



Revisión de Artículos

Julia Garayoa Roca*

Comité de Redacción.

Estimados compañeros,

Es un placer presentaros las contribuciones con las que contamos en esta ocasión en esta sección de la revista, y que nos transportan a diversas áreas de nuestra especialidad.

En primer lugar tenemos a Eliseo Vañó y sus colaboradores que nos hablan de su trabajo “Alerts to improve occupational protection during Interventional Radiology. More attention is needed for simple but frequent procedures”: el análisis de un importante número de dosis ocupacionales en trabajadores de radiología intervencionista les ha permitido concluir en qué tipo de procedimientos hay margen de optimización en las medidas de protección radiológica adoptadas.

La reseña de Alejandro Prado de su trabajo “Dosimetrical and geometrical parameters in single-fraction lattice radiotherapy for the treatment of bulky tumors: Insights from initial clinical experience” nos introduce en la novedosa técnica *Lattice Radiotherapy* y los desafíos que plantea.

Mario Alcocer nos lleva al mundo de la radioterapia dirigida con radioligandos en su reseña de su artículo titulado “Physics and small-scale dosimetry of α -emitters for targeted radionuclide therapy: The case of ^{211}At ”, donde presentan la validación de un código Monte Carlo para simular el transporte de partículas alfa en el medio biológico.

Finalmente contamos con dos reseñas del área de la protonterapia realizadas por dos compañeras que desarrollan su actividad profesional fuera de España. Por un lado María Teresa Romero nos comenta las conclusiones de su trabajo “Range shifter contribution to neutron exposure of patients undergoing proton pencil beam scanning”, donde estudian la contribución a la dosis neutrónica cuando se usan materiales plásticos para modular el rango de los haces terapéuticos de protones. Gloria Vilches presenta su trabajo “Experimental comparison of cylindrical and plane parallel ionization chambers for reference dosimetry in continuous and pulsed scanned proton beams” presentado en el congreso de la ESTRO de 2023 y donde presentan datos experimentales que comparan diferentes tipos de cámaras en diferentes calidades de haz de protones.

Espero que estas reseñas sean de vuestro agrado y que os animéis a leer los artículos completos a los que se refieren. Como siempre, agradecemos enormemente el tiempo que han dedicado los autores a la elaboración de las reseñas que hacen posible esta sección.

Un afectuoso saludo.

* Correspondencia
Email: garayoa.julia@gmail.com



Alerts to improve occupational protection during Interventional Radiology. More attention is needed for simple but frequent procedures

Vano E, Sanchez Casanueva RM, Fernandez Soto JM, Ten Moron JJ
Phys Med. 2024 May;121:103361.

Eliseo Vañó

Instituto de Investigación Sanitaria del Hospital Clínico San Carlos and Medical Physics Service, Madrid, Spain; Department of Radiology, Medical School. Complutense University, Madrid, Spain.

doi: 10.1016/j.ejmp.2024.103361

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

- Había dosis ocupacionales para determinados tipos de procedimientos intervencionistas (los más simples y frecuentes), con valores de dosis relativamente elevados en radiólogos intervencionistas.

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

- Manejar un gran número de datos de dosis ocupacionales individualizadas para cada uno de los procedimientos intervencionistas realizados durante dos años.
- Se ha utilizado un sistema automático de gestión de dosis (DOLQA) que registra entre otros parámetros, los indicadores de dosis que reciben los pacientes, las dosis ambientales en el arco del equipo de rayos X, y las dosis ocupacionales de los profesionales presentes en la sala de intervencionismo (sobre el delantal plomado) medidas con dosímetros electrónicos.

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

- Se han analizado 3100 valores de dosis ocupacionales medidas para procedimientos intervencionistas individuales, realizados durante los dos últimos años, en un Hospital Universitario. El análisis de esos procedimientos (con el sistema automático de gestión de dosis DOLQA) ha incluido también los valores de los indicadores de dosis a los pacientes (producto kerma-área) y los valores de la dosis ambiental medida en el arco del equipo de rayos X.
- Se han seleccionado dos grupos de procedimientos, con indicadores de dosis a los pacientes mayores de $100 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ (procedimientos complejos) y menores de $30 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ (procedimientos simples). El cociente entre la dosis ocupacional y la dosis medida por el dosímetro ambiental se ha utilizado como indicador del nivel de protección para los radiólogos.
- Para toda la muestra analizada, en un 8.4% de procedimientos, las dosis ocupacionales fueron mayores de $100 \mu\text{Sv}$ por procedimiento. Para procedimientos complejos, el cociente de la dosis ocupacional con la dosis registrada por el dosímetro ambiental del arco, fue del 3.3%. Sin embargo, para procedimientos simples, ese cociente fue del 28.4%. Este porcentaje es 9 veces mayor que el valor obtenido para procedimientos complejos, lo que es indicativo de una protección deficiente en los procedimientos simples (y más frecuentes).

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

- Incluso los procedimientos intervencionistas más simples, con indicadores de dosis a los pacientes relativamente bajos, pueden implicar dosis ocupacionales bastante elevadas para los radiólogos si no se utilizan de forma adecuada y sistemática, los dispositivos de protección radiológica (especialmente las mamparas suspendidas del techo). Estos procedimientos simples pueden ser relativamente frecuentes en las salas de intervencionismo y conviene llamar la atención sobre la necesidad de optimizar la protección radiológica ocupacional en los programas de formación.



Dosimetric and geometrical parameters in single-fraction lattice radiotherapy for the treatment of bulky tumors: Insights from initial clinical experience

Prado A, Martí J, García de Acilu P, Zucca D, de la Casa MA, García J, Alonso L, Martínez A, Montero Á, Rubio C, Fernández-Letón C
Phys Med. 2024 Jul;123:103408.

Alejandro Prado

Departamento de Radiofísica y Protección Radiológica. Hospital Universitario HM Sanchinarro. HM Hospitales. Madrid, Spain.
<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2024.103408>

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La pregunta inicial que dio lugar a este trabajo fue la de cómo escalar dosis en tumores grandes sin aumentar las probabilidades de provocar efectos adversos en los órganos circundantes. El empleo de SBRT no es recomendable en estos casos, por lo que hubo que buscar otras alternativas. En este punto es donde empezamos a considerar la radioterapia de fraccionamiento espacial (SFRT). Esta técnica se basa en el establecimiento de un patrón que alterna picos de dosis ablativas y valles de dosis tan bajas como sea posible. Una de las modalidades de SFRT es la radioterapia lattice (LRT), en la cual los picos de dosis están contenidos en unos vértices esféricos distribuidos dentro del GTV y los valles de dosis se encuentran tanto entre los vértices como en la periferia del volumen a tratar. La LRT permite un escalado de dosis extremo dentro de los vértices a la vez que reduce la dosis recibida por los órganos de riesgo. Además, los casos publicados tratados con LRT muestran que tanto la tolerancia a este tipo de tratamiento como la posterior reducción del volumen tumoral son asombrosas. Con estos argumentos y con la motivación extra de poner en marcha una técnica novedosa comenzamos a trabajar.

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

La LRT es una técnica bastante reciente, por lo que aún no existe un consenso claro sobre cómo ponerla en práctica. Por tanto, encontrar referencias que describan con claridad tanto los parámetros geométricos como los dosimétricos empleados no fue sencillo. La mayoría de los trabajos publicados presentan de manera escueta estos parámetros y en algunos de ellos ni siquiera se mencionan. Por otro lado, entre los artículos que los detallan encontramos discrepancias significativas en sus definiciones. En este sentido, cabe destacar las diferencias entre las definiciones de dosis de pico, dosis de valle y ratio de dosis valle-pico (RDVP), o la descripción espacial del patrón de vértices, parámetros esenciales en LRT. Por otro lado, hubo que testear varias estrategias de planificación y optimización en las que variamos tanto las funciones objetivo como las estructuras de control hasta conseguir un resultado satisfactorio que sirviese de partida para los casos reales. Esto nos llevó un tiempo debido a que las publicaciones existentes que detallan la planificación/optimización de tratamientos LRT también son escasas.

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

En primer lugar, hemos introducido una nueva metodología de cálculo para RDVP. Este valor lo reportamos como una distribución y no como un valor único. Cada uno de los valores $RDVP_{ij}$ con los que se construye la distribución se calcula a partir de las dosis en los pares de vértices i - j contiguos (picos) y la dosis en el punto medio de la línea que los une (valle). De este modo, se tiene en cuenta el patrón geométrico alterno de picos y valles de dosis en la definición de RDVP, cosa que no se observa en otras definiciones existentes.

En segundo lugar, hemos testado con éxito la técnica para un amplio rango de volúmenes del GTV (400-3700 cm³), y hemos encontrado correlaciones entre variables geométricas como la distancia centro-centro entre vértices, el número de vértices empleados o el volumen del GTV, y variables dosimétricas como las distintas definiciones de RDVP, el porcentaje de GTV libre de 5Gy o la dosis periférica.

Por último, describimos en detalle la geometría del patrón de vértices utilizado. Además, empleamos parámetros para su descripción como el diámetro de los vértices, la distancia centro-centro entre los mismos, la distancia entre planos de vértices consecutivos o la contracción del GTV sobre la cual se colocan los vértices.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

En este artículo ponemos de manifiesto la necesidad de unificar las definiciones de dosis de valle, dosis de pico y de RDVP. Además, pensamos que es esencial una descripción más completa de los parámetros geométricos y dosimétricos asociados a LRT. Esto permitiría mejorar la consistencia entre los estudios que reporten tratamientos LRT y ayudaría en la creación de ensayos clínicos que optimicen dichos parámetros para maximizar la eficiencia de estos tratamientos. Por otro lado, tanto la descripción de las variables implicadas como las correlaciones encontradas entre ellas pueden ayudar a comprender mejor la técnica, facilitando la labor a los profesionales que deseen implantar LRT en sus centros.



Physics and small-scale dosimetry of α -emitters for targeted radionuclide therapy: The case of ^{211}At

Alcocer-Ávila ME, Larouze A, Groetz J-E, Hindié E, Champion C
Med Phys. 2024 Jul 9;51(7).

Mario Enrique Alcocer Ávila

Université de Bordeaux, Centre Lasers Intenses et Applications, Talence, France.
<https://doi.org/10.1002/mp.17016>

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La radioterapia es uno de los tratamientos más útiles y disponibles contra el cáncer. Sin embargo, la radioterapia convencional con rayos X muestra limitaciones en el caso de tumores resistentes, metastásicos o cercanos de órganos en riesgo, al igual que para lidiar con la enfermedad residual. Una técnica que puede ayudar a solucionar estos problemas es la radioterapia dirigida con radioisótopos emisores de partículas alfa. Para investigar la eficacia potencial de estas radioterapias se requieren simulaciones Monte Carlo de estructura de trazas, que pueden describir detalladamente las interacciones de las radiaciones ionizantes con la materia a la escala nanométrica. Este trabajo presenta la validación de nuestro código *TILDA-V* para simular el transporte de partículas alfa en el medio biológico, con la finalidad de contribuir a la investigación preclínica de emisores de partículas alfa prometedores para radioterapia dirigida.

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

Los principales desafíos cuando se desarrolla este tipo de herramientas de simulación es contar con una base de datos de secciones eficaces de interacción suficientemente completa para describir con fidelidad los procesos físicos que experimentan los iones cuando colisionan con las moléculas de interés biológico (agua o componentes del ADN). Simular la región de bajas energías sigue siendo hoy en día problemático debido a la escasez de datos experimentales. Por otro lado, la resolución nanométrica proporcionada por el enfoque de estructura de trazas, que resulta primordial para estudiar el daño al ADN, presenta el inconveniente de requerir tiempos de cálculo considerables.

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

En este trabajo se llevó a cabo una validación detallada de nuestro código *TILDA-V* mediante el cálculo de diversas cantidades físicas relevantes para el transporte de partículas alfa en agua, medio utilizado comúnmente como referencia para la dosimetría de las radiaciones ionizantes. Los resultados incluyen el poder de frenado, el rango y la distribución radial de dosis absorbida para partículas alfa con energías cinéticas entre 10 keV/u y 100 MeV/u, lo cual cubre tanto posibles aplicaciones en hadronterapia como en radioterapia dirigida. Asimismo, efectuamos un primer estudio teórico de dosimetría a nivel celular del emisor alfa astato-211. Las predicciones obtenidas con *TILDA-V* fueron validadas a través de un estudio comparativo con otros códigos usados con frecuencia en la literatura, PHITS y MIRDcell. El aporte adicional de *TILDA-V* respecto a otros códigos existentes es la integración simultánea de secciones eficaces de ionización y de cambio de carga a partir de un sólido modelo teórico. Otro aspecto original de *TILDA-V* es que puede simular no solamente moléculas de agua, sino también componentes del ADN.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

La nueva versión del código *TILDA-V* presentada en este trabajo puede ayudar a los especialistas en medicina nuclear en su elección de emisores alfa para aplicaciones en radioterapia dirigida contra el cáncer. La investigación futura se centrará en la aplicación de *TILDA-V* para la dosimetría de emisores alfa distribuidos en sistemas multicelulares y en el uso del código para cuantificar el daño radioinducido en el ADN.



Range shifter contribution to neutron exposure of patients undergoing proton pencil beam scanning

Romero-Expósito M, Liszka M, Christou A, Toma-Dasu I, Dasu A
Med Phys. 2024 Jul;51(7):5099-5108.

Maite Romero-Expósito

The Skandion Clinic, Uppsala, Sweden.
Oncology Pathology Department, Karolinska Institutet, Solna, Sweden.
<https://doi.org/10.1002/mp.16897>

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

En la protonterapia de haz escaneado, el tratamiento de tumores superficiales representa un desafío, dado que los sistemas actuales presentan limitaciones para emplear las energías más bajas disponibles, como una menor eficiencia en el selector de energías. Desde un punto de vista clínico, las energías bajas generan picos de Bragg más estrechos, lo que requiere un mayor número de energías para cubrir un grosor determinado del blanco, en comparación con el mismo grosor localizado a mayor profundidad. Esto se traduce en un incremento del tiempo de tratamiento, lo que aumenta la probabilidad de movimiento del paciente y su incomodidad.

Para mitigar estos inconvenientes, es habitual utilizar una lámina de material plástico, conocida como “*range shifter*”, a la salida del haz de protones. Esta lámina reduce parte de la energía del haz, disminuyendo su rango en el tejido, lo que permite trabajar con energías iniciales más altas y operar en condiciones más óptimas. No obstante, interponer un material en la trayectoria del haz convierte al “*range shifter*” en una fuente de neutrones secundarios, de manera similar a lo que ocurre con los elementos empleados en protonterapia de haz pasivo. Mediciones realizadas en la sala de tratamiento han indicado que el uso de un “*range shifter*” podría duplicar la producción de neutrones. Dada la alta eficiencia biológica de estas partículas, nos planteamos evaluar el impacto de este fenómeno en el paciente.

Este trabajo se enmarca en el proyecto europeo SINFONIA, recientemente finalizado, cuyo objetivo fue evaluar el riesgo asociado al tratamiento de tumores en la cabeza y linfomas. Estos tumores suelen afectar a una población joven, por lo que la evaluación del riesgo de efectos secundarios a largo plazo, como la inducción de un segundo cáncer, resulta de particular interés.

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

El estudio consistió en una comparativa de un caso de tumor superficial en la cabeza, planificado tanto con como sin “*range shifter*”. Utilizando simulaciones Monte Carlo, calculamos la dosis equivalente de neutrones asociada a cada plan en un maniquí antropomórfico. Como en todo estudio de simulación, fue necesario realizar un modelado previo del haz clínico de protones de nuestra instalación. Para ello, se llevó a cabo una evaluación comparativa de los perfiles de dosis en profundidad y el tamaño del haz para cada una de las energías disponibles en nuestro ciclotrón.

Además, estábamos interesados en la comparación de las distribuciones de dosis, no solo en los órganos, por lo que calculamos las dosis a nivel de voxel, lo que implicó un alto requerimiento computacional.

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

Nuestros resultados mostraron que, efectivamente, la dosis de neutrones en el paciente era mayor en el plan con “*range shifter*”. Sin embargo, pudimos distinguir dos contribuciones principales. Por un lado, los neutrones

producidos en el “*range shifter*” tenían una mayor contribución a la dosis depositada en regiones alejadas del blanco, en el orden de los mSv (o decenas de $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$) o incluso menores. Por otro lado, observamos que la producción de neutrones en el propio paciente también aumentaba, aunque este efecto era más significativo alrededor del blanco, con dosis que podían alcanzar cientos de mSv o algunos pocos mSv/Gy. No obstante, esta región está dominada por la dosis de protones, lo que hace que la contribución de los neutrones pueda ser despreciable.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

El principal mensaje que podemos extraer de nuestro estudio es que, si el uso del “*range shifter*” permite un mejor tratamiento, el aumento en la producción de neutrones no debería ser motivo de mayor preocupación. Las dosis observadas en las regiones del paciente donde los neutrones tienen una mayor contribución siguen siendo bajas.



Experimental comparison of cylindrical and plane parallel ionization chambers for reference dosimetry in continuous and pulsed scanned proton beams

Vilches-Freixas G, Bosmans G, Douralis A, Martens J, Meijers A, Rinaldi I, Salvo K, Thomas R, Palmans H, Lourenço A
Phys. Med. Biol. 69 (2024) 105021.

Gloria Vilches-Freixas

Department of Radiation Oncology (Maastr), GROW Research Institute for Oncology and Reproduction, Maastricht University Medical Centre+, Maastricht, The Netherlands.
<https://doi.org/10.1088/1361-6560/ad40f9>

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La motivación principal de este estudio fue la de investigar el comportamiento de distintas cámaras de ionización cilíndricas y plano-paralelas, comúnmente utilizadas para realizar mediciones de dosis en condiciones de referencia, en haces de protones escaneados continuos y pulsados. Por un lado, en el marco de las sesiones de auditoría de dosimetría que realizamos en Países Bajos y en Bélgica antes de empezar a tratar pacientes, las medidas utilizando cámaras plano-paralelas coincidían con un promedio de $\pm 1.5\%$ en todos los centros y con un promedio aún mejor si se utilizaba el mismo modelo de cámara. Por otro lado, en una auditoría de dosimetría independiente para instalaciones de protones realizada en un maniquí de cabeza, la cámara cilíndrica de tipo Farmer y los detectores de alanina utilizados por los auditores midieron sistemáticamente dosis más altas y hasta un 2.7% en el centro auditado que utilizó una determinada cámara plano-paralela como dosímetro de referencia. Si bien estos resultados fueron aceptables porque se consideraron dentro de la incertidumbre experimental, los otros centros auditados que utilizaron otro tipo de cámaras como dosímetro de referencia mostraron desviaciones dentro del 1.5%. Una de las hipótesis consideradas fue que se podía deber a las incertidumbres en los factores de corrección de la calidad del haz de protones (kQ) para estas cámaras.

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

Para probar la validez de esta hipótesis era necesario realizar las mediciones de forma sistemática y reduciendo al máximo las fuentes de variabilidad. Para reducir ulteriores incertidumbres, se tenían que calibrar todas las cámaras de ionización en el mismo laboratorio primario y, a ser posible, en el mismo rango de tiempo. Las medidas se realizaron en distintos centros de Países Bajos y Bélgica, lo que implicaba también desplazamientos y disponibilidad de tiempo de haz.

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

Proporcionamos datos experimentales que comparan diferentes tipos de cámaras en diferentes calidades de haz de protones. Las diferencias de dosis observadas entre las cámaras de ionización parecen estar relacionadas con inconsistencias en la determinación de los valores de k_Q . Además, observamos que existía cierta ambigüedad en la interpretación de las guías de dosimetría en cuanto al posicionamiento de la cámara de ionización para realizar medidas en condiciones de referencia, para calibrarlas y para determinar el k_Q , es decir, teniendo en cuenta el espesor físico o el espesor equivalente de agua (WET en inglés) de la ventana de entrada.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Este estudio se presentó en la conferencia ESTRO 2023 en Viena y allí iniciamos una discusión con otros físicos médicos y con expertos en dosimetría y diseñamos otro estudio que permitiría evaluar las posibles repercusiones dosimétricas de los distintos posicionamientos de la cámara de ionización. Esto ha dado lugar a otro artículo esclarecedor que actualmente está en revisión, y también está impulsando la actualización de las recomendaciones internacionales sobre dosimetría para reducir las ambigüedades de interpretación.

¿En qué se basa nuestra innovación en iCT? En las necesidades de diagnóstico de más de 6.700 millones de personas.

Del mismo modo que las enfermedades afectan a todos por igual, Brilliance iCT de Philips se adapta a todo tipo de pacientes. Adquiere imágenes nítidas de cualquier parte del cuerpo, desde lactantes de poco peso hasta adultos con



sobrepeso. Los pacientes recibirán el grado de calidad que se merecen en sus exploraciones mediante una dosis baja sin que ello afecte a la calidad de la imagen. Visite nuestra página web en www.philips.com/CT.

***Porque nuestras innovaciones se inspiran en usted.**

PHILIPS
sense and simplicity

