

Abstract:

Electronic Brachytherapy (eBT), also called contact radiotherapy, is a cancer treatment technique using low energy X-Rays (≤ 50 keV) generated by X-Ray tubes which are placed in close contact with the treated lesions. The latest evolutions of miniaturized X-Ray tubes led to the development of new treatment systems, such as the INTRABEAM[®] system of the ZEISS Company which is the most available eBT system and the only one used in France. Beside its medical benefit, the potential major advantages of treatment by eBT are the drastic decrease in patient discomfort and treatment cost. In the case of breast cancer treatment with such technique, the treatment is given in a single session that lasts 20 to 50 minutes where a high dose, in the order of 20 Gy, is delivered to the tumor bed surface in contact with spherical applicators associated to the X-Ray source. The delivered dose decreases rapidly with depth (< 1 Gy after a few centimeters) enabling to preserve neighboring healthy tissues. In France, the first IORT treatment performed was in Nantes in 2011, while today, ten medical centers offer IORT treatment using the INTRABEAM[®] system. Consequently, several medical physicists addressed to the French national metrology laboratory for ionizing radiation (LNHB) their need for a dosimetric traceability with a reference independent from the manufacturer. This need was reaffirmed by the French Authority for Health (HAS), in their report on the evaluation of the IORT for breast cancer treatment published in April 2016.

This thesis work is a contribution to the metrological work initiated by LNHB for enhancing the safety of employing IORT by eBT systems. It was limited, within the thesis period, to the INTRABEAM[®] system associated with a 4 cm diameter spherical applicator. The thesis work was oriented towards three main objectives.

The first one concerned the establishment and the transfer of a primary dosimetric standard, in terms of absorbed dose to water at 1 cm depth in water. The methodology was developed and applied on the INTRABEAM[®] system with 4 cm spherical applicator, for which, the dosimetric reference was established.

The second objective was to use a dosimetric gel and the Monte Carlo method to assess the 3D spatial distribution of the relative absorbed dose delivered by such a system. The dosimetric gel system used was a Fricke-based hydrogel read by Magnetic Resonance Imaging at Orsay hospital. The gel reading was calibrated, in terms of absorbed dose for low energy X-Rays (< 50 keV), and then used to define the dose distributions of the INTRABEAM[®] X-Ray source associated with the 4 cm spherical applicator in the axial and transverse planes of the X-Ray source probe tip.

The last objective was to compare the dosimetric data delivered by Zeiss, for the INTRABEAM[®] system used at St. Louis hospital in Paris, by the ones obtained in the current study for the same system. This comparison was realized and significant discrepancies were found between the doses delivered by Zeiss and those obtained in the current study. The same kind of discrepancies was also observed in a separate work conducted by the PTB under different configurations. Some reasons of these discrepancies were also outlined and discussed in this study.

Résumé

La curiethérapie électronique, également appelée la radiothérapie de contact, est une technique de traitement du cancer utilisant des rayons X de faible énergie (≤ 50 keV) générés par des tubes à rayons X miniaturisés et positionnés au contact des tissus à irradier. La miniaturisation des générateurs à rayons X a conduit au développement de nouveaux systèmes de traitement, dont le plus répandu dans le monde et le seul utilisé en France est le système INTRABEAM[®] commercialisé par la société Zeiss. Au-delà du bénéfice médical, les avantages potentiels de la curiethérapie électronique sont une diminution drastique de l'inconfort du patient combinée à un moindre coût de traitement. Ainsi, dans le cadre du cancer du sein, une seule et unique séance délivrée en 20 à 50 minutes, de l'ordre de 20 Gy, au bloc opératoire directement après l'acte chirurgical à l'aide d'un applicateur d'une forme sphérique associée à la source de rayons X. En France, le 1^{er} traitement par RTPO a eu lieu à Nantes fin 2011. Aujourd'hui une dizaine de centres hospitaliers français propose des traitements par RTPO au moyen de la technique INTRABEAM. Très rapidement, plusieurs médecins médicaux ont exprimé au laboratoire français de métrologie de la dose (LNHB), leur besoin de raccordement dosimétrique à une référence indépendante du constructeur. Ce besoin a été réaffirmé par la Haute Autorité de Santé (HAS) dans un rapport sur l'évaluation de la RTPO dans le cancer du sein, édité en avril 2016.

Le présent travail vise à renforcer la sécurité d'emploi d'appareils de RTPO par rayons X de basse énergie (< 50 keV). Cependant, afin de répondre aux médecins médicaux français et du fait de contraintes temporelles, l'étude est ici limitée au système INTRABEAM associé au seul applicateur sphérique de 4 cm de diamètre. Le travail s'articule autour de trois axes.

Le premier concerne l'établissement et le transfert d'une référence primaire en termes de dose absorbée dans l'eau à 1 cm de profondeur. La méthodologie a été développée et en suite appliquée pour le système INTRABEAM[®] associé à un applicateur sphérique de 4 cm, pour lequel, la référence primaire a été réalisée.

Le deuxième axe a pour objet la détermination de la distribution spatiale de dose autour de la source considérée par l'utilisation de gels dosimétriques et par calcul de type Monte Carlo. Le gel utilisé, un hydrogel à base de Fricke lu ici par imagerie par résonance magnétique à l'hôpital d'Orsay, a été étalonné en dose pour des photons d'énergie inférieure à 50 keV et en suite été utilisé pour déterminer les profils de doses autour de la source INTRABEAM[®] associé à l'applicateur sphérique de 4 cm de diamètre dans les plans axial et transverse du bout d'aiguille de la source de l'INTRABEAM.

Quant au dernier axe, il s'agit de confronter des données dosimétriques fournies par la société Zeiss, concernant l'INTRABEAM en utilisation à l'hôpital St-Louis à Paris, à celles obtenues au cours de la présente étude pour le même système. Cette comparaison a été réalisée et des différences significatives ont été trouvées entre les doses délivrées par Zeiss et celles obtenues dans la présente étude. Les mêmes genres de divergences ont également été observés dans un autre travail réalisé par le PTB sous autre configurations. Certaines raisons de ces divergences ont également été soulignées et discutées dans cette étude.