

Dosimétrie chimique 3D par IRM : développement d'un nouveau gel chimique.

V.Dedieu¹, C.Stien², P.Sharrock³, M.Fiallo³, V.Brumas³, C.Choron⁴, V.Blaise⁴, J.Coulaud³, A.Machu⁴, JM.Bordy².

¹Centre Jean Perrin, Service de Physique Médicale, 58 Rue Montalembert, 63011 Clermont-Ferrand. / Clermont Université, Université d'Auvergne, EA7283 CREaT, 28 Place Henri Dunant, 63000 Clermont-Ferrand.

²Laboratoire LIST- Laboratoire National Henri Becquerel, CEA), Gif sur Yvette.

³Laboratoire de chimie (U50, SIMAD), Université Paul Sabatier, Toulouse.

⁴ Clermont Université, Université d'Auvergne, EA7283 CREaT, 28 Place Henri Dunant, 63000 Clermont-Ferrand.

Introduction :

Les nouvelles méthodes de traitement développées en radiothérapie telles que les irradiations en conditions stéréotaxiques ou par modulation d'intensité requièrent le développement de nouvelles méthodes dosimétriques 3D précises et rapides avec une résolution en dose et une résolution spatiale élevées. La dosimétrie chimique 3D permet de répondre à cette problématique. Pour cette technique, deux différents types de gels dosimétriques (gels chimiques et gels polymères) et deux méthodes de lecture (mesure par IRM ou optique) peuvent être mises en œuvre. Pour cette étude, nous avons développé un nouveau gel chimique et une méthode de mesure par IRM. Pour le contrôle dosimétrique 3D des plans de traitement en radiothérapie, les gels dosimétriques doivent présenter les caractéristiques dosimétriques suivantes : être équivalents tissu, faciles à préparer et à utiliser, avoir une réponse linéaire sur une gamme de doses étendue caractérisée par une sensibilité α ($s^{-1}.Gy^{-1}$) élevée, une diffusion faible afin de s'affranchir des erreurs dosimétriques, une réponse indépendante de l'énergie et du débit de dose et une bonne reproductibilité. Pour ce nouveau gel, les modalités de préparation et la méthode de mesure par IRM ont été mises au point ; les caractéristiques dosimétriques étudiées.

Matériel et méthodes :

Le gel chimique est préparé 1 ou 2 jours avant l'irradiation puis conservé à 6°C avant d'être mis à température de la salle d'irradiation. Pour les études dosimétriques le gel est versé dans des tubes ou des béchers. Les irradiations sont réalisées au moyen de Cobalt 60, Saturne 43 et Novalis TX pour les hautes énergies, SEIFERT 320 kV Isovolt pour les énergies moyennes et Gulmay 160V pour les basses énergies. Pour la lecture IRM, les mesures IRM ont été acquises à 1,5 T sur 2 imageurs (Philips et Siemens). L'ajustement du signal IRM de la séquence écho de spin 16 échos utilisée permet de mesurer la vitesse de relaxation transversale R_2 ($R_2 = 1/T_2$) des gels avant (R_{20}) et après irradiation (R_2). La sensibilité du gel est déterminée pour différentes énergies et débits de dose conformément à la relation effet dose :

$$R_2 - R_{20} = \alpha D, \quad \text{où } D \text{ est la dose absorbée (Gy).}$$

Pour évaluer la reproductibilité de préparation du gel, la sensibilité a été mesurée après irradiation à 6MV pour 3 séries de gels préparés. Pour l'étude de la diffusion, la largeur à mi-hauteur a été quantifiée sur différents profils de dose mesurés à différents temps après irradiation. L'étude de l'influence du débit de dose sur la sensibilité du gel a été réalisée pour des débits variant de 100 $UM.mn^{-1}$ à 1000 $UM.mn^{-1}$.

Résultats :

Le nouveau gel est un bon équivalent tissu (densité : $1,08 \pm 0,01 \text{ g.cm}^3$; rapport des densités électroniques : $\rho_e(\text{gel}) / \rho_e(\text{eau}) = 1,074$). Les paramètres de la séquence IRM ainsi que les paramètres d'acquisition ont été optimisés pour minimiser les erreurs de mesure de R_2 (<5%) . La valeur de la vitesse R_{20} du nouveau gel ($R_{20} = 3\text{s}^{-1}$) minimise les erreurs sur la dose mesurée. La réponse du gel est linéaire pour les énergies entre 5 et 60Gy (incertitude comprise entre 2 et 3 % pour le calcul de la sensibilité) et n'est pas influencée par la méthode de préparation qui est reproductible. La sensibilité moyenne du gel et l'écart type pour les différentes énergies (Co60, 6MV, 12MV et 20 MV) sont respectivement $0,0846 \text{ (s}^{-1}.\text{Gy}^{-1})$ et 1,44%. Le débit de dose n'a pas d'influence sur la sensibilité du gel (test ANOVA, p-value>0.05).

Conclusion. Perspectives :

Le nouveau gel développé répond aux caractéristiques requises pour une utilisation des contrôles des plans de traitement en radiothérapie : un mode de préparation reproductible et facile à réaliser par le physicien médical, une sensibilité élevée dans une gamme de dose étendue quel que soit l'énergie et le débit de dose utilisés ainsi qu'une diffusion très faible.