



MX9900180

INTERCOMPARACIÓN TLD EN ACELERADORES PARA RADIOTERAPIA EN TRES PAÍSES LATINOAMERICANOS

*Enrique Gaona¹,
Juan Azorín N.²,
Miguel Ángel Pérez³,
César Picón⁴,
Esperanza Castellanos⁵,
Ma. Cristina Plazas⁵,
Gabriel Murcia⁵,
Lucina Archundia⁶*

*¹Depto. El Hombre y su Ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana,
Calz. Del Hueso 1100,
04960 México, D.F.
E-mail: gaen1310@cueyatl.uam.mx*

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.

²Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México

³Instituto Nacional de Cancerología, México.

⁴Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Perú.

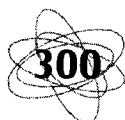
⁵Instituto Nacional de Cancerología, Colombia.

⁶Hospital General de México.

Resumen

En radioterapia uno de los objetivos es establecer y dar seguimiento a programas de garantía de calidad que aseguren que la dosis administrada a los pacientes este dentro del 5 % de la dosis prescrita, logrando así que los tratamientos de los pacientes con cáncer tengan una alta probabilidad de éxito en radiación externa. Asimismo, una de las preocupaciones actuales de los organismos de las Naciones Unidas como la Organización Internacional de Energía Atómica y la Organización Panamericana de la Salud es el empleo óptimo de las radiaciones en el tratamiento de enfermos de cáncer, ya que la dosis administrada en radioterapia sufre considerables variaciones por la falta de programas de garantía de calidad. El uso de aceleradores lineales de electrones requiere de un programa de garantía de calidad que incluya personal experto, equipamiento e instalaciones adecuadas. La metodología más usada para la dosimetría, calibración y caracterización de los haces de rayos X y de

electrones de alta energía para uso en radioterapia es el uso de un dosímetro con cámara de ionización calibrado en un laboratorio regional secundario de estandarización. Sin embargo para establecer y darle seguimiento a los programas de garantía de calidad es necesaria la intercomparación dosimétrica mediante TLD. En este estudio se diseñaron fantomas de plástico con cristales TLD y se hizo su caracterización para realizar un análisis de dosis absorbida en los cristales expuestos a haces de rayos X de 6MV y de electrones de alta energía de 10 y 12 MeV para estandarizar los procedimientos dosimétricos y proceder a realizar una intercomparación piloto internacional de dosis absorbida en cristales TLD en tres países latinoamericanos, México, Perú y Colombia participando aceleradores de cinco instituciones diferentes. Los resultados encontrados muestran que la mayoría de las dosis medidas con TLD en los diferentes aceleradores estuvieron en el rango de 0.95 a 1.05, aunque se tuvieron dos casos fuera



de ese rango. El uso de los fantasmas con cristales TL muestran que son de excelente ayuda para hacer un análisis de las dosis administradas a los pacientes e intercomparar resultados para estandarizar procedimientos a bajos costos entre centros de radioterapia.

Palabras clave

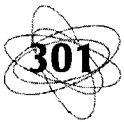
TLD, aceleradores, radioterapia, intercomparación.

Introducción

La metodología más ampliamente usada para la dosimetría, calibración y caracterización de los haces de rayos X y de electrones de alta energía (energías mayores a 6MV) para uso clínico es la dosimetría con un dosímetro con cámara de ionización calibrado en un laboratorio regional secundario de estandarización auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Sin embargo, para establecer programas de garantía de calidad y de intercomparación dosimétrica en el uso de aceleradores lineales de alta energía es indispensable el uso de dosimetría termoluminiscente, en forma de polvo o en cristales. En este estudio nos estamos refiriendo al uso de aceleradores lineales de electrones capaces de producir haces de rayos X y de electrones de alta energía para uso clínico o tratamiento del cáncer. Una de las preocupaciones actuales de los organismos de las Naciones Unidas es el empleo óptimo de las radiaciones para la radioterapia de enfermos de cáncer. En la lucha contra el cáncer las radiaciones son la forma principal del tratamiento, ya que dos terceras partes de los enfermos de cáncer requieren de radioterapia. Organismos como la Organización Internacional de Energía Atómica y la Organización Panamericana de la Salud reconocen que los resultados de la radioterapia sufren considerables variaciones

en la respuesta al tratamiento en perjuicio del paciente. Se consideró que los aceleradores de electrones de alta energía capaces de producir haces de rayos X y de electrones de alta energía no se pueden recomendar para su uso generalizado en los países en desarrollo debido a que requieren un programa de garantía de calidad que incluya personal experto, equipamiento adecuado e instalaciones adecuadas, ya que el acelerador requiere de una excelente medición de la dosis. Si los aceleradores no se calibran y manejan con gran cuidado pueden ser extremadamente peligrosos, ya que la dosis que se aplican a los pacientes resultan a veces erróneas hasta un grado verdaderamente importante. Con extrema frecuencia, esta clase de errores son de una magnitud considerablemente superior a la que se observa en el uso de las Unidades de Cobalto-60 para radioterapia. La modernización del equipamiento en radioterapia y el incremento de la complejidad de los aceleradores lineales de electrones ha originado cambios importantes en los procedimientos de calibración, dosimetría y administración de la dosis a los pacientes. La radioterapia actual con los avances tecnológicos y el uso de microprocesadores ha resuelto un buen número de limitaciones históricas pero se ha incrementado la complejidad de la planeación y administración de la dosis a los pacientes dentro de $\pm 5\%$ de la dosis prescrita. Actualmente, los aceleradores lineales son controlados por computadora y requieren de un mayor control de la dosimetría, ya que una pequeña desviación de los parámetros del haz puede provocar cambios importantes en la dosis administrada a los pacientes. La mayoría de los accidentes con aceleradores en todo el mundo han sido por fallas o por ausencia de un programa de garantía de calidad.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Mundial



de la Salud (OMS), establecieron un programa de intercomparación de dosis termoluminiscentes por correo (intercomparación postal TLD) desde 1969 para monitorear las dosis administradas a pacientes con Cobalto-60 en centros de radioterapia en países en desarrollo, incluyendo México. Los errores de más de un 10 % en la dosis aplicada no fueron raros, y en algunos casos se observaron errores hasta de un 50 % de la dosis prescrita en perjuicio de los pacientes. El programa de intercomparación postal TLD del OIEA/OMS, años más tarde se extendió a aceleradores lineales en radioterapia, haciendo énfasis al programa en los países en desarrollo a través de los Laboratorios Secundarios de Dosimetría del OIEA. La metodología para asegurar que la dosis administrada a los pacientes con aceleradores de alta energía sea la correcta es establecer un programa externo de monitoreo y análisis de dosis administradas, este programa externo requiere de un físico médico experto que realice la verificación en sitio midiendo la dosis/unidad monitor en el acelerador para las diferentes energías tanto en rayos X como en electrones con equipo especial de dosimetría, sin embargo este procedimiento es costoso y requiere de mucho tiempo de uso del acelerador y suspensión del tratamiento de los pacientes. Una alternativa es establecer un programa de análisis, verificación e intercomparación de dosis absorbidas con cristales termoluminiscentes (TLD) para medir y analizar la dosis/unidad monitor en los aceleradores. En varios países desarrollados han logrado establecer estos procedimientos de intercomparación dosimétrica TLD que les asegura el correcto seguimiento de los programas de garantía de calidad en aceleradores. El análisis y la intercomparación de las dosis administradas en radioterapia es parte esencial de los programas de aseguramiento de la calidad en el uso de aceleradores

lineales de electrones de alta energía en radioterapia (tratamiento del cáncer) y permite la estandarización de los procedimientos clínicos. Algunos de los criterios para mantener el programa de aseguramiento de la calidad operable con aceleradores son: dosis administrada a tumor $\pm 5\%$ (rayos X y electrones), calibración del haz de radiación $\pm 3\%$, mediciones relativas $\pm 2\%$ (6,7,9). La intercomparación dosimétrica nacional e internacional puede proveer información cuantitativa sobre el nivel de variaciones que existen en un punto en particular en la cadena dosimétrica para compararla con la exactitud requerida en el uso de aceleradores.

Materiales y métodos

Los fantasmas diseñados para este estudio fueron hechos con una geometría simple, sólido y cúbico construidos de un polímero termoplástico de metacrilato de metilo en forma de resina. Los fantasmas tienen cuatro cavidades para colocar cuatro cristales TL. Los cristales usados fueron de TLD-100 y el lector de TLD fue un equipo marca Harshaw. La caracterización de la dosis-respuesta del sistema fantoma-cristales se hizo con un dosímetro con cámara de ionización con certificado de calibración de un laboratorio secundario de dosimetría, usando el protocolo de calibración OIEA-277 y energías de rayos X de 6MV y electrones de 10 y 12 MeV. La caracterización y los cálculos se hicieron como dosis a tejido. En la intercomparación piloto TLD participaron cinco centros de radioterapia de tres países (México, Perú y Colombia). En la intercomparación participaron aceleradores marca Siemens, Philips y Varian. El análisis de la dosis administrada en el fantoma se realizó a una profundidad de 2 cm para electrones de 10 y 12 MeV y a 1.5 y 2.0 cm para rayos X de 6MV, obteniendo las curvas de calibración mediante análisis de regresión. Los físicos de los cen-

tros de radioterapia participantes en el estudio dieron una dosis a tejido de 100 cGy y 200 cGy al sistema fantoma-cristales a la profundidad 2 cm. La lectura de los cristales se convierten a dosis a tejido y se hace la razón de la dosis medida con TLD a la dosis administrada por la institución y el intervalo de variación de la razón de las dosis debe estar dentro del 0.95 a 1.05 para que sea aceptable.

Resultados

Las tablas 1 y 2 muestran la exactitud con la cual se puede medir la dosis administrada al sistema llamado fantoma-cristales, en ambos casos tomando como referencia las dosis medidas con cámara de ionización. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de la medición de la dosis con cámara de ionización y el sistema fantoma-cristales con haces de electrones. La determinación de la dosis en los cristales se hizo mediante el uso de modelos de análisis de regresión. La dosis medida con TLD en la tabla 1 son el resultado del promedio de 10 mediciones.

TIPO DE RADIACION	ELECTRONES	ELECTRONES
ENERGIA	10 MeV	12 MeV
TAMAÑO DE CAMPO(CONO)	10 X 10 CM	10 X 10 CM
DISTANCIA BLANCO-SUPERFICIE	100 CM	100CM
DOSIS MEDIDA CON CAMARA IONIZACION, OIEA 277	100 y 200 cGy	100 y 200 cGy
DOSIS MEDIDA CON TLD-100 (UAM)	101 y 203 cGy	103 y 204cGy
RAZON DOSIS CAMARA/TLD*	0.990 y 0.985	0.970 y 0.980

*Razones de 0.95 a 1.05 se consideran aceptables.

La tabla 2, muestra los resultados obtenidos de la medición de la dosis con cámara de ionización y el sistema fantoma-cristales (UAM) con rayos X de 6MV. La dosis medida con TLD en la tabla 2, son el resultado del promedio de 10 mediciones.

TIPO DE RADIACION	RAYOS X
ENERGIA	6 MV (TPR=0.68)
PROFUNDIDAD(DOSIS MAXIMA)	1.5CM
TAMAÑO DE CAMPO(CONO)	10 X 10 CM
DISTANCIA BLANCO-SUPERFICIE	100CM
DOSIS MEDIDA CON CAMARA IONIZACION, OIEA 277	100 Y 200 cGy
DOSIS MEDIDA CON TLD-100 (UAM)	98 Y 202 cGy
RAZON DOSIS CAMARA/TLD*	1.020 Y 0.990

*Razones de 0.95 a 1.05 se consideran aceptables.

En este muestreo piloto se invitaron a 10 Centros de Radioterapia de los tres países a colaborar en la intercomparación TLD, pero finalmente sólo cinco aceptaron participar y comparar sus resultados con los demás centros tomando como referencia el sistema fantoma-cristales. Los resultados obtenidos en este estudio son para fines estadísticos y no con propósitos de regulación, tampoco involucra ninguna certificación, sin embargo la intercomparación se puede usar evaluar y dar seguimiento a los programas de garantía de calidad en radioterapia con respecto a la dosis administrada a los pacientes.

La gráfica 1 muestra los resultados de la intercomparación TLD con rayos X de 6MV. En la gráfica se muestran las razones de la dosis medida en TLD/dosis administrada por la institución (centro de radioterapia). Las razones de 0.95 a 1.05 se consideran aceptables.

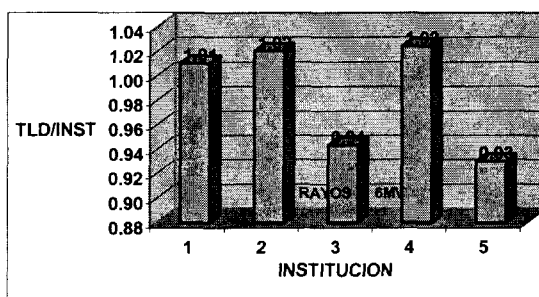


Tabla 1. Intercomparación TLD con haces de rayos X de 6 MV en cinco centros de radioterapia de tres países.

Las gráficas 2 y 3 muestran la intercomparación con haces de electrones de 10 y 12 MeV. De los cinco centros de radioterapia participantes sólo en tres de ellos tenían calibrados los haces de electrones para la intercomparación.



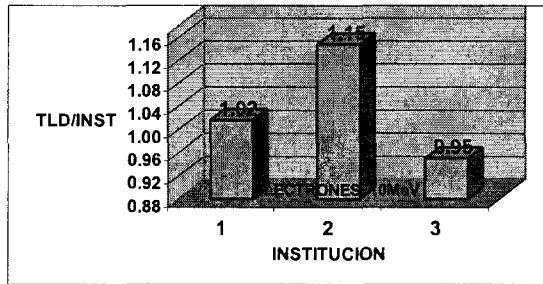


Tabla 2. Intercomparación TLD con haces de electrones de 10 MeV en dos instituciones de dos países.

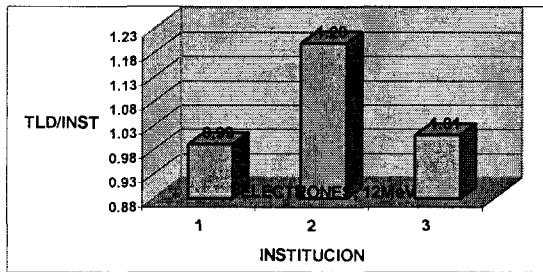


Tabla 3. Intercomparación TLD con haces de electrones de 12 MeV en dos instituciones de dos países.

Bibliografía

- Eisenlohr, H.H. and Jayaraman, "IAEA-WHO Co-60 Teletherapy Dosimetry Service Using Mailed LiF Dosimeters", *Phys. Med. Biol.*, 22, 1977.
- Gaona, E., y Gómez E., "Organización e Implementación de un Programa de Aseguramiento de la Calidad en Radioterapia", *Revista Cancerología*, vol. 42, núm. 4, octubre-diciembre, 1996.
- Gaona, E. y Tovar, V.M., *Manual para uso de aceleradores lineales de electrones en radioterapia*, Edilibros, S.A., 1985
- Atarcschall and Horton, "Quality Assurance in Radiotherapy Physics", *Medical Physics Publishing*, 1991.
- AAPM, Task Group 40, "Comprehensive QA for Radiation Oncology", *Medical Physics*, vol. 21, Issue 4, April 1994.
- Dutreix, A., Järvinen, J., Thwaites, D.I., "Treatment Unit Calibration, Beam Performance", Proceeding of the Interregional Seminar for Europe, The Middle East and Africa, Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA-TECDOC-734, 1994, Viena, Austria.
- Hanson, W.F., Stovall, M., Kennedy, P., "Review of Dose Intercomparison at a Reference Point", Proceeding of the Interregional Seminar for Europe, The Middle East and Africa, Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA-TECDOC-734, 1994, Viena, Austria.
- AAPM Task Group 21, "A Protocol for the Determination of Absorbed Dose from High Energy Photon and Electron Beams". *Medical Physics*, 10, 1983.
- IAEA, "Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams", An International Code of Practice. IAEA Technical Reports Series no. 277, International Atomic Energy Agency, 1987, Vienna.
- Tello, V.M., Aguirre J.F., Hanson, W.F., Johansson, K.A., "Comparison of Absorbed Dose Calculation with the AAPM Tg-21 and the International (IAEA) Protocols", *Med. Phys.*, 16:500, 1989.
- Thwaites, D.I., Williams, J.R., Aird, E.G., Klevenhagen, S.C., And Williams, P.C., "A Dosimetry Intercomparison of Megavoltage Photon Beams in UK Radiotherapy Centres", *Phys. Med. Biol.*, 1991.
- Wittkamper, F.W., Mijnheer, B.J. and Van Kleffens, H.J., "Dose Intercomparison at the Radiotherapy Centers in the Netherlands", *Radioth. Oncol.*, 11, 1988.
- Thilander, K. A. Johansson, "Absorbed Dose Intercomparison in Sweden", Proceeding of the Interregional Seminar for Europe, The Middle East and Africa, Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA-TECDOC-734, 1994, Viena, Austria.
- Hanson, W. F., "Simple Geometric Phantom to be in the IAEA Network", Proceeding of the Interregional Seminar for Europe, The Middle East and Africa, Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA-TECDOC-734, 1994, Viena, Austria.
- Gaona, E., "Mathematical Model Associate with Calibration Curve in Thermoluminescent Dosimetry", Inter-American Meeting of Medical Physics, julio 15-19, Chicago, Illinois, EEUU., 1984.
- Gaona, E., "Análisis de Dosis Absorbida en Cristales Termoluminiscentes Expuestos a Haces de Rayos X y Electrones de Alta Energía", Memorias del X Congreso Nacional sobre Dosimetría de Estado Sólido, septiembre 11- 12, 1997, México.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que es factible establecer programas de garantía de calidad en radioterapia con evaluación y seguimiento a través de la intercomparación TLD usando fantasmas plásticos hechos con materiales propios a bajos costos para estandarizar procedimientos en radioterapia y protocolos clínicos.

Agradecimientos

Agradecemos la valiosa participación del Instituto Nacional de Cancerología de México, Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas de Perú, Instituto Nacional de Cancerología de Colombia, Hospital General de México e Instituto Carlos Ardila Lülle de Colombia.