

# Avaliação da Distribuição de Dose em Terapia com $^{131}\text{I}$ para Ablação da Tireoide Utilizando o Código de Monte Carlo.

Rommel Barbosa Monteiro, Lídia Vasconcellos de Sá e  
Daniel Alexandre Baptista Bonifácio  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD

## INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas os avanços científicos e tecnológicos obtidos no campo da energia nuclear e técnicas correlatas como a medicina, geraram uma considerável elevação na qualidade de vida da sociedade. Entretanto, com a utilização cada vez maior de radiofármacos na Medicina Nuclear, tanto no diagnóstico, quanto no tratamento de determinadas patologias e disfunções do organismo humano, houve uma crescente preocupação com o cálculo da dose absorvida pelos seres humanos quando em contato com a radiação ionizante. Existem hoje vários métodos para estimativa de doses em pacientes submetidos a tratamentos com radiofármacos. No Brasil, os centros de medicina nuclear utilizam em sua maioria o sistema MIRD [1] que é um sistema desenvolvido pelo comitê da ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) denominado *Medical Internal Radiation Dose (MIRD)*, para realizar a quantificação da dose absorvida e, conseqüentemente, cálculo de dose efetiva por tipo de exame e características do paciente. Esse sistema é baseado alguns modelos de referência denominados *phantom* MIRD [2] baseados na composição química, densidade e geometria de um indivíduo considerado padrão. Dentre os métodos para estimativa de doses existentes atualmente, podemos destacar o Método de Monte Carlo [3], um método estocástico, que utiliza uma seqüência de números aleatórios para realizar uma simulação. A partir deste método, foram desenvolvidos alguns códigos de transporte de radiação, como por exemplo:

MCNP [4], PENELOPE [5] e GEANT4 [6].

Para facilitar a estimativa de dose absorvida, foram desenvolvidas algumas ferramentas computacionais baseadas em códigos de transporte de radiação. No presente trabalho foram realizadas simulações com dois tipos de simuladores computacionais: o *phantom* MIRD e o *phantom* voxelizado MASH [7], ambos do tipo adulto masculino e na posição em pé, acoplados à ferramenta GATE [8].

## OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um estudo da distribuição de dose na tireoide e em regiões vizinhas, indicando a possibilidade de efeitos

secundários relacionados à radiação ionizante em um tratamento de ablação [9], utilizando ferramentas computacionais de simulação e, ainda, tratamento de imagens para cálculos de dose absorvida.

## METODOLOGIA

Para as simulações computacionais realizadas neste trabalho, foi utilizada a ferramenta computacional GATE, que é baseada no código de transporte de radiação Geant4 aplicado a Medicina Nuclear e radioterapia. Esta ferramenta computacional utiliza técnicas avançadas de engenharia de software, garantindo a transparência das implementações físicas e também gerando a possibilidade de validação dos resultados. Foram simulados  $100 \times 10^6$  eventos primários, correspondentes ao decaimento do  $^{131}\text{I}$ . Foi considerada somente a tireoide como órgão-fonte, com a emissão das partículas dos decaimentos uniformemente distribuída. Foi assumido para este trabalho que a tireoide do *phantom* mantém o seu volume normal mesmo na condição de hipertireoidismo. As distribuições de dose foram calculadas para as emissões gama e beta, presentes no decaimento do  $^{131}\text{I}$ . Foi considerada uma captação na tireoide de 55% e um tempo de residência de 5,57 dias. A atividade administrada, considerada para um tratamento típico da doença de Graves [15], foi de 555 MBq (15 mCi). Para melhor compreensão dos dados obtidos, os valores das doses em cada voxel foram normalizados pelo número de decaimentos nucleares. Essa dose normalizada obtida através da eq. 1 é denominada fator de dose [10].

$$DF=D/N \text{ (eq. 1)}$$

D é a dose calculada para cada voxel e N é o número de decaimentos nucleares. Cada voxel da imagem com os valores dos fatores de dose possui  $2,4 \times 2,4 \times 2,4 \text{ mm}^3$ . Foi considerada somente a tireoide como órgão-fonte, com a emissão das partículas dos decaimentos uniformemente distribuída. Foi assumido para este trabalho que a tireoide do *phantom* mantém o seu volume normal ( $19,2 \text{ cm}^3$ ) mesmo na condição de hipertireoidismo. As distribuições de dose foram calculadas para as emissões gama e beta, presentes no decaimento do  $^{131}\text{I}$ .

## RESULTADOS

A figura 6.1 apresenta o mapa da distribuição dos fatores de dose (DF) para elétrons em um tratamento com  $^{131}\text{I}$ . A espessura do corte é de 60 mm e engloba todo o volume da tireoide presente no *phantom*. Através desse mapa é possível observar que a dose depositada se concentra praticamente dentro do volume da tireoide.



Figura 6.1

O fator de dose para a tireoide como órgão alvo e também como fonte foi calculado por meio dos dados simulados. Considerando somente a contribuição dos elétrons para a dose, o valor do fator de dose encontrado foi de  $1,18 \times 10^{-3}$  mGy/MBq.s. A figura 6.2 apresenta o mapa da distribuição dos fatores de dose (DF) para fótons gama em um tratamento com  $^{131}\text{I}$ .



Figura 6.2

O mapa da figura 6.2 nos permite observar que maior parte da dose é depositada dentro da tireoide, mas as regiões vizinhas também absorvem energia da radiação emitida. A partir dos dados simulados, o fator de dose para a tireoide como órgão alvo e fonte foi calculado, desta vez considerando somente a dose depositada pelos fótons gama. O valor do fator de dose determinado foi de  $7,52 \times 10^{-5}$  mGy/MBq.s. Esse valor é aproximadamente 15 vezes menor que o fator de dose calculado para elétrons, indicando a predominância da contribuição dos elétrons na dose depositada na tireoide. O fator de dose total, incluindo as contribuições de fótons gama e elétrons, é de  $1,26 \times 10^{-3}$  mGy/MBq.s.

## CONCLUSÕES

Com os dados obtidos até então, foi possível observar que a maior parte da contribuição de dose depositada na tireoide é proveniente dos elétrons

emitidos do decaimento beta sendo cerca de 15 vezes maior do que o fator para fótons gama. Apesar de a dose depositada proveniente dos fótons gama, apresentar uma contribuição bem menor que a dos elétrons emitidos do decaimento beta, observa-se um maior espalhamento. Este trabalho deve ter continuidade visando o estudo das doses em alguns órgãos críticos, como por exemplo, a medula espinhal, indicando, dessa forma, a possibilidade de efeitos secundários relacionados à radiação ionizante em um tratamento de ablação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W.S. Snyder, Mary R. Ford, G.G. Warner, and S. B. Watson. MIRD Pamphlet #11: S, Absorbed Dose per Unit Cumulated Activity for Selected Radionuclides and Organs . 1975; Society of Nuclear Medicine, Reston, VA [1] Hélio Yoriyaz, "Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica".Revista Brasileira de Física Médica. 2009;3(1):141-9.
- [2] SNYDER W S, et al 1974, "Revision of MIRD Pamphlet No. 5 Entitled 'Estimates of Absorbed Fractions for Monoenergetic Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom' ORNL-4979 (Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory).
- [3] Hélio Yoriyaz, "Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica".Revista Brasileira de Física Médica. 2009;3(1):141-9.
- [4] BRIESMEINSTER, JF. MCNP - A general Monte Carlo N-particle Transport Code. Version 4C. Report LA-13709-M, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos,NM. (2000).
- [5] SALVAT, JMFVF; ACOSTA, E; SEMPÁU, J. PENELOPE – A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport – Proceeding of Workshop Issy-les-Moulineaux by Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. France. Novembro (2001).
- [6] S. Agostinelli et al. Geant4 a simulation toolkit, Nucl. Instr. and Meth. A 506 (2003) 250..
- [7] V F Cassola et al, "FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: I. Development of the anatomy", 2010, Phys. Med. Biol., 55, 133
- [8] S. Jan et al. GATE: a simulation toolkit for PET and SPECT. Phys. Med. Biol. 49 (2004) 4543 – 4561.
- [9] F Araujo de et al., "Proposta de metodologia para tratamento individualizado com iodo-131 em pacientes portadores de hipertireoidismo da doença de Graves", 2007, Radiol. Bras., 40, 6.
- [10] Daniel A. B. Bonifácio, Lidia V. de Sá. Simulação da distribuição de dose da terapia com  $^{131}\text{I}$  para ablação da tireoide usando GATE . DOSIMN 2011.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq