



Revisión de Artículos

Francisco Clemente*

Comité de Redacción.

Estimados compañeros,

Como es habitual, quiero comenzar la sección agradeciendo sinceramente a los compañeros que, de forma desinteresada, han contribuido a enriquecer la presente sección de la revista.

En primer lugar, se presenta un estudio acerca del uso de blindajes sobre pacientes para la protección de tejidos durante las exploraciones de radiodiagnóstico, contando con la colaboración de Cristian Candela. A continuación, Enric Fernández nos presenta un trabajo que analiza la calidad de exploraciones de CT dual, concretamente las imágenes virtuales monoenergéticas. Seguidamente, se recoge un estudio acerca del empleo de películas radiocrómicas para la dosimetría de protones hasta 10 MeV, a cargo de Daniel Sánchez-Parcerisa. Araceli Gago nos presenta también un interesante estudio de modelado radiobiológico a dosis altas en el tratamiento de cáncer de pulmón. En la quinta reseña, se recoge un estudio, ofrecido por Javier Vijande, acerca de la intercomparación entre los datos de fabricante y medidas clínicas para diversas fuentes de braquiterapia. Para concluir, Óscar Pera presenta una interesante aplicación de la impresión 3D a los tratamientos de braquiterapia.

Agradeciendo una vez más a los autores por su tiempo y colaboración, me despidió deseando que la sección sea de vuestro agrado.

Un fuerte abrazo.

* Correspondencia
Email: pclementegutierrez@gmail.com



Use of out-of-field contact shielding on patients in medical imaging: A review of current guidelines, recommendations and legislative documents

Candela-Juan C, Ciraj-Bjelac O, Sans Merce M, Dabin J, Faj D, Gallagher A, de Las Heras Gala H, Knežević Z, Malchair F, De Monte F, Simantirakis G, Theodorakou C
 Phys Med 2021;86:44-56.

Cristian Candela Juan

Centro Nacional de Dosimetría (CND), Instituto Nacional de Gestión Sanitaria, Valencia, España.

ccanjuan@gmail.com

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

Este estudio se inició en 2019 en el seno del Grupo de Trabajo WG12 del *European Radiation Dosimetry Group* (EURADOS). El objetivo fue evaluar el grado de consenso existente entre la legislación de distintos países, así como entre las recomendaciones de sociedades y organismos científicos nacionales e internacionales, en relación al uso de blindajes sobre pacientes para proteger determinados órganos y tejidos durante las exploraciones de radiodiagnóstico. La motivación para llevar a cabo esta revisión bibliográfica era poder concluir si existía un claro consenso o, por el contrario, si era necesario actualizar la legislación y las recomendaciones vigentes con el fin de fomentar la mejor práctica posible con la tecnología y con los conocimientos actuales.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

Esta revisión bibliográfica incluye tanto documentos legislativos nacionales como guías y recomendaciones, la mayoría de ellas no publicadas en revistas científicas indexadas. Por lo tanto, tuvimos que realizar una búsqueda minuciosa, así como solicitar la colaboración de contactos nacionales, tanto para conocer los documentos existentes en vigor como, en algunos casos, para poder traducirlos o interpretarlos adecuadamente. Además, algunos de los documentos evaluados son ambiguos o poco específicos y no resultó trivial clasificarlos en alguna de las categorías que definimos. Por poner un ejemplo, en España, el Real Decreto 1085/2009 establece que “En las instalaciones se deberá disponer de las prendas de protección adecuadas con objeto de que sean utilizadas por el operador y para proteger al paciente si fuese necesario.” Sin embargo, este Real Decreto no define en qué casos se considera “necesario” o quién lo debe determinar.

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

La conclusión más importante del estudio es que, en general, no hay consenso entre las recomendaciones de distintos organismos y sociedades científicas y profesionales en relación al uso de blindajes sobre pacientes sometidos a exploraciones de radiodiagnóstico. También hay demasiadas recomendaciones que no son suficientemente claras desde el punto de vista práctico. Otra de las conclusiones es que el uso de estos blindajes se trata de forma más específica en guías y recomendaciones, no en documentos legislativos, los cuales se centran más en la necesidad de aplicar medidas de protección adecuadas y de disponer de los blindajes para cuando se requieran. En el estudio se identifican otras conclusiones adicionales, analizadas en el artículo publicado en función de la modalidad de imagen (radiografía convencional, fluoroscopia, TC, mamografía y radiografía dental) y del órgano o tejido a proteger.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

El estudio pone de manifiesto la necesidad de elaborar un documento de consenso actualizado, claro y conciso, al menos a nivel europeo, en relación al uso de blindajes sobre pacientes sometidos a exploraciones de radiodiagnóstico. Esto permitirá llevar a cabo una práctica más adecuada y consistente en todas las instalaciones, a la vez que minimizará la confusión de pacientes y trabajadores. Algunos autores del estudio fuimos invitados a formar parte de un grupo con representantes de diferentes sociedades científicas y profesionales europeas con interés directo en la protección de los pacientes sometidos a exploraciones con radiaciones ionizantes. Uno de los objetivos principales de este último grupo ha sido elaborar el citado documento de consenso.



Determination Of The Optimal Range For Virtual Monoenergetic Images In Dual-Energy Ct Based On Physical Quality Parameters

Fernández-Velilla E, González MA, Quera J, Pera O, Sanz X, Foro P, Membrive I, Rodríguez de Dios N, Reig A, Algara M
 Med Phys 2021;48:5085-95.

Enric Fernández-Velilla Ceprià

Servicio de Oncología Radioterápica. Hospital del Mar, Barcelona.
 Universitat Pompeu Fabra. Barcelona.
efernandezvelilla@psmar.cat

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

En primer lugar, queremos agradecer a la revista habernos dado la posibilidad de compartir nuestro estudio y resultados con los socios de la SEFM.

En 2017 pusimos en marcha el nuevo Servicio de radioterapia del Hospital del Mar de Barcelona. Entre los nuevos equipos figuraba uno de los primeros TC para simulación Siemens Somatom Confidence de Europa. Entre las posibilidades que nos ofrecía, pusimos en marcha la TC de Doble Energía (DECT) para tumores de cabeza y cuello. Sin embargo, aunque la literatura recogía múltiples estudios de sus ventajas clínicas, no encontramos una validación de las imágenes siguiendo los parámetros comunes de calidad basados en criterios físicos. Concretamente analizamos la calidad de las imágenes virtuales monoenergéticas (VME) y las comparamos con las estándar de kilovoltaje único (SECT) a 120 kV. Puesto que el beneficio de la VME de bajas energías se debe principalmente a la potenciación del contraste yodado, introdujimos también las series a 80 kV SECT en el estudio para comprobar si las VME a bajas energías también eran superiores a ellas.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

La dificultad a la que nos enfrentamos fue la referente a los criterios de calidad aceptables: Así como algunos factores de calidad tienen criterios de aceptación absolutos, proporcionados ya sea por los propios fabricantes o por protocolos de estandarización (por ejemplo, la uniformidad de la imagen, la calibración de HU o la desviación estándar del ruido), otros eran de tipo comparativo y solo permitían dar una idea de mejora o empeoramiento respecto a sus valores a 120kV. Este fue el caso de la resolución a bajo contraste, la Función de Transferencia de la Modulación (MTF) o el espectro de ruido (Noise Power Spectrum o NPS).

El principal reto consistió en la realización de los cálculos de los parámetros de calidad. El método que utilizamos fue la realización de todos ellos mediante macros de Visual Basic en Microsoft Excel, lo que exigía la conversión de las imágenes DICOM en archivos de texto para su posterior importación a Excel.

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

Nuestro estudio presenta el método utilizado de manera ordenada, pudiendo considerarse una guía resumida y sencilla para aquellos que quieran comprobar la calidad de cualquier tipo de imágenes. En concreto para las VME en cabeza y cuello pudimos verificar que realmente ofrecen una mejora del contraste respecto a 80 kV y 120 kV. Sin embargo, las series a energías realmente bajas (40 keV) presentaban niveles de ruido y falta de uniformidad que las hacían de uso no recomendable, y las de energías a partir de 55 keV no presentaban ninguna ventaja respecto a 80 kV. Resumiendo, la ventana en la que las imágenes VME proporcionaban un beneficio neto era estrecha, entre 45 y 55 keV.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Nuestro estudio sirve de ejemplo estructurado de cómo validar una técnica nueva en TC de simulación. En nuestro caso observamos que la Doble Energía proporcionaba imágenes de buena calidad con una mejora del contraste en el yodo, aunque solo en un rango de energías estrecho. En nuestra profesión la innovación tecnológica es constante, haciendo necesario verificar si las nuevas técnicas proporcionan un beneficio real y en qué condiciones de utilización. Sin duda el conocimiento profundo de los sistemas y equipos es una de las competencias más importantes de la Radiofísica Hospitalaria, y tener profesionales con capacidad de hacer balance de la utilidad de la nueva tecnología se convierte en una pieza fundamental de la medicina moderna.

Radiochromic film dosimetry for protons up to 10 MeV with EBT2, EBT3 and unlaminated EBT3 films

Sanchez-Parcerisa D, Sanz-García I, Ibáñez P, España S, Espinosa A, Gutiérrez-Neira C, López A, Antonio Vera JA, Mazal A, Fraile LM, Udías JM
Phys Med Biol 2021;20;66.

Daniel Sanchez Parcerisa

Grupo de Física Nuclear, EMFTEL and IPARCOS, Universidad Complutense de Madrid, CEI Moncloa, Madrid, España.
dsparcerisa@ucm.es

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

En el Grupo de Física Nuclear de la UCM estamos realizando una serie de experimentos de radiobiología con el haz de protones de 10 MeV de CMAM, y para ello necesitamos tener una dosimetría precisa. Utilizamos tasas de dosis muy altas (>100 Gy/s) para estudiar el efecto FLASH. Las películas radiocrómicas han demostrado tener una respuesta independiente a la tasa de dosis, pero con protones de este rango de energías (0-10 MeV), su eficiencia decae sensiblemente según aumenta el LET (*linear energy transfer*). Por tanto, necesitábamos conocer su curva de calibración para poder corregir por este efecto.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

Trabajar con un haz experimental es muy distinto a trabajar con un haz clínico: no hay planificador, no hay “unidades de monitor”, etc. Todos los cálculos se han de realizar a partir de principios físicos, y la inestabilidad del haz en ocasiones dificulta realizar medidas precisas.

Además, los trabajos existentes en la literatura utilizaban definiciones muy variadas de para el LET: cálculos analíticos, por Monte Carlo, promediando por dosis, promediando por fluencia... Por lo tanto, ha sido necesario un trabajo de homogeneización y reinterpretación de los datos existentes para integrarlos en nuestro estudio.

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

Hemos construido un marco coherente para interpretar las curvas de eficiencia relativa vs LET existentes en la literatura, y a partir de ese marco y de numerosas medidas experimentales, hemos caracterizado la respuesta de las radiocrómicas EBT3 para protones de baja energía.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Hemos optimizado el procedimiento para realizar y corregir medidas dosimétricas con películas radiocrómicas para haces de protones de baja energía, posibilitando futuros experimentos en radiobiología en cualquiera de las líneas experimentales del CMAM, así como en otras posibles líneas (CNA, haces clínicos, etc.).



Evaluation of indirect damage and damage saturation effects in dose-response curves of hypofractionated radiotherapy of early-stage NSCLC and brain metastases

Gago-Arias A, Neira S, Pombar M, Gómez-Caamaño A, Pardo-Montero J
Radiother Oncol 2021;161:1-8.

María Araceli Gago Arias

Group of Medical Physics and Biomatemathics, Health Research Institute (IDIS), Radiofísica e Protección Radiológica, Hospital Clínico Universitario de Santiago.
maria.araceli.gago.arias@sergas.es

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La principal motivación ha sido el intenso debate que se mantiene en el campo del modelado radiobiológico acerca de la validez del modelo lineal cuadrático, LQ, a fracciones de dosis grandes. Se trata de un tema que cobra especial relevancia dada la expansión de la radioterapia hipofraccionada en los últimos años, la cual agudiza la necesidad de disponer de modelos radiológicos robustos para estos tratamientos.

Los estudios experimentales han reportado efectos contradictorios. Por un lado se ha observado que las dosis altas desencadenan mecanismos de muerte celular indirecta, relacionados con el daño vascular y la activación de la respuesta inmune, dando lugar a una sobre-respuesta con respecto a lo esperado de las extrapolaciones a dosis bajas. Otros estudios han reportado pérdida de efectividad a dosis altas, o saturación del daño, esta infra-respuesta ha sido descrita mediante el modelo lineal-cuadrático-lineal, LQL. Existe además mucha controversia sobre la contribución de estos efectos a las tasas de control tumoral de los tratamientos. Algunos trabajos han concluido que el modelo LQ ajusta adecuadamente los datos de radioterapia hipofraccionada y que las tasas de control observadas son consistentes con el escalado de la dosis.

En este estudio hemos querido ampliar los análisis previos considerando la posibilidad de observar tanto efectos de muerte indirecta como de saturación del daño, es decir, sobre o infra-respuesta con respecto al modelo LQ, y el efecto de la proliferación celular durante el tratamiento. Nos centramos en la respuesta a tratamientos de metástasis cerebrales y de cáncer de pulmón de células no pequeñas (NSCLC) en estadio temprano.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

En primer lugar consideramos la necesidad de trabajar con modelos sencillos, añadiendo uno o a lo sumo dos parámetros extra con respecto al modelo LQ, para asegurar la aplicabilidad clínica y facilidad de validación en nuevas cohortes de pacientes. Otro punto sensible en este tipo de trabajos es la necesidad de elaborar bases de datos homogéneas y consistentes, escogiendo estudios que manejen la misma definición del acontecimiento clínico deseado. Nosotros utilizamos la supervivencia (Kaplan-Meier) libre de progresión local como estimador del control local, asegurándonos de que los estudios incorporados no consideraban la muerte como evento.

Es importante además tener en cuenta las incertidumbres inherentes a los estudios clínicos, y la posible dependencia de la calidad de ajuste de los modelos con los valores asignados a sus parámetros radiobiológicos, por ejemplo el α/β asociado al tejido. Esta elección puede afectar de forma importante a los resultados, y en muchos casos los valores de dichos parámetros están aún en discusión. En nuestro trabajo estudiamos estas dependencias en profundidad, descartando también posibles correlaciones de las dosis y las tasas de control con otros factores que pueden introducir sesgos, como es el caso del volumen tumoral.

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

Para NSCLC observamos que una extensión del modelo LQ con un término extra en la componente cuadrática, en concreto un incremento del término β con la raíz cuadrada de la dosis, proporciona mejores ajustes que el LQ cuando se asume un α/β de 10 Gy. Esto podría interpretarse como una contribución de la muerte indirecta a dosis altas acorde con lo observado en estudios experimentales. Sin embargo, la ventaja estadística aportada por este modelo es fuertemente dependiente del valor de α/β asociado al tejido. Por otro lado, el modelo LQL proporcionó el mejor ajuste en los tratamientos de metástasis cerebrales en todos los escenarios analizados, lo cual sugiere que la saturación del daño a altas dosis juega un papel relevante en este tipo de lesiones.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Esperamos que este estudio estimule la investigación en el área del modelado radiobiológico, especialmente en NSCLC, dada la sensibilidad de nuestros resultados al α/β de este tejido y la variabilidad de los valores reportados en la literatura para este parámetro.

Además, la disponibilidad de modelos radiobiológicos capaces de reproducir con mayor verosimilitud la respuesta tanto del NSCLC como de las metástasis cerebrales a la radioterapia convencional e hipofraccionada contribuirá al diseño de tratamientos óptimos para este tipo de lesiones. La evidencia reportada permitiría por ejemplo reconsiderar la prescripción de dosis para estos tumores, evitando el tratamiento excesivo o insuficiente. Todo ello sin olvidar que la respuesta de los tejidos normales a estas dosis debe ser siempre considerada para una correcta definición de la ventana terapéutica.



Source strength determination in iridium-192 and cobalt-60 brachytherapy: A European survey on the level of agreement between clinical measurements and manufacturer certificates

Vijande J, Carlsson Tedgren Å, Ballester F, Baltas D, Papagiannis P, Rivard MJ, Siebert FA, De Werd L, Perez-Galatayud J
Phys Imaging Radiat Oncol 2021;19:108-11.

Javier Vijande Asenjo

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear - IRIMED - IFIC
Universidad de Valencia.
javier.vijande@uv.es

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

Dentro del BRAPHYQS se está cerca de finalizar un documento englobando las recomendaciones oficiales de la GEC-ESTRO respecto a la calibración de semillas de braquiterapia de alta tasa de dosis (HDR) y de dosis pulsada (PDR). Una de las etapas más importantes dentro de dicho procedimiento de calibración consiste en la medida que debe realizar el físico médico en su institución del *reference air-kerma rate* (RAKR) de cada semilla y la subsiguiente comparación con los valores suministrados por el fabricante en el certificado de calibración. Dentro del BRAPHYQS existía la convicción, basada en la experiencia clínica de sus miembros, que el nivel de tolerancia actual, un 5%, era demasiado generoso, y que cualquier medida realizada con las técnicas y equipamientos actuales entraría dentro de dicho margen salvo que se hubiera cometido un error muy grave. Dicho de otra manera, se creía que un 5% de tolerancia no permitía en la práctica distinguir fallos en la metodología realizada en el centro o en la calibración de la semilla recibida.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

Indudablemente el mayor reto que nos encontramos fue la homogeneidad de los datos obtenidos dado que nos remontamos a archivos y medidas realizadas a lo largo de los últimos 20 años en hospitales localizados en diferentes países de la Unión Europea. Esto implica que no todos los centros conservaban el mismo nivel de detalle e incluso en varios de los casos las personas que habían realizado dichas medidas se habían jubilado o incluso habían fallecido, con lo que conseguir la información adicional necesaria fue imposible.

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

El hallazgo más relevante es que estábamos en lo cierto y realmente una tolerancia del 5% es un valor extremadamente generoso. Prácticamente el 99% de las medidas compiladas en el caso de Ir-192 se encuentran dentro de una diferencia del 3%, mientras que en el caso del Co-60 todas las medidas recopiladas se incluían dentro de dicho intervalo. Esto implica que incluso se podría sugerir límites más restrictivos y que la tecnología y metodologías actuales permiten realizar medidas de calibración en los centros hospitalarios europeos con un nivel de calidad excelente.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Basándose en este resultado las nuevas recomendaciones de GEC-ESTRO respecto a la calibración de fuentes HDR y PDR en braquiterapia asumirán una diferencia máxima del 3% entre la medida del RAKR realizada en el centro hospitalario y el valor indicado en el certificado de calibración.



Validation of 3D printing materials for high dose-rate brachytherapy using ionisation chamber and custom phantom

Pera O, Membrive I, Lambisto D, Quera J, Fernandez-Velilla E, Foro P, Reig A, Rodríguez N, Sanz J, Algara V, Algara M
Phys Med Biol 2021;66(18).

Óscar Pera Cegarra

Radiation Oncology Department, Hospital del Mar, Parc de Salut Mar, Barcelona, Spain.
opera@parcdesalutmar.cat

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La tecnología de impresión 3D ha tenido en los últimos años un auge espectacular convirtiéndose en una pieza fundamental en el futuro de sectores como la bioingeniería, la arquitectura y la medicina. Sin embargo, en el campo de la Oncología Radioterápica su uso es mucho menos frecuente pese a ser sus aplicaciones potenciales muy interesantes. El objetivo del estudio es establecer un procedimiento de validación de materiales de impresión 3D para su uso en radioterapia mediante cámara de ionización y un maniquí estandarizado de fabricación propia.

¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

Nuestro hospital no disponía de una unidad de impresión 3D, como sí lo hacen ya algunos centros actualmente, ni de un equipo de bioingeniería que pudiese colaborar con el proyecto. Por lo que como servicio nos vimos obligados a superar 4 obstáculos: La compra de la propia impresora (con todas las opciones y variantes que presenta la tecnología de impresión 3D), la adquisición y/o formación de los programas necesarios (de hecho, ante la inexistencia de soluciones comerciales optamos por crear nuestro propio *software*), el material a utilizar (considerando no solo el comportamiento ante la radiación, sino también la biocompatibilidad) y por último, las cuestiones más prácticas, como la logística y el mantenimiento.

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

Mediante este estudio se establece un sistema de caracterización dosimétrica de los materiales que se deseen utilizar en radioterapia. A diferencia de otros trabajos previos, se propone realizar esta caracterización mediante cámara de ionización y un maniquí estándar, por lo que se reduce la variabilidad de la medida y se permite la comparación de resultados con otros centros.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

La penetración de la impresión 3D en el ámbito hospitalario es cada vez mayor, aunque en los servicios de radioterapia continúa siendo una técnica desconocida y de una muy baja implementación. Sin embargo, la impresión 3D abre un amplio abanico de posibilidades en nuestro campo que pueden explotarse en un futuro. Especialmente si en los hospitales se van creando unidades de impresión 3D o departamentos de bioingeniería que faciliten la adopción de esta tecnología.