



Revisión de Artículos

Guadalupe Martín Martín*

Comité de Redacción.

Estimadas compañeras y compañeros,

Para este último número de la Revista del año 2015, contamos con cinco interesantes comentarios sobre trabajos científicos publicados en revistas internacionales de nuestro campo de reconocido prestigio.

Para empezar, Leticia Irazola nos habla sobre los avances en su investigación sobre la dosis periférica en los tratamientos de radioterapia. En su grupo han desarrollado un nuevo detector, que por su pequeño tamaño y capacidad de medir dosis "in vivo", lo convierte en un candidato óptimo para medir dosis neutrónica con el fin de estimar el riesgo de cáncer radioinducido por los tratamientos de radioterapia. A continuación, Elena Prieto Azcárate nos presenta su trabajo sobre el desarrollo de una técnica para evaluar los movimientos externos de los pacientes durante el tratamiento de radioterapia basada en visión artificial. Este método supone una alternativa importante a la ofrecida por las casas comerciales por su bajo coste y sencillez de implementación. Por otro lado, Mauro Valente nos comenta su estudio sobre el diseño y caracterización de un prototipo capaz de generar un haz de fotones convergente para tratamientos de radioterapia. Este dispositivo aporta eficiencia a aquellos tratamientos que requieren altos niveles de dosis en zonas relativamente pequeñas rodeadas por tejidos sanos, como la radiocirugía. A continuación, Yolanda Prezado nos presenta el último experimento radiobiológico que ha llevado a cabo en su investigación sobre la novedosa técnica de radioterapia con minihaces (MBRT). En él confirma la hipótesis de que la MBRT proporciona una ganancia importante de resistencia de los tejidos sanos, especialmente en tumores radioresistentes o pediátricos, en los que los tratamientos de radioterapia ven limitada su efectividad. Finalmente, contamos con el comentario de José Manuel Lárraga, en el que nos explica el desarrollo de un método experimental para obtener factores de corrección detector-específico para campos pequeños típicos de radiocirugía. Su motivación fue encontrar una alternativa experimental a los tradicionalmente calculados bajo simulación de Monte Carlo.

Espero que disfrutéis con los trabajos publicados en esta sección y os animo, como en ediciones anteriores, a participar con sugerencias de artículos que consideréis apropiados para incluir en el próximo número de la Revista. Gracias.

* Correspondencia

Email: guadalupe.martin@salud.madrid.org



A new online detector for estimation of peripheral neutron equivalent dose in organ

Irazola L, Lorenzoli M, Bedogni R, Pola A, Terrón JA, Sanchez-Nieto B et al. *Med Phys* 2014;41(11).

Leticia Irazola

Departamento de Fisiología Médica y Biofísica, Facultad de Medicina. Universidad de Sevilla. Servicio de Radiofísica, Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla. leticia@us.es

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

El estudio habitual dosimétrico en un tratamiento de radioterapia, se circunscribe a la zona donde se han realizado las imágenes TAC para su cálculo en el planificador. Sin embargo, el resto del cuerpo recibe también una pequeña parte de la radiación cuyo efecto a medio-largo plazo puede derivar en un segundo cáncer radioinducido. Aunque esta dosis periférica no está siendo prácticamente considerada en la rutina clínica hasta la fecha, basándose en la justificación riesgo-beneficio, en los últimos años, la preocupación por este fenómeno se ha visto incrementada. Esto es debido al aumento del número de pacientes tratados con radioterapia, que gracias al éxito de curación, están teniendo una mayor esperanza de vida, lo que está dejando ver con frecuencia estos efectos secundarios.

Haciéndose eco de esta problemática, nuestro grupo trabaja en este campo desde hace varios años. En publicaciones previas, se consiguió abordar por primera vez y de forma global la aparición de segundos cánceres como efecto secundario de los tratamientos, debido a la contaminación neutrónica. Se decidió entonces, que era el momento de trasladar estos conocimientos al mundo clínico, para lo cual se precisaban dispositivos más operativos para procedimientos rutinarios.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades del trabajo?

Con el objeto de simplificar la compleja medida de neutrones en el ámbito de la radioterapia, y gracias a una colaboración internacional, se trató de adaptar un nuevo detector de neutrones térmicos, recientemente desarrollado para el campo nuclear y aeroespacial del grupo *NESCOFI@BTF*. Aunque presentó numerosos problemas, su aplicación al entorno clínico, supuso la optimización del dispositivo en aspectos electrónicos y de rechazo a fotones, mejorando sustancialmente su funcionalidad y fiabilidad. El reto principal, fue el de poder disponer de unos detectores de pequeño tamaño, comparables con algunos ya existentes como los TLD, pero de naturaleza activa, que permitiesen un conocimiento en tiempo real de las dosis.

¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

El potencial de innovación de este nuevo detector consistió no solo en la posibilidad de monitorizar la dosis a los pacientes durante la sesión del tratamiento, sino que dado su pequeño tamaño para uso en fantomas, nos abre la puerta a la evaluación de cualquier técnica nueva de radioterapia, considerando además las dimensiones del paciente. Por otra parte, el nuevo dispositivo se validó frente al de referencia (SRAM) para poder ser usado en la caracterización neutrónica de salas de tratamiento.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

La primera y más importante es la implementación de los modelos generados en los planificadores para la estimación del riesgo de segundo cáncer debido a la dosis neutrónica. Esto ha sido posible gracias a las medidas realizadas con estos detectores, con los cuales se continúa trabajando para la evaluación de sus limitaciones en situaciones especiales. Así mismo, se están desarrollando simultáneamente modelos de estimación de dosis fotónica para lograr una valoración más completa de la dosis periférica. Esto permitirá la introducción de un parámetro objetivo adicional en la toma de decisión del tratamiento más óptimo.



Development and clinical evaluation of a simple optical method to detect and measure patient external motion

Barbés B, Azcona JD, Prieto E, de Foronda JM, García M, Burguete J
Med Phys 2015;16(5).

Elena Prieto Azcárate

Ingeniera de Telecomunicación. Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica
Clínica Universidad de Navarra.
eprietoaz@unav.es

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

Como es bien sabido, el movimiento del paciente es uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la radioterapia, ya que puede ser causa de la pérdida parcial o total de su eficacia. Sin embargo, el control del movimiento del paciente durante el tratamiento dista mucho de ser una técnica estándar: el motivo es que los sistemas comerciales disponibles para ello suponen un coste elevado –en dinero y en recursos humanos– que la mayoría de los hospitales no se puede permitir.

Nos propusimos encontrar una técnica sencilla y económica de evaluar los movimientos externos de los pacientes durante el tratamiento, basada en visión artificial.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades del trabajo?

Fue preciso desarrollar un algoritmo para calcular la posición de un punto en el espacio a través de su posición en dos imágenes planas, y un sistema de calibración para obtener los parámetros de la transformación. Como una de las condiciones que buscábamos para el sistema es que permitiera mover las cámaras, el método de calibración debía ser muy rápido.

Para poder emplear cámaras ordinarias (y reducir el precio), fue preciso desarrollar un sistema de localización de los puntos en las imágenes, con precisión sub-píxel.

El resultado final tuvo que ser integrado en una interfaz de usuario robusta, que apenas necesitara la intervención del operador, que permitiera almacenar datos para posteriores estudios, y que alertara en caso de los movimientos del paciente superaran las tolerancias.

Es de justicia destacar que gran parte del trabajo fue realizado por dos estudiantes de ingeniería (José Manuel de Foronda Vigalondo y Marina García Iriarte), en sendos proyectos de fin de grado.

¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

El sistema ha demostrado ser sencillo, preciso (detecta desplazamientos lineales, circulares y sinusoidales con precisión mejor que 0.5 mm), económico (por debajo de los 1000 €) y de fácil instalación.

Se ha empleado en la práctica clínica, y se ha demostrado que no aumenta ni el tiempo de tratamiento ni la incomodidad del paciente.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

El nuevo sistema llevó a descubrir que, en algunos tratamientos puntuales, los movimientos del paciente eran mayores que los esperados. Nos ayudó a descartar un sistema de inmovilización comercial, por no tener suficiente calidad. También sirvió para hacer estudios estadísticos sobre pacientes de mama, demostrando que se ha de limitar el tiempo del tratamiento si no se quiere incurrir en errores significativos por movimientos involuntarios.

El sistema es completamente abierto, y se presta a nuevas aplicaciones: sistemas de CT 4D, gating, detección y corrección del movimiento en sistemas de imagen, etc. Los autores agradecerán cualquier sugerencia y colaboración.



Physical characterization of single convergent beam device for teletherapy: theoretical and Monte Carlo approach

Valente M, Figueroa R
Phys Med Biol 2015;21(18).

Mauro Valente

Instituto de Física E. Gaviola (IFEG) – CONICET & Fac. Matemática,
Astronomía y Física – Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
mauro.valente@gmail.com

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

La motivación general es mejorar métodos actuales para entregar dosis de manera altamente localizada combinada con reducción del nivel de dosis en tejidos y órganos expuestos.

Un análisis básico sobre el flujo y disipación de energía en las técnicas actuales de radioterapia externa muestra inconvenientes de eficiencia, debido a la naturaleza divergente en que son generados los haces de rayos X. Las técnicas de combinación de campos y métodos dinámicos compensan en cierta medida esta deficiencia, pero sin embargo no logran una reducción del tiempo de tratamiento.

El diseño, caracterización y construcción de un dispositivo capaz de generar un haz de rayos X intrínsecamente convergentes permitiría optimizar la eficiencia de tratamientos, principalmente cuando se requiere de altos niveles de dosis en zonas relativamente pequeñas rodeadas por tejidos sanos, como radiocirugía.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades del trabajo?

El primer y más difícil desafío fue explicar la interacción y transporte de radiación para facilitar la creatividad de proponer un método para producir un haz de rayos X convergente, por medio del proceso de *Bremsstrahlung* para electrones de impacto normal a superficie curva. Se comprobó por métodos Monte Carlo de que es posible a partir de un haz de electrones típico de kilo- o mega-voltaje producir un haz de rayos X convergente hacia un punto focal según el diseño del dispositivo.

El segundo desafío fue el estudio del rendimiento dosimétrico del haz convergente y su exhaustiva caracterización según los parámetros de diseño y operación. Inicialmente, se realizó un proceso de mejoramiento de las propiedades dosimétricas del haz por medio de la incorporación de accesorios, como sistemas de filtrado, colimadores multi-rejilla y optimización de los campos electro-magnéticos de enfoque del haz de electrones. Luego, siguieron estudios sistemáticos para optimización de cada componente, tanto propiedades físicas como geométricas.

¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

El logro principal es el desarrollo de un dispositivo (patentado en varios países americanos, incluidos los Estados Unidos) capaz de generar un haz convergente a partir de un haz de electrones producido en un acelerador lineal típico de uso clínico. Luego, fue confirmada la capacidad dosimétrica del haz convergente para lograr un recubrimiento óptimo en el target entregando una ínfima cantidad de dosis en el entorno.

En un contexto más específicamente físico, se destaca la descripción detallada de procesos de interacción de partículas cargadas con materiales modelando de la sección eficaz doble diferencial en energía y ángulo sólido describiendo la generación de un haz de fotones convergente por medio de *Bremsstrahlung* en el ánodo y posterior modulación en sistemas de filtrado y colimación.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

El aporte significativo del presente trabajo es el diseño y caracterización de un prototipo capaz de generar un haz de fotones convergente para aplicaciones radioterapéuticas. El rendimiento dosimétrico confirma la capacidad de concentrar altos niveles de dosis en regiones acotadas minimizando la dosis en tejidos sanos circundantes.

Actualmente se encuentra en desarrollo un modelo analítico para sistema de cálculo de convolución de *kernels* y entorno de simulación Monte Carlo para planificación de tratamientos en modalidad “*dose painting*”. Asimismo, existen avances en acuerdos público-privado para financiar la construcción de un prototipo, capaz de acoplarse como accesorio a un acelerador convencional.



Tolerance to Dose Escalation in Minibeam Radiation Therapy Applied to Normal Rat Brain: Long-Term Clinical, Radiological and Histopathological Analysis

Prezado Y, Deman P, Varlet P, Jouvion G, Gil S, L'Cléch C et al. *Radiat Res* 2015;184(3).

Yolanda Prezado

New Approaches in Radiotherapy team, Laboratoire Imagerie et Modelisation pour la Neurobiologie et la Cancerologie, CNRS, Campus d'Orsay, Francia.
eprietoaz@unav.es

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

La radioterapia (RT) es uno de los métodos más utilizados para el tratamiento del cáncer. Desafortunadamente, la tolerancia de los tejidos sanos sigue constituyendo el techo de las dosis al tumor. En consecuencia, el tratamiento de tumores radioresistentes o de tumores pediátricos, ve limitada su efectividad.

Una posible solución es emplear el hecho de que los parámetros físicos de la radiación, como por ejemplo, el fraccionamiento espacial y temporal, influyen la respuesta biológica. En ello se basa una novedosa técnica de radioterapia: la RT con minihaces (MBRT). MBRT combina el uso de tamaños de campos submilimétricos (explorando los efectos de dosis-volumen) con un fraccionamiento espacial de la dosis (que favorece la reparación del tejido por migración celular). La MBRT se implementó en la instalación europea para la radiación sincrotrón (ESRF) en el 2009. Una vez realizados los estudios técnicos y dosimétricos, el siguiente paso era confirmar la hipótesis de que la MBRT proporciona una ganancia muy notable de resistencia de los tejidos sanos (en particular del sistema nervioso central). Ese fue el objetivo con el que se planificó y se llevó a cabo el experimento radiobiológico descrito en el artículo publicado en *Radiation Research*.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades del trabajo?

El principal reto de los estudios de radiobiología es la necesidad de un enfoque interdisciplinar: la realización de este tipo de trabajos requiere la coordinación de varios equipos con especialidades y sensibilidades diferentes.

Los experimentos radiobiológicos, como el que nos ocupa, son complicados logísticamente. Se requiere optimizar los tiempos y sincronizar perfectamente el trabajo de varias personas que se ocupan de tareas diversas como el control de la irradiación, la anestesia de los animales, etc. El seguimiento a largo plazo requiere la movilización de varios investigadores durante al menos 1 año: se necesitan uno o dos investigadores que hagan observaciones del comportamiento animal regularmente, otro investigador especializado en imagen que gestione las campañas de resonancia magnética nuclear, técnicos que realicen los marcajes histopatológicos y al menos un médico especialista en anatomía patológica que interprete los resultados de la histología. Finalmente, hay que compilar y centralizar los datos de los distintos tipos de seguimiento, correlacionarlos entre sí y realizar un análisis temporal.

¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

Este estudio ha proporcionado una evidencia clara de que la MBRT es capaz de desplazar la curva de tolerancias de los tejidos sanos (cerebro) de manera muy significativa. Dosis tan elevadas como 100 Gy en una fracción son bien toleradas por el cerebro de rata sana (irradiación cerebral completa) en comparación a unos 22 Gy en irradiación convencional de animales sanos.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

De confirmarse en humanos, un aumento tan importante de la resistencia de los tejidos sanos abriría la puerta a un tratamiento eficaz de tumores radioresistentes. La preservación de los tejidos en MBRT tiene un gran interés en oncología pediátrica, donde los tratamientos están aún más limitados por el riesgo de complicaciones en el desarrollo de los infantes. Además, MBRT podría permitir la re-irradiación del cerebro meses o años después del primer tratamiento de radioterapia.



Experimental determination of field factors for small radiotherapy beams using the daisy chain correction method

Lárraga Gutiérrez JM
Phys Med Biol 2015;60(15).

Jose Manuel Lárraga Gutiérrez

Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, D.F., México.
jlarraga@innn.edu.mx

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

Ya hace más de cincuenta años que se aplica la radiocirugía en pacientes para el tratamiento de diversas patologías. Sin embargo, desde entonces y hasta la fecha, la medición precisa y exacta de la dosis depositada por estos campos se ha visto comprometida debido principalmente a dos retos: a la falta de equilibrio lateral de la partícula cargada y a la dependencia de la respuesta de los detectores de radiación en función de la calidad del haz. Para atacar estos problemas, se propone el uso de factores de corrección detector-específico para corregir los tradicionales factores de dispersión total por los cambios en la respuesta de los detectores en condiciones fuera de equilibrio. Estos factores de corrección se calculan por simulación Monte Carlo, en donde tanto la fuente como el detector se modelan en la simulación. Actualmente, se pueden encontrar en la literatura una gran cantidad de factores de corrección detector-específico para varios detectores: diodos, diamantes y cámaras de ionización. Sin embargo, en mi opinión, el cálculo de estos factores posee incertidumbres inherentes a la simulación Monte Carlo que no se pueden evitar y cuya magnitud no se conoce con precisión. Se debe conocer en su totalidad, tanto las características de la fuente como la geometría y composición de los detectores. Lo anterior motivó el desarrollo del presente trabajo para proponer una alternativa experimental que permitiera determinar la dosis depositada por campos pequeños.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades del trabajo?

Fueron dos los principales retos para el desarrollo del presente trabajo. El primer reto fue encontrar una metodología experimental que permitiera medir la dosis absorbida en campos pequeños. Para ello, encontré utilidad a un método ampliamente usado desde hace ya varios años para medir factores de dispersión en campo pequeños, el método de corrección en cadena. El segundo reto, fue demostrar que el método de corrección en cadena es equivalente al uso de factores de corrección detector-específico si se cumple una condición.

¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

El principal hallazgo de ésta investigación es haber mostrado la relación que existe entre el nuevo formalismo basado en los factores de corrección detector-específico y el método de corrección en cadena. Mediante el uso de un campo intermedio y un detector de referencia (como una cámara de ionización) se puede corregir los factores de dispersión para varios detectores utilizados en la dosimetría de campos pequeños (diodos, diamante, cámara de ionización). Los factores que se pueden obtener con el método de corrección en cadena son equivalente a los factores de corrección detector-específico con la condición de que éstos no dependan fuertemente del tamaño de campo.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Este trabajo muestra que existe una alternativa experimental al uso de factores de corrección calculados por simulación Monte Carlo. Dicha alternativa, no es sensible a variaciones en las características de la fuente, ni en el diseño de los detectores de radiación.