
Figura 7



Perfil de curvas de isodosis para la rebanada de la figura 5. Los números indicados en las curvas representan dosis. La discontinuidad en las curvas es debida a la cantidad de agujeros en la rebanada. Si existiesen más agujeros, tal vez las curvas se suavizarían aún más.



Figura 8



Curvas de isodosis teóricas (proyección AP y PA). Tomada de R. K. Hobbie, *Intermediate Physics for Medicine and Biology*, 2a. ed. 1988.

Conclusiones

Los dosímetros de alanina-parafina fabricados y colocados en la rebanada 25 permiten la construcción de perfiles de curvas de isodosis en un tratamiento simulado de radioterapia. El procedimiento de dosimetría alanina/ESR empleado, permite medir la dosis después de varias sesiones de radioterapia o después de concluido el tratamiento, pudiéndose de esta manera, hacer un control de calidad de la dosis, parcial o total, aplicada en un tratamiento simulado. El inconveniente que existe es que no pueden medirse dosis menores de 1 Gy ya que la dosis residual es de 0,6 Gy. Actualmente se están estudiando modificaciones al procedimiento de medida en ESR, y al método de preparación de las pastillas, con el objetivo de mejorar la sensibilidad para que dosis aún más bajas puedan ser medidas.



Agradecimientos

Al Dr. Marcos Vasques, por permitir el uso de la fuente de Co-60 del Servicio de Radioterapia del Hospital Das Clínicas de la Facultad de Medicina de Ribeirão Preto, Universidad de São Paulo. Uno de los autores desea expresar su gratitud al Programa UNIPAN-BID de la Universidad de Panamá, por el apoyo financiero ofrecido, sin el cual, no hubiese sido posible su estadía en la Universidad de São Paulo. A la CAPES y a la FAPESP por el financiamiento parcial.

Bibliografía

1. Alexandre A. C., Baffa O., Nascimento O. R. (1992). "The Influence of Measurements and Storage Conditions on Alanine/ESR Dosimeters", in *Appl. Radiat. Isot.*, 43, 1407.
2. Arber J. M., Sharpe P. H. G., Joly H. A., Morton J. R., Preston K. F. (1991). "The ESR/Alanine Dosimeters - Power Dependence of the X-band Spectrum", in *Appl. Radiat. Isot.*, 42, 665.
3. Bradshaw W. W., Cadena D. G., Crawford G. W., Spetzler H. A. W., (1962). "The Use of Alanine as a Solid Dosimeter", in *Radiat. Res.*, 17, 11.
4. Chu S., Wieser A., Feist H., Regulla D. F., (1989). "ESR/Alanine of High-energy Electrons in Radiotherapy", in *Appl. Radiat. Isot.*, 40, 993.
5. Kudynski R., Kudynska J., Buckmaster H. A., (1993). "The Application of EPR Dosimetry for Radiotherapy and Radiation Protection", in *Appl. Radiat. Isot.*, 44, 903.
6. Regulla D. F., Defner U., (1982). "Dosimetry by ESR Spectroscopy of Alanine". in *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 33, 1101.
7. Schaeken B., Scalliet P., (1996). "One Year of Experience with Alanine Dosimetry in Radiotherapy", in *Appl. Radiat. Isot.*, 47, 1177.