
Physique médicale de la radiothérapie spatialement fractionnée par microfaisceaux synchrotron: bilan de 10 ans de recherche translationnelle.

Jean-François Adam^{*1,2}

¹Synchrotron Radiation for Biomedicine = Rayonnement SynchroTRON pour la Recherche Biomédicale
– Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Université Grenoble Alpes – France

²CHU de Grenoble-Alpes - Centre Hospitalier Universitaire CHU Grenoble – CHU de Grenoble-Alpes -
Centre Hospitalier Universitaire CHU Grenoble, CHU de Grenoble-Alpes - Centre Hospitalier
Universitaire CHU Grenoble – France

Résumé

Introduction : La radiothérapie par microfaisceaux synchrotron (microbeam radiation therapy -MRT) utilise des matrices de microfaisceaux (50 μm , pas de 400 μm) délivrés à des débits de dose extrêmes (5 kGy/s), conjuguant effet FLASH et fractionnement spatial de la dose. Les distributions de dose ultra-hétérogènes (alternance pics/vallées) élargissent la fenêtre thérapeutique, en améliorant simultanément le contrôle de la maladie (tumeurs, épilepsies) et la tolérance des tissus sains. Une chaîne complète de physique médicale dédiée à la MRT a été développée dans le cadre d'un programme de recherche translationnel (1). Ces travaux pionniers sur la radiothérapie fractionnée spatialement sont actuellement poursuivis sur irradiateurs petits animaux et sur Cyberknife.

Matériel et méthodes : 3 axes ont structuré les travaux en MRT. (1) Dosimétrie/QA : protocole de dosimétrie de référence adapté du TRS-398 ; dosimétrie par films radiochromiques lus au microscope; fantômes instrumentés et scintillateurs plastiques pour le CQ spécifique patient ; détecteur à micropistes en diamant monocristallin pour le contrôle en ligne du traitement et la dosimétrie de transit (2) Calcul de dose : outil de planification de traitement multi échelle par Monte Carlo (penMRT), générant des cartes de dose et des HDV haute résolution. (3) Essai translationnel (vétérinaire): traitement MRT conformationnel 3D de gliomes spontanés chez le chien (5 champs coplanaires, dose vallée min. 2.8 à 4 Gy dans le PTV, dose pic 25 à 35 Gy, 11 chiens) ; bras contrôle en STEREO au CHU (11 chiens, 10 et 15 Gy sur la 70 % entourant le PTV).

Résultats : Les films MD-V3 offrent le meilleur compromis pour mesurer simultanément les doses pics et vallées (écart < 8 % sur les pics ; 20–35 % sur les vallées, imputable aux artefacts de lecture et aux approximations des moteurs de calcul). Le détecteur diamant mesure les faisceaux transmis à 1 % près ; l'écart mesures/simulations est inférieur à 2 % sur fantôme homogène et anthropomorphe. penMRT a permis d'établir le premier modèle prédictif de survie adapté à la MRT : la survie médiane de rats glioma-porteurs varie linéairement avec la fraction du PTV recevant plus de 50 Gy ($R^2 = 0,98$). L'essai vétérinaire valide la faisabilité clinique : réduction tumorale de 87 % à 3 mois, sans toxicité neurologique détectée.

*Intervenant

Conclusions : Ce programme constitue la première chaîne de physique médicale complète et validée pour la MRT clinique. La fermeture récente et brutale de la ligne médicale de l'ESRF met fin au transfert clinique sur synchrotron. Les outils développés - dosimétrie, TPS, CQ - forment désormais le socle du développement de la minibeam radiation therapy sur irradiateurs précliniques et, à terme, des modalités de SFRT sur cyberknife.

References

1. Adam JF (2025). External beam radiotherapy using synchrotronX-rays In Peyrin F, Dauvergne D, Beuf O. Twelve Years of LabEx PRIMES (2012–2024). Chapitre 3, p. 23–31. Zenodo, 2025, doi: 10.5281/zenodo.14794956.

Mots-Clés: Spatially Fractionated Radiotherapy, Radiothérapie par microfaisceaux, effet dose volume, Recherche Translationnelle, Instrumentation, Planification de traitement multiéchelle