

Dosimetria em braquiterapia ocular com placa ROPES contendo sementes de iodo-125 e paládio-103

Dosimetry on Ocular Brachytherapy with ROPES Plaque with Iodine-125 and Palladium-103 seeds

Arnaldo P. Mourão^{1,2} e Tarcísio P. R. Campos²

¹Núcleo de Engenharia Hospitalar do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) – Belo Horizonte (MG), Brasil

²Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte MG, Brasil

Resumo

A radioterapia é uma alternativa à enucleação. No entanto, a irradiação da região ocular pode gerar efeitos deletérios, devido às altas doses, principalmente no cristalino, retina e estruturas ósseas em fase de crescimento. A braquiterapia quando comparada à teleterapia permite reduzir consideravelmente as doses nos tecidos adjacentes ao tumor reduzindo os efeitos colaterais. Um modelo computacional da região ocular foi desenvolvido com o objetivo de simular a irradiação ocular com a placa oftalmológica ROPES posicionada junto à superfície da esclera, carregada com sementes de iodo-125 e paládio-103. As simulações foram realizadas utilizando o código Monte Carlo MCNP5. Estas simulações permitiram observar a distribuição espacial da dose absorvida no volume irradiado. Os resultados obtidos foram normalizados em 100% para a dose máxima que ocorre na base do tumor para cada uma das fontes utilizadas. A dose máxima foi encontrada no interior do vítreo e o presente modelo apresenta um avanço na simulação e predição da dose absorvida em braquiterapia ocular.

Palavras-chave: braquiterapia, braquiterapia ocular, placa oftalmológica, código Monte Carlo.

Abstract

Radiotherapy is an alternative to ocular enucleation. However, the irradiation of ocular region can bring deleterious effects due to the high doses, mainly in the lens, retina and in the bone structures in growth phase. Brachytherapy instead of teletherapy looks for departing absorbed doses in tumor minimizing doses in the lens and the adjacent tissues of the eyeball (orbital region), avoiding deleterious effects. Thus, a three-dimensional computational model of ocular area was developed to simulate orbital irradiation with ROPES ophthalmologic plaque placed on the sclera surface filled to ten iodine-125 seeds, and palladium-103 seeds. Simulations are performed on the MCNP5 code. The computational simulation allows evaluating how the dose rates are spatially distributed in the orbital volume. The results are normalized to 100% at the maximum dose on the tumor base, and by the applied source activity. The maximum dose is found onto the eyeball, in the vitreous. The present model represents an advance in simulating and predicting absorbed dose on ocular brachytherapy.

Keywords: brachytherapy, ocular brachytherapy, ocular plaque, Monte Carlo code.

Introdução

O melanoma ocular e o retinoblastoma são os tumores oculares mais comumente encontrados em pacientes adultos e pediátricos, respectivamente. A enucleação é um tratamento tradicional que consiste na remoção total do bulbo ocular. A radioterapia ocular é um método alternativo que possibilita a preservação do bulbo ocular. A teleterapia utiliza radiação de fótons e de prótons ao passo que braquiterapia utiliza placas com diferentes tipos de radioisótopos encapsulados e apresenta

menores efeitos colaterais que aqueles apresentados pela teleterapia¹.

A braquiterapia com a utilização de placas oftalmológicas é uma boa alternativa para o controle e tratamento de tumores ocorrentes na região da úvea e retina, pois permite o posicionamento do material radioativo junto à superfície da esclera. A placa é posicionada e fixada sobre a região tumoral durante um período de tempo que permita depositar uma dose suficiente para o controle tumoral. Comparando a braquiterapia com placas oftalmológicas com a teleterapia, a braquiterapia permite liberar

Correspondência: Arnaldo Prata Mourão – Núcleo de Engenharia Hospitalar (NEHOS/CEFET) – MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas, 5253, Nova Suíça - Sala 113, CEP: 30480-000, Belo Horizonte (MG), Brasil – E-mail: aprata@des.cefetmg.br

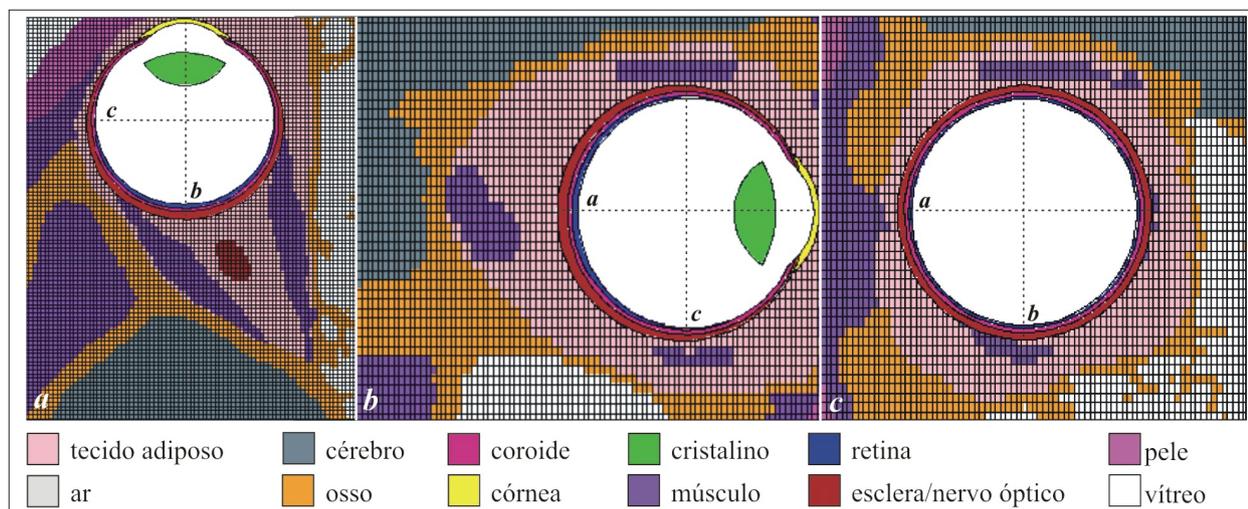


Figura 1. Imagens de corte do modelo acoplado do bulbo ocular geradas a partir da interface gráfica do MCNP.5v. (a) corte axial, (b) corte sagital e (c) corte coronal.

altas doses de radiação no tumor preservando os tecidos saudáveis das estruturas próximas^{2,3}.

O objetivo deste artigo é apresentar um novo modelo computacional da região ocular e simular o posicionamento de uma placa oftalmológica contendo sementes de ¹²⁵I e ¹⁰³Pd. Uma simulação através do código Monte Carlo, utilizando um modelo de voxel da região ocular, permite observar a distribuição da dose absorvida no interior do bulbo ocular, vítreo e cristalino, e nas estruturas externas, ossos, nervo óptico e cérebro, devido aos fótons gama e X.^{4,5}

Materiais e métodos

O trabalho consiste de um modelo computacional da região ocular no qual foi incorporada uma placa oftalmológica modelo ROPES contendo sementes de iodo-125 e sementes de paládio-103 posicionada na região medial do bulbo ocular. O MCNP5 foi utilizado para simular os dois processos de irradiação e para gerar a distribuição espacial da dose característica de cada um dos radionuclídeos utilizados.

Modelo ocular computacional

O modelo ocular foi desenvolvido através do acoplamento de três modelos distintos: um modelo analítico e dois modelos de voxels. O primeiro modelo de voxel definiu toda a estrutura da região ocular sendo obtido através de imagens tomográficas do *human visible man project*⁶. Um conjunto de 43 cortes axiais do crânio do homem foi selecionado de maneira a conter toda a região de interesse. Das imagens de corte do crânio foi retirada somente a região de interesse que permitiu definir um volume de 41 x 50 x 38,7 mm³ contendo 82 x 100 x 43 voxels.

Um modelo analítico foi feito para definir as estruturas internas do bulbo ocular. Como o bulbo ocular possui

estruturas muito delgadas o tamanho do voxel definido através do primeiro modelo era demasiadamente grande para definir as membranas do bulbo ocular e por essa razão, as estruturas internas do bulbo ocular foram redefinidas por esse segundo modelo (esclera, coróide, retina, cristalino, vítreo e córnea).

Os parâmetros geométricos aplicados para a construção dos volumes foram obtidos através de medidas das estruturas anatômicas de um homem adulto encontradas na literatura, conjuntamente com medições em imagens das estruturas oculares^{6,7}. A estrutura externa da superfície da esclera apresenta valores máximos em x, y e z de 24,3, 23,6 e 24,3 mm, respectivamente.

A região do vítreo foi definida em um modelo de voxels com o objetivo de permitir a medição da distribuição da dose no interior do bulbo ocular. Cada célula (voxel) no interior do vítreo possui as dimensões de 0,5 x 0,5 x 0,5 mm³. O modelo final da região ocular foi obtido pelo acoplamento dos três modelos e a Figura 1 apresenta três imagens de corte geradas a partir desse modelo acoplado através da interface gráfica do MCNP5^{4,8}.

A placa ROPES

A placa oftalmológica de braquiterapia tem o formato de uma calota esférica com a superfície côncava definida por um raio de 12,15 mm, correspondente ao raio médio que define o volume do bulbo ocular humano. Possui cavidades para a acomodação de sementes contendo material radioativo. A placa modelo ROPES utilizada nas simulações possui 15 mm de diâmetro e acomoda até 10 sementes, sendo posicionada junto à superfície da esclera sobre a região do tecido tumoral^{3,4,7}.

A placa foi carregada duas vezes com dois tipos de sementes, contendo iodo-125 ou paládio-103 e incorporada ao modelo computacional na região medial do bulbo ocular permitindo a realização de simulações com dois radionuclídeos distintos.

O iodo-125 é um radioisótopo emissor de fótons com energia entre 27-35 keV e meia-vida de 59,408 dias e o paládio-103 decai pela emissão de fótons com energia entre 20-23 keV e período de meia-vida de 16,991 dias, sendo que ambos decaem por captura eletrônica. Estes radionuclídeos são disponibilizados na forma de sementes cilíndricas medindo 4,5mmx0,8mm, sendo considerados radionuclídeos ótimos para o tratamento de tumores do bulbo ocular^{5,9,10}.

A Figura 2 apresenta a imagem da placa oftalmológica ROPES de 15 mm de diâmetro utilizada nas simulações. Esta placa possui uma cobertura externa de aço inox que tem por objetivo reter as sementes nas cavidades e absorver a parcela do feixe que se propaga em direção contrária à do tumor.

Código MCNP

O MCNP é um código utilizado para simular o transporte de partículas como nêutrons, fótons e elétrons e suas interações com o meio, possibilitando observar inclusive a distribuição de dose em determinadas estruturas. Este código foi inicialmente desenvolvido para a observação do transporte de nêutrons e posteriormente estendido para incluir outras partículas, tais como os fótons e os elétrons. O código MCNP trabalha com uma configuração tridimensional utilizando uma tabela contendo as características de cada um dos tecidos e materiais definidos através de células geométricas e tem sido extensivamente utilizado para validar o uso de braquiterapia com radioisótopos emissores de fótons⁸.

Resultados

A placa ROPES foi incorporada ao modelo da região ocular no MCNP5 para a realização das simulações computacionais. Os resultados obtidos através do MCNP5 foram introduzidos no SISCODES¹¹ e transformados em uma matriz de distribuição de dose. As seções das matrizes foram plotadas através de uma rotina que permite apresentar a distribuição espacial da dose absorvida. A Figura 3 apresenta nas imagens a, b e c três cortes axiais com a distribuição da dose absorvida gerada pela irradiação com o iodo-125 e nas imagens d, e e f a distribuição de dose pela irradiação com o paládio-103.

Nestas imagens os dados da distribuição da dose absorvida interna ao bulbo ocular foram acoplados aos dados da distribuição da dose absorvida da região externa, sendo que as simulações foram realizadas separadamente no MCNP5. A legenda de cores indica o percentual das faixas de dose tanto interna como externa ao bulbo ocular.

Para o iodo-125 o valor máximo da taxa de dose absorvida na região interna ao bulbo ocular é de $1,42 \cdot 10^{-4}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹. Este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida no interior do bulbo ocular. O valor máximo da taxa de dose absorvida na região externa ao

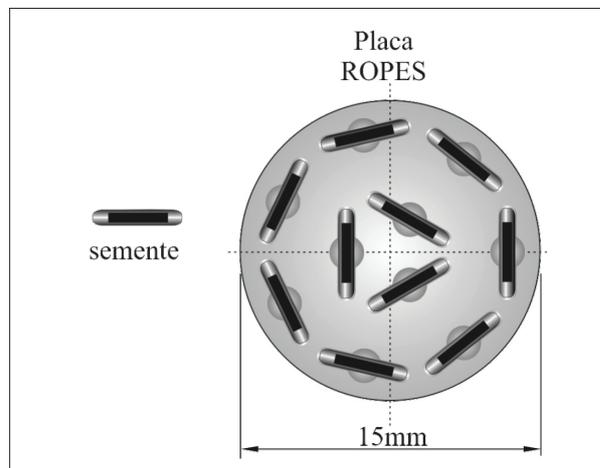


Figura 2. Imagem da placa oftalmológica ROPES apresentando a distribuição espacial das sementes radioativas.

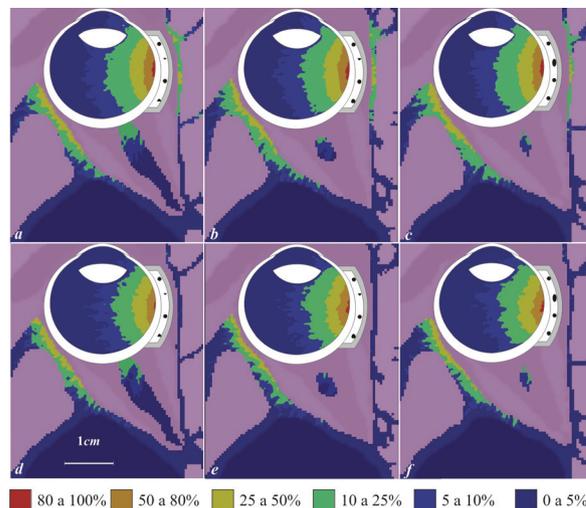


Figure 3. Distribuição da dose absorvida devido à placa ROPES carregada com dez sementes. (a) z = 1mm ¹²⁵I, (b) z = 2.7mm ¹²⁵I, (c) z = 4.5mm ¹²⁵I, (d) z = 1mm ¹⁰³Pd, (e) z = 2.7mm ¹⁰³Pd, (f) z = 4.5mm ¹⁰³Pd.

bulbo ocular é de $2,21 \cdot 10^{-5}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹ e este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida na região externa ao bulbo ocular.

Para o paládio-103 o valor máximo da taxa de dose absorvida na região interna ao bulbo ocular é de $2,32 \cdot 10^{-4}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹. Este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida no interior do bulbo ocular. O valor máximo da taxa de dose absorvida na região externa ao bulbo ocular é de $1,82 \cdot 10^{-5}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹ e este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida na região externa ao bulbo ocular.

A Figura 4 apresenta um gráfico normalizado da variação da dose com a profundidade no interior do vítreo para a irradiação com o ¹²⁵I e o ¹⁰³Pd ao longo de um eixo que parte

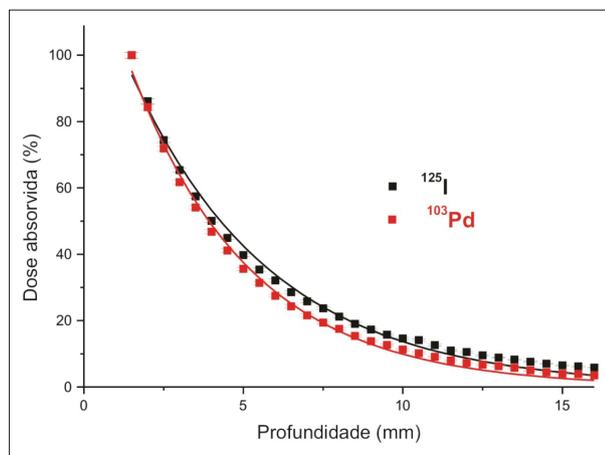


Figura 4. Variação da dose absorvida no interior do vítreo.

Tabela 1. Dose absorvida para dose terapêutica de 80Gy no ápice do tumor

Local	Dose (Gy) Ápice 3mm		Dose (Gy) Ápice 5mm	
	^{125}I	^{103}Pd	^{125}I	^{103}Pd
Vítreo	122,40	129,66	201,31	224,72
Reg. externa	19,03	10,21	31,31	17,69
Cristalino	70,11	51,70	115,31	89,60

do centro da placa ao centro do bulbo ocular. O gráfico foi obtido a partir das simulações no MCNP5 e levam em consideração a dose absorvida em cada ponto considerando a dose máxima a 1,5 mm de profundidade, que corresponde à espessura da esclera, coróide e retina nesta região.

Discussão e conclusões

O desenvolvimento de um modelo acoplado de voxels: modelo de voxels interno e o modelo de voxels externo, com o modelo analítico das estruturas do bulbo ocular, demonstra um avanço nos protocolos de dosimetria para radioterapia de tumores do bulbo ocular. O presente modelo será utilizado para a investigação em simulações de outros tipos de dispositivos radioativos.

Este artigo apresenta a utilização de uma placa comercial com o carregamento de dois tipos de sementes

radioativas. As simulações permitem avaliar a distribuição espacial da dose absorvida em função da atividade em MBq e do tempo de exposição. A escolha do radioisótopo a ser utilizado depende da base do tumor e da dose terapêutica a ser definida para o ápice do tumor. A tabela 1 apresenta os resultados da simulação considerando o ápice do tumor em 3 e 5 mm de profundidade e uma terapêutica de 80Gy no ápice do tumor¹².

A penetração do feixe do ^{103}Pd é menor que a do ^{125}I , por esta razão, apresenta menor dose absorvida no cristalino. De maneira inversa, a dose absorvida na entrada do vítreo, junto à retina, geradas pelo paládio-103 são maiores para uma mesma dose terapêutica.

Referências

1. Sauerwein W, Gerard JP. Radiothérapie des tumeurs intraoculaires. Cancer Radiother. 1999;3 Suppl 1:102-6.
2. Desjardins L, Coutourier J, Doz F, Gautiers-Vilars M, Sastre X. Tumeurs de la retina, Ophtalmologie. 2003; 1:18-37.
3. Granero D, Perez-Calatayud J, Ballester F, Casal E, De Frutos JM. Dosimetric study of the 15 mm ROPES eye plaque. Med Phys. 2004;31(12):3330-6.
4. Mourão AP, Campos TPR. Radiodosimetric considerations on ocular brachytherapy with iodine-125 and ruthenium/rhodium-106. Radiologia Brasileira 2009;42(1):43-8.
5. Melhus CS, Rivard M. COMS eye plaque brachytherapy dosimetry simulations for ^{103}Pd , ^{125}I and ^{131}Cs . Med Phys. 2008;35(7):3364-71.
6. The visible man project [homepage da Internet]. National Library of Medicine. [citado 6 out 2005]. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html.
7. Dantas AM. Anatomia funcional do olho e seus anexos. Rio de Janeiro: Revinter; 2002.
8. X-5 Monte Carlo Team. MCNP: A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, MCNP Overview and Theory. Los Alamos National Laboratory Report 2003.
9. BEBIG. I-125 ophthalmic seeds. Berlin: Eckert & Ziegler; 2004.
10. The Berkeley Laboratory Isotopes Project's [homepage da Internet]. Berkeley National Laboratory [citado 18 dez 2007]. Available from: <http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm>.
11. Trindade BM. Desenvolvimento de Sistema Computacional para Dosimetria em Radioterapia por Nêutrons e Fótons Baseado em Método Estocástico - Siscores [Dissertação]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2004.
12. Nag S, Quivey JM, Earle JD, Followill D, Fontanesi J, Finger PT. The American brachytherapy society recommendations for brachytherapy of uveal melanomas. Int J Radiation Oncology Biol Phys. 2003;56(2):544-55.