

Review study

Treatment planning systems dedicated to synchrotron microbeam radiotherapy (MRT)

Sarvenaz KESHMIRI¹, Raphaël SERDUC¹, Jean-François ADAM¹

¹Inserm UA7, Université Grenoble Alpes, STROBE, Grenoble, France.

Abstract

Radiation therapy aims at delivering lethal dose to the tumor, while minimizing the damage to the neighboring normal tissues. Extraordinary normal tissue response to highly spatially fractionated X-ray beams has been explored for over 25 years [1, 2]. Microbeam radiation therapy (MRT) is an innovative approach in radiation therapy that utilize arrays of a few tens of micrometer wide and a few 100 μm spaced planar beamlets with extremely high doses in the high radiation doses and doses below tolerance level between the beamlets [3]. These microbeams are produced by a multislit collimator (MSLC) [4], which fractionates the beam in the horizontal direction. The final photon beam spectrum at the patient position exhibits a continuous distribution with a range from 27 keV to 600keV and the mean energy about 100keV [5, 6]. The central dose between two microbeams is named valley dose, while the dose at the center of microbeam is the peak dose. The ratio between the peak and valley doses is called the peak-to-valley dose ratio (PVDR) and plays an important role in biological response [7].

A crucial aspect of MRT is the evaluation of the dose deposited along the beam direction, as it determines the effectiveness of the therapy. Accurate dose calculation is an important prerequisite for future clinical application of MRT as a treatment modality. Dose calculation in MRT imply additional challenges as compared to dose calculations in conventional radiation therapy, such as determination of dose in micrometre grid, vast dynamic range and invalidity of O'Connor's theorem of dose scaling [5, 6]. Generally we have three category of dose calculation methods in MRT: pure Monte Carlo [8, 9, 10], convolution based methods and hybrid methods [11].

The aims of this review study is to investigate the pros and cons of existing methods and proposing a method which gives the dose with high accuracy in a computation time compatible with clinical trials.

Revue études

Les systèmes de planification de traitement dédiés à la radiothérapie par les rayonnements synchrotron (MRT)

Sarvenaz KESHMIRI¹, Raphaël SERDUC¹, Jean-François ADAM¹

¹Inserm UA7, Université Grenoble Alpes, STROBE, Grenoble, France.

Résumé

Le but de la radiothérapie est administrer une dose létale à la tumeur, tout en épargnant les tissus normaux voisins. Une réponse extraordinaire de la parte des tissus sains aux faisceaux de rayons X très fractionnés spatialement a été explorée depuis plus de 25 ans [1, 2]. La radiothérapie par microfaisceaux (MRT) est une nouvelle approche de la radiothérapie qui utilise des réseaux de quelques dizaines faisceaux planaires de micromètres de largeur et espacés de 100 μm avec des doses extrêmement élevées aux régions de dose élevées et des doses inférieures au niveau de tolérance entre les faisceaux [3]. Ces microfaisceaux sont produits par un collimateur multi slits (MSLC) [4], qui les fractionne dans la direction horizontale. Le spectre final du faisceau de photons à la position du patient présente une distribution continue dans une plage de 27 keV à 600 keV avec une énergie moyenne d'environ 100 keV [5, 6]. La dose centrale entre deux microfaisceaux est appelée dose de vallée, tandis que la dose au centre du microfaisceau est la dose de pic. Le rapport entre les doses de pics et les doses reçues dans les vallées s'appelle le rapport de dose de pic à la vallée (PVDR) et cette valeur joue un rôle important dans la réponse biologique [7].

L'évaluation de la dose déposée dans la direction du faisceau est un aspect crucial de la MRT, car elle détermine l'efficacité de traitement. Le calcul précis de la dose est une condition préalable importante pour l'application clinique future de la MRT en tant que modalité de traitement. Le calcul de la dose en TRM implique des défis supplémentaires par rapport aux calculs de dose en radiothérapie conventionnelle, tels que la détermination de la dose en grille micrométrique, une plage dynamique vaste et l'invalidité du théorème de mise à l'échelle de la dose d'O'Connor [5, 6]. En générale, nous avons trois catégories de méthode de calcul de la dose dans la MRT: les méthodes de Monte Carlo pures [8, 9, 10], les méthodes basées sur la convolution et les méthodes hybrides [11]. L'objectif de cette revue est d'étudier les avantages et les inconvénients des méthodes existantes et de proposer une méthode qui donne la dose avec une grande précision dans un temps de calcul compatible avec les utilisations cliniques.

References

- [1] Martínez-Rovira, G.Fois, Y.Prezado. *Dosimetric evaluation of new approaches in GRID therapy using non-conventional radiation sources*. Med Phys. 42(2):685-93, **2015**.
- [2] J.Meyer, J.Eley, TE.Schmid, SE. Combs, R.Dendale, Y.Prezado. *Spatially fractionated proton minibeam*. Br.J.Radiol; 92(1095):20180466, **2019**.
- [3] E.Bräuer-Krisch, R.Serduc, E.A.Siegbahn, G.Le Duc, Y.Prezado, A.Bravin, H.Blattmann, J.A.Laissue. *Effects of pulsed, spatially fractionated, microscopic synchrotron X-ray beams on normal and tumoral brain tissue*. Mutation Research, 704: 160-6, **2010**.
- [4] I.Martínez-Rovira, J. Sempau, S.Bartzsch. *Development and commissioning of a Monte Carlo photon beam model for the forthcoming clinical trials in microbeam radiation therapy*. Med Phys. 39(1):119-31, **2012**.
- [5] C.Debus, U.Oelfke, Y. Prezado. *A point kernel algorithm for microbeam radiation therapy*. Phys. Med. Biol.62, 8341–8359, **2017**.
- [6] S.Bartzsch, U.Oelfke. *A new concept of pencil beam dose calculation for 40–200 keV photons using analytical dose kernels*. Med Phys. 40(11):111714, **2013**.
- [7] Martínez-Rovira, J. Sempau, S.Bartzsch. *Monte Carlo-based treatment planning system calculation engine for microbeam radiation therapy*. Med Phys. 39(5):2829-38, **2012**.
- [8] J. Spiga, E. A. Siegbahn and E.Bräuer-Krisch, P. Randaccio, A. Bravin. *The GEANT4 toolkit for microdosimetry calculations: Application to microbeam radiation therapy (MRT)*. Med Phys. 34(11):4322-30, **2007**.
- [9] A. Boudou, J. Balosso, F.Estève and H.Elleaume. *Monte Carlo dosimetry for synchrotron stereotactic radiotherapy of brain tumours*. Phys Med Biol. 50(20):4841-51, **2005**.
- [10] M.De Felici, R. Felici, M. Sanchez del Rio, C. Ferrero, T.Bacarian, FA. Dilmanian. *Dose distribution from x-ray microbeam arrays applied to radiation therapy: an EGS4 Monte Carlo study*. Med Phys. 32(8):2455-63, **2005**.
- [11] M.Donzelli, E.Bräuer-Krisch, U.Oelfke, J.J.Wilkens and S.Bartzsch. *Hybrid dose calculation: a dose calculation algorithm for microbeam radiation therapy*. Phys Med Biol. 63(4):045013, **2018**.