

# Un nuevo método personalizado de cálculo de la dosis recibida por la sangre circulante en los principales vasos en radioterapia de protones y fotones

M. Garcia-Cardosa<sup>1</sup>, P. B. Aguilar<sup>2</sup>, R. Meiriño<sup>3</sup>, M. Vidorreta<sup>4</sup>,  
E. Antolin<sup>2</sup>, J. D. Azcona<sup>2</sup>, F. A. Calvo<sup>3</sup> & J. Burguete<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Física y Matemática Aplicada, Universidad de Navarra, Pamplona, España.

<sup>2</sup>Departamento de Radiofísica y Protección Radiológica, Clínica Universidad de Navarra, Madrid, España.

<sup>3</sup>Departamento de Oncología Radioterápica, Clínica Universidad de Navarra, Madrid, España.

<sup>4</sup>Siemens Healthineers, Madrid, España.

Se ha desarrollado un método novedoso que permite cuantificar la dosis administrada a la sangre circulante en los principales vasos sanguíneos durante un tratamiento de radioterapia. Este método es personalizado a cada paciente, justo al contrario de otros casos de la literatura [1, 2] que trabajan con modelos.

Este método trabaja con datos del propio paciente: la vasculatura, las lesiones tumorales, el campo de velocidad del flujo sanguíneo, los mapas de dosis de los niveles de energía usados para irradiar al paciente y la estructura temporal de la entrega del haz de radiación.

Un experto contornea los vasos sanguíneos y las lesiones tumorales utilizando la señal de amplitud de una secuencia de resonancia magnética de contraste de fase.

La estructura temporal de la irradiación se obtiene utilizando MonteCarlo en RayStation, se calcula un mapa de dosis para cada capa de energía que participa en cada campo de irradiación y se obtiene el tiempo de inicio y de fin de cada de cada capa de energía. Estos tiempos se miden a través de la consola del operador que trabaja con el acelerador.

Para poder representar el volumen de sangre de una manera fidedigna, se discretiza el volumen total de una persona y se divide en  $5.5 \cdot 10^6$  partículas de sangre que tendrán un tamaño de  $1\text{mm}^3$ . Estas partículas de sangre viajan a lo largo de la vasculatura con un enfoque lagrangiano y se propagan con una velocidad medida.

La velocidad se ha medido utilizando una secuencia de resonancia magnética de contraste de fase. Hay que especificar que el campo de velocidad adquirido es una media temporal del flujo pulsátil y el desplazamiento de los vasos. Debido a este hecho, es necesario aplicar un método de corrección que acabe proporcionando un campo de velocidad que cumpla con la condición de que el flujo es incompresible,  $\nabla \cdot \vec{v} = 0$ , ya que el campo de velocidad promediado no cumple con la condición comentada, ver Figura 1.

Con esta información podemos obtener la dosis recibida por campo y por fracción en cada elemento de sangre para después acumular todas las fracciones con dos tipos de estrategias: pesimista y aleatoria. Llegados a este punto, se puede realizar un análisis estadístico: media, dosis, Histograma Dosis-Volumen (DVH), etc. Los resultados preliminares muestran que en un paciente el 2.5% del volumen sanguíneo recibió más de 0.1Gy, siendo la dosis más alta 0.72Gy para el 0.004% del volumen sanguíneo. Todo lo anterior, puede complementarse con un estudio

de robustez analizando el desplazamiento de los vasos, la determinación imprecisa del diámetro de los vasos y las incertidumbres del gasto cardíaco.

Por lo tanto, es factible tener y realizar un enfoque personalizado y específico para cada paciente que tenga como objetivo el determinar la dosis recibida en vasos y sangre durante un tratamiento de radioterapia de protones y fotones en la práctica clínica.

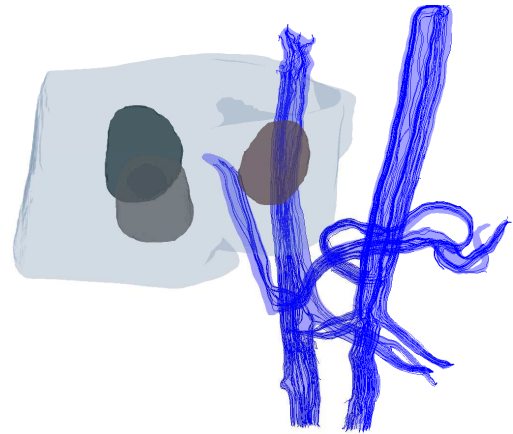


Fig. 1. Se representan las trayectorias (en color azul) creadas con el campo de velocidad procesado,  $\nabla \cdot \vec{v} = 0$ , las cuales visitan todos los lugares de la vasculatura para que las partículas sanguíneas puedan viajar. También se ilustran las lesiones tumorales de un paciente (en color verde oscuro, gris oscuro y marrón) y el mapa de dosis total (5% del máximo) que corresponde a todas las capas de energía que participan durante el tratamiento (en color gris claro).

[1] S. Xing et al, *A dynamic blood flow model to compute absorbed dose to circulating blood and lymphocytes in liver external beam radiotherapy*, Physics in Medicine & Biology 67.4 (2022): 045010.

[2] A. Hammi, H. Paganetti, and C. Grassberger, *4D blood flow model for dose calculation to circulating blood and lymphocytes*, Physics in Medicine & Biology 65.5 (2020): 055008.

[3] Link a la página web de nuestro grupo:  
<https://me-qr.com/T938BIDS>