

Desenvolvimento de Fantomas Infantis de 5 e 10 Anos de Idade Baseado em Malhas Poligonais

Vanildo Júnior de Melo Lima¹, Richard Kramer², Vagner Ferreira Cassola², Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira², José Wilson Vieira^{3,4} e Helen Jamil Khoury²

¹Departamento de Anatomia, Universidade Federal de Pernambuco,
Av. Professor Moraes Rego 1235, Recife, Pernambuco,
CEP 50670-901, Brasil

²Departamento Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco,
Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Curado, Recife, Pernambuco,
CEP 50740-540, Brasil

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco,
Av. Prof. Luiz Freire, 500, Curado, Recife, Pernambuco,
CEP 50740-540, Brasil

⁴Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco,
Rua Benfica, 455, Madalena, Recife, Pernambuco,
CEP 50750-470, Brasil

E-mail: rkramer@uol.com.br

Resumo. Com os órgãos e tecidos ainda em desenvolvimento, crianças são mais vulneráveis à exposição pela radiação ionizante quando comparadas aos adultos. Muitos fantomas foram desenvolvidos nos últimos anos, mas o número de modelos infantis é bem menor. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de fantomas infantis de referência de 5 e 10 anos de idade para serem usados em cálculos de doses equivalentes na área de proteção radiológica. O método utiliza ferramentas desenvolvidas para a modelagem de objetos 3D. Atlas e livros de Anatomia foram as referências para as formas e posições. Os valores das massas de cada órgão e tecido foram ajustados conforme os dados de referência publicados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP). Os resultados são apresentados em imagens dos órgãos e tecidos e em tabelas. Cálculos dosimétricos mostram concordância com os fantomas adultos e fantomas infantis matemáticos, levando em conta as diferenças entre os fantomas.

1 Introdução

Crianças são mais vulneráveis aos efeitos da radiação ionizante do que adultos, visto que a maioria dos órgãos e tecidos radiosensíveis ainda está em desenvolvimento. Além disso, a blindagem pelo tecido adiposo subcutâneo das crianças é menor quando comparada aos adultos. Conseqüentemente, são necessários fantomas para cada idade, visto que a anatomia muda com o crescimento. Tão logo os primeiros fantomas computacionais estilizados de adultos do tipo MIRD5 apareceram nos anos sessenta do século vinte, versões vem sendo construídas também para crianças recém-nascidas, de um, cinco, dez e quinze anos de idade [1].

No Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN/UFPE), fantasmas adultos vem sendo desenvolvidos nos últimos oito anos [2]. As últimas edições dos fantasmas adultos masculino e feminino referenciais, chamados MASH e FASH [3, 4], foram desenvolvidos a partir de descrições da anatomia dos órgãos e tecidos fornecidas por atlas e livros-texto de Anatomia e construídos por meio do uso de softwares de computação gráfica, sem o uso de imagens médicas. A proposta deste estudo é estender o programa de desenvolvimento de fantasmas do DEN/UFPE à construção de fantasmas de crianças. Aqui são descritos dois casais de fantasmas infantis, um de cinco e outro de dez anos de idade, construídos usando os mesmos métodos usados na construção dos fantasmas adultos.

2 Metodologia

Para o desenvolvimento de fantasmas humanos sem o uso de imagens médicas obtidas de pacientes ou voluntários são necessários: 1) objetos 3D dos órgãos e tecidos de interesse; 2) a descrição detalhada da anatomia do corpo humano, incluindo todos os órgãos e tecidos radiosensíveis; 3) ferramentas computacionais adequadas para criar e editar objetos 3D, no que diz respeito à forma, posição e volume. A descrição da anatomia humana, especialmente das crianças, foi obtida em atlas e livros-texto de Anatomia [5, 6], e em estudos feitos em peças cadavéricas e modelos anatômicos pertencentes ao Departamento de Anatomia da Universidade Federal de Pernambuco. A principal ferramenta computacional de modelagem 3D, o software Blender 2.49b [7], foi usado para a criação, edição e voxelização dos objetos 3D. Outros softwares utilizados foram: MakeHuman 0.9.1 RC1 [8] para a obtenção da superfície dos fantasmas; ImageJ 1.43k [9] para a visualização e edição dos fantasmas voxelizados. Os softwares FANTOMAS [10], DIP [11] e QtVoxel [12] foram usados para a edição automática dos fantasmas voxelizados. Os fantasmas de cinco e dez anos de idade têm suas massas baseadas nos valores da ICRP89 [13] para os indivíduos de referência. As densidades necessárias para o cálculo dos volumes dos órgãos e tecidos foram obtidas na ICRP89 [13] e na ICRU46 [14]. A seguir é feita uma breve descrição do processo de modelagem.

2.1 Superfície corporal

A superfície do corpo do fantasma de dez anos de idade foi gerada pelo software MakeHuman [8]. As proporções dos segmentos corporais foram ajustadas com base nos dados de Godin [15]. A superfície do fantasma de cinco anos de idade foi baseada na superfície do fantasma de dez anos. As superfícies criadas por meio do MakeHuman [8] foram exportadas para o software Blender para a reunião aos demais órgãos e tecidos.

2.2 Esqueleto

Os objetos 3D do esqueleto do fantasma adulto MASH foram usados para a modelagem do esqueleto dos fantasmas de 10 anos. O esqueleto dos fantasmas de 5 anos foi modelado a partir do esqueleto de 10 anos. A superfície de cada fantasma foi a

referência usada para a remodelagem dos objetos 3D de modo a atenderem às características do esqueleto de cada uma das crianças. Depois da voxelização, os ossos dos fantasmas das crianças foram segmentados em osso cortical, cartilagem, medula óssea amarela medular e esponjosa, que é o osso trabecular preenchido com medula. Isto foi feito para permitir o uso de imagens μ CT de osso trabecular na dosimetria do esqueleto. Os volumes dos tecidos do esqueleto foram calculados usando dados fornecidos por relatórios da ICRP [13, 16] para a determinação dos volumes dos tecidos específicos dos ossos. Como as imagens μ CT do osso trabecular não estavam disponíveis para os esqueletos de cinco e dez anos de idade, as imagens μ CT usadas nos fantasmas MASH e FASH [17] para adultos foram reamostradas para a resolução de 70 μ m e as frações do volume do osso trabecular foram ajustadas para as porcentagens fornecidas pela ICRP70 [16] para as crianças destas idades.

2.3 Órgãos e tecidos

Todos os órgãos e tecidos listados na tabela 2.8 da ICRP89 [13] foram segmentados em cada um dos fantasmas. Os volumes desejados para os órgãos e tecidos foram calculados dividindo as massas de referência da ICRP89 [13] pela suas correspondentes densidades. Todos os outros parâmetros, como dimensões, forma e relações de vizinhança foram baseadas em descrições anatômicas. A maioria dos órgãos e tecidos foi modelada usando os objetos 3D do fantasmas MASH e FASH. Suas formas foram alteradas por meio da manipulação dos vértices e pontos de controle das superfícies das malhas poligonais.

2.4. Voxelização

Os fantasmas mesh foram voxelizados para serem acoplados à versão V4-2.3.1 do código Monte Carlo EGSnrc [18], visto que este código Monte Carlo ainda não pode ser conectado direto aos objetos 3D baseados em superfícies de malhas poligonais. As composições e densidades dos tecidos para os adultos [4] foram usadas para os fantasmas infantis, exceto para o osso cortical e tecido adiposo obtido na ICRP89 [13] e ICRU46 [14].

3 Resultados

3.1 Fantasmas mesh

A figura 1 mostra a vista anterior dos órgãos e tecidos dos fantasmas mesh masculinos e femininos de cinco e dez anos de idade. O tecido adiposo e os músculos estão transparentes para permitir a visualização do esqueleto e dos demais órgãos internos. Os fantasmas masculino e feminino de cada idade têm as mesmas dimensões corporais e massas dos órgãos, naturalmente, os órgãos sexuais diferem em cada sexo. A figura 2 mostra os órgãos dos sistemas respiratório, digestório, urogenital e outros órgãos destes fantasmas.

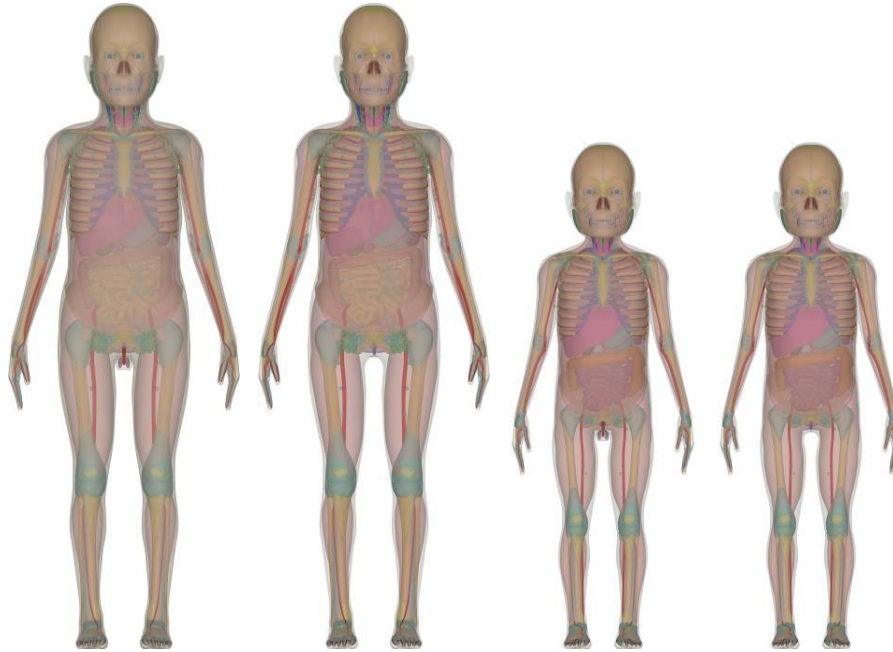


Fig. 1. Vista anterior dos órgãos e tecidos dos fantomas masculino e feminino de 10 anos (à esquerda) e dos fantomas masculino e feminino de 5 anos (à direita)

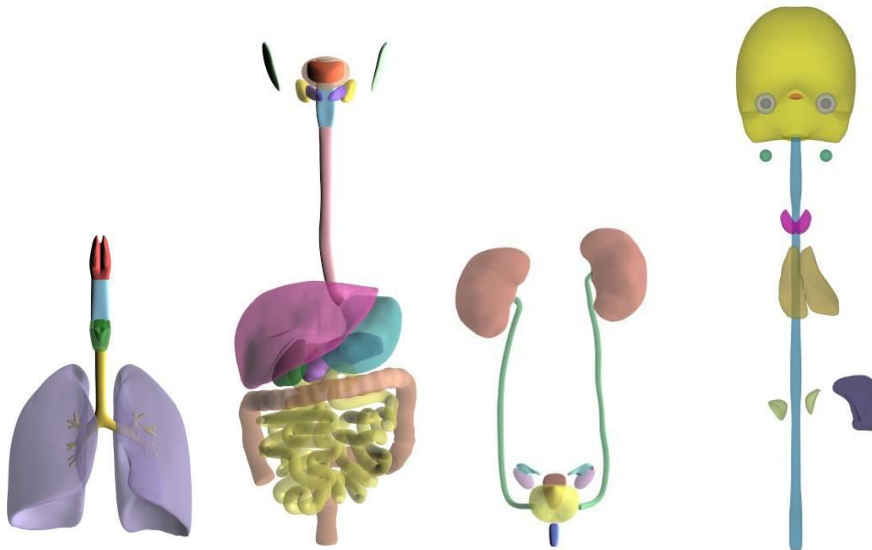


Fig. 2. Imagens da vista anterior dos órgãos dos sistemas respiratório (à esquerda), digestório (o segundo, da esquerda para a direita), urogenital feminino (o terceiro, da esquerda para a direita) e de outros órgãos (à direita) dos fantomas de 5 e 10 anos de idade

3.2 Fantomas voxelizados

Os fantomas mesh infantis foram voxelizados com uma resolução cúbica de 0,07 cm, porque esta é a espessura da pele de crianças até dez anos de idade, de acordo com a ICRP89 [13]. A segmentação e os ajustes finais dos tecidos do esqueleto foram feitos após a voxelização dos fantomas. Todos os órgãos e tecidos importantes dos fantomas infantis têm exatamente a massa recomendada pela ICRP89 [13], com exceção da diferença de 0,4% e 0,8% para os tecidos do esqueleto dos fantomas de cinco e dez anos, respectivamente. A tabela 1 mostra as características mais importantes dos fantomas voxelizados, chamados M05, F05, M10 e F10.

Tabela 1. Principais características dos fantomas de 5 e 10 anos voxelizados

Característica	5 anos	10 anos
Altura do fantoma (cm)	108,99	137,97
Número de voxels de órgãos do fantoma masculino	55.648.278	93.518.500
Número de voxels de órgãos do fantoma feminino	55.585.461	93.400.147
Número de órgãos segmentados do fantoma masculino	142	142
Número de órgãos segmentados do fantoma feminino	143	143
Massa do fantoma masculino (kg)	19,16	32,39
Massa do fantoma feminino (kg)	19,15	32,34
Nome do fantoma masculino	M05	M10
Nome do fantoma feminino	F05	F10
Espessura da fatia (altura do voxel, cm)	0,07	0,07
Resolução do pixel no plano (cm x cm)	0,07 x 0,07	0,07 x 0,07
Volume do voxel (cm ³)	0,000343	0,000343
Número de colunas	568	706
Número de linhas	286	314
Número de fatias	1557	1971

3.3 Avaliações dosimétricas

Comparação com fantomas adultos. Os cálculos Monte Carlo simularam exposição AP de corpo inteiro com fótons. Na figura 3 as doses equivalentes para medula óssea vermelha (RBM) e células na superfície dos ossos (BSC) para o M05 são mostradas juntas a dados correspondentes do fantoma MASH. Como esperado, as doses equivalentes para RBM e BSC no esqueleto do MASH são menores porque a maior massa corporal do adulto fornece maior atenuação para a radiação antes que ela alcance os ossos, quando comparadas ao corpo masculino de cinco anos de idade.

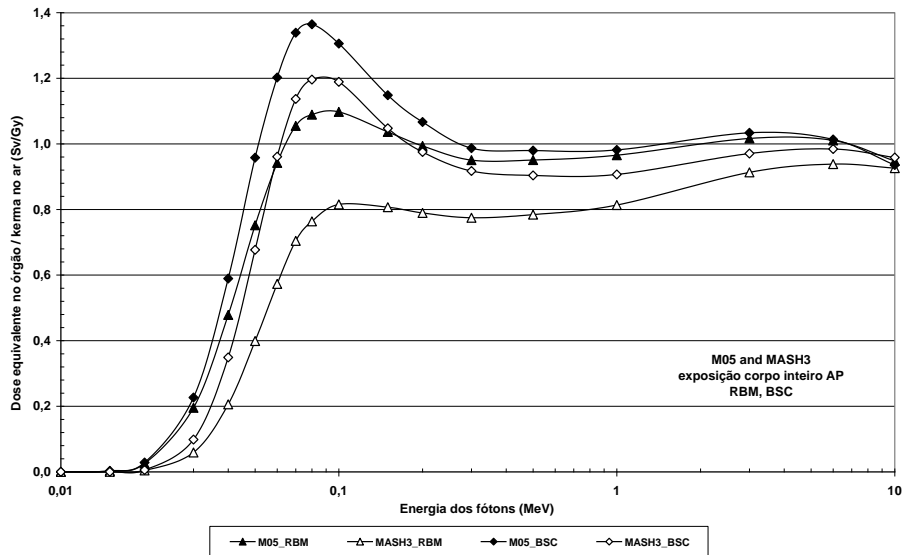


Fig. 3. Dose equivalente normalizada por kerma no ar na medula óssea vermelha (RBM) e nas células na superfície dos ossos (BSC) para exposição de corpo inteiro AP nos fantasmas masculinos infantil M05 e adulto MASH

Comparação com fantasmas infantis tipo MIRD5. Frações absorvidas específicas (SAFs) são mostradas na figura 4 para os fantasmas F05 e M10, bem como para os fantasmas MIRD5 de 5 e 10 anos, usados pelo software OLINDA [19]. Para todos os casos, os SAFs para os fantasmas MIRD5 são menores do que os SAFs do F05 e do M10, por causa da maior distância entre os órgãos nos fantasmas MIRD5. Para um dado cenário de exposição interna, a distância entre o órgão fonte e o órgão alvo representa o parâmetro mais importante da exposição. Smith e colaboradores [20] investigaram as distâncias entre os órgãos no fantoma de voxels adulto GOLEM em relação ao fantoma adulto MIRD5 e encontraram distâncias até três vezes maiores no fantoma MIRD5.

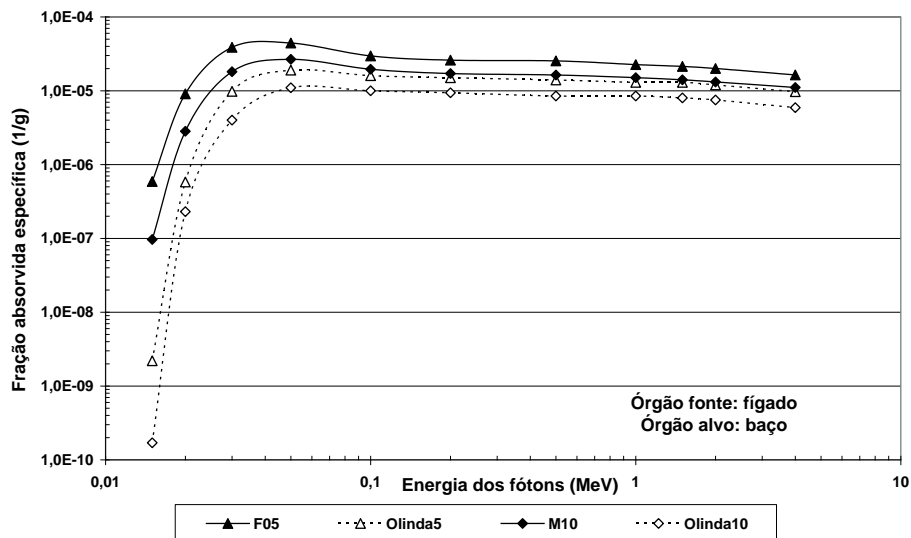


Fig. 4. Fração absorvida específica SAF (baço←fígado) em função da energia dos fótons para os fantomas infantis F05, M10 e os fantomas MIRD5 de 5 e 10 anos usados pelo software OLINDA [19]

4 Conclusão

Pela primeira vez, fantomas masculinos e femininos de crianças de cinco e dez anos de idade, construídos por superfícies de malhas poligonais, foram desenvolvidos baseados somente em atlas e livros-texto de Anatomia, sem o uso de imagens médicas de pacientes ou voluntários. O método aqui apresentado permite uma detalhada modelagem das estruturas anatômicas, as quais podem ser mudadas com facilidade, se necessário. As massas dos órgãos e tecidos dos fantomas infantis M05, F05, M10 e F10 estão de acordo com o que prevê a ICRP89 para os indivíduos de referência de cinco e dez anos de idade e suas posições são representativas para crianças em pé. Avaliações dosimétricas realizadas com estes fantomas são razoáveis e satisfazem as expectativas quando comparados aos resultados obtidos para os fantomas adultos. A comparação com fantomas tipo MIRD5 é razoável, se forem consideradas as diferenças anatômicas entre estes dois tipos de fantomas. Estes fantomas são os primeiros de uma série de fantomas infantis a ser desenvolvida pelo DEN/UFPE.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco – FACEPE pelo auxílio financeiro. Um agradecimento especial é feito ao Prof. M. Stabin da Vanderbilt University por ter fornecido os dados do OLINDA.

Referências

1. Han, E. Y., Bolch, W. E., Eckerman, K. F.: Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema. *Health Physics* (2006) 90(4) 337-356
2. Kramer, R., Vieira, J. W., Khoury, H. J., Lima, F. R. A., Fuelle, D.: All About MAX: a Male Adult voXel Phantom for Monte Carlo Calculations in Radiation Protection Dosimetry. *Phys Med Biol* (2003) 48 1239-1262
3. Cassola, V. F., de Melo Lima, V. J., Kramer, R., Khoury, H. J.: FASH and MASH: Female and Male Adult human phantoms based on polygon meSH surfaces. Part I: Development of the anatomy. *Phys Med Biol* (2010) 55 133-162
4. Cassola, V. F., Kramer, R., Brayner, C., Khoury, H. J.: Poster-specific phantoms representing female and male adults in Monte Carlo-based simulations for radiological protection. *Phys Med Biol* (2010) 55 4399-4430
5. Testut, L., Latarjet, A.: *Tratado de anatomía humana*. Salvat (1949) Barcelona
6. Gray, H.: *Anatomia*. 29. Ed. Guanabara Koogan (1977) Rio de Janeiro
7. Rosendaal, T.: Blender 2.49b. <http://www.blender.org/> Acessado em Set. 2009
8. Bastioni, M.: MakeHuman 0.9.1 RC1. <http://www.makehuman.org> Acessado em Mar. 2009
9. Rasband, W.: ImageJ 1.43k. National Institute of Health USA <http://rsbweb.nih.gov/ij> Acessado em Jun. 2009
10. Vieira, J. W., Stosic, B., Lima, F. R. A., Kramer, R., dos Santos, A. M., Lima, V. J. M.: Um Software para Editar Fantomas de Voxels e Calcular Coeficientes de Conversão para a Proteção Radiológica. 1º Congresso Brasileiro de Proteção Radiológica Rio de Janeiro (2005)
11. Vieira, J. W., Lima, F. R. A.: A Software to Digital Image Processing To Be Used in the Voxel Phantom Development. *Cellular and Molecular Biology (Online)* (2009) 55 16-22
12. Cassola, V. F., QtVoxel: software feito em casa. Não publicado (2010)
13. ICRP: Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. ICRP Publication 89 Oxford: Pergamon (2002)
14. ICRU: Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues. ICRU Report 46 Maryland: International Commission on Radiation Units and Measurements (1992)
15. Godin, P.: Record of individual growth: a guide to parents, physicians and teachers. Publications of the Training School at Vineland New Jersey (1916)
16. ICRP: Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: The Skeleton. ICRP Publication 70 Oxford: Pergamon (1995)
17. Kramer, R., Cassola, V. F., Khoury, H. J., Vieira, J. W., de Melo Lima, V. J., Robson Brown, K.: FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: II. Dosimetric calculations. *Phys Med Biol* (2010) 55 163-189
18. Kawrakow, I., Accurate condensed history Monte Carlo simulation of electron transport. I. EGSnrc, the new EGS4 version. *Med Phys* (2000) 27 485-498
19. Stabin, M. G., Sparks, R. B., Crowe, E.: OLINDA/EXM: The Second-Generation Personal Computer Software for Internal Dose Assessment in Nuclear Medicine. *J Nucl Med* (2005) 46 1023-1027
20. Smith, T. J., Phipps, A. W., Petoussi-Hens, N., Zankl, M.: Impact on internal doses of photons SAFs derived with the GSF adult male voxel phantom *Health Phys* (2001) 80(5) 477-485