

Dois fantasmas construídos a partir de superfícies *mesh* representando uma mulher adulta e um homem adulto

Two adult human voxel phantoms based on polygon mesh surfaces

Vagner F. Cassola¹, Richard Kramer¹, Vanildo J. M. Lima² e Helen J. Khoury¹

¹Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFP) - Recife (PE), Brasil

²Departamento de Anatomia da UFP - Recife (PE), Brasil

Resumo

Entre os modelos computacionais usados na proteção radiológica os fantasmas de voxel, com base em imagens de Tomografia Computadorizada (TC), Ressonância Magnética Nuclear (RMN) ou fotografias, se tornaram populares nos últimos anos. Embora estes fantasmas forneçam uma representação fiel à anatomia de um indivíduo, a digitalização é normalmente feita em decúbito dorsal que, em comparação com a anatomia de uma pessoa em pé, provoca o deslocamento dos órgãos internos na direção da caixa torácica, compressão dos pulmões e redução do diâmetro sagital, em especial na região abdominal, o que por sua vez pode influenciar na estimativa da dose absorvida ou equivalente. Este estudo propõe um método de construção de fantasmas humanos usando ferramentas desenvolvidas para a computação gráfica e animação 3D, aplicadas à criação e modelagem de órgãos e tecidos humanos. Dois fantasmas, um feminino e um masculino, foram desenvolvidos com base em informações obtidas de atlas anatômicos e respeitando, ao mesmo tempo, os valores de referência anatômica para o homem e a mulher adultos publicados pela Comissão Internacional de Radioproteção. Os fantasmas foram chamados FAX_AA (*Female Adult voXel_Average-Average*) e MAX_AA (*Male Adult voXel_Average-Average*), porque representam adultos do sexo feminino e masculino com peso e altura média.

Palavras-chave: Anatomia, computação gráfica, fantasmas humanos, radioproteção.

Abstract

Among computational models used in radiation protection, voxel phantoms based on computer tomographic (CT), nuclear magnetic resonance (NMR) or colour photographic images, became very popular in recent years. Although being a true to nature representation of the scanned individual the scanning is usually made in supine position, which causes a shift of internal organs towards the ribcage, a compression of the lungs and a reduction of the sagittal diameter especially in the abdominal region compared to the anatomy of a person in upright standing position, which in turn can influence absorbed or equivalent dose estimates. This study proposes a method for human phantom design using tools recently developed in the areas of computer graphics and animated films and applies them to the creation and modeling of artificial 3D human organs and tissues. Two models, a male and a female adult human phantom have been developed based on anatomical atlases, observing at the same time the anatomical specifications published by the International Commission on Radiological Protection for the male and female reference adult. The phantoms are called FAX_AA (*Female Adult voXel_Average-Average*) and MAX_AA (*Male Adult voXel_Average-Average*) because they represent female and male adults with average weight and average height.

Keywords: Anatomy, computer graphics, human phantom, radiation protection.

Introdução

A radioproteção está baseada na preocupação dos possíveis efeitos deletérios que as radiações ionizantes podem causar. Desta forma, com o propósito de estimar o risco para cada pessoa devido a exposição à radiação, é necessário conhecer as doses absorvidas em órgãos e tecidos radiossensíveis. Entretanto estes valores não podem

ser medidos diretamente no indivíduo exposto, e por esta razão utilizam-se fantasmas humanos, que são representações físicas ou computacionais utilizadas para determinar coeficientes de conversão entre a dose absorvida nos órgãos e tecidos e grandezas mensuráveis.

Até 2007 existiam basicamente dois tipos de fantasmas computacionais: os fantasmas MIRD5 também conhecidos como fantasmas matemáticos introduzidos por Fisher

e Snyder em 1967¹ e os fantasmas de voxel construídos inicialmente por Gibbs e colaboradores em 1984² e, independentemente por Willians e colaboradores em 1986³.

Nos fantasmas matemáticos as formas do corpo e dos órgãos são descritos por equações representando a combinação e a interseção de planos e superfícies, estes fantasmas são flexíveis e os volumes e posições de órgãos e tecidos podem ser facilmente ajustados. Contudo, volumes geométricos simples não descrevem a anatomia real de um indivíduo. Os fantasmas de voxel são construídos a partir da segmentação de imagens tomográficas e produzem resultados anatômicos mais realísticos que o uso de equações matemáticas. No entanto, quando é necessário realizar ajustes de volumes ou posições dos órgãos para representar indivíduos com diferentes estatura e peso este processo pode ser tedioso e o realismo anatômico pode ser perdido.

Em 2007 Lee e colaboradores⁴ publicaram um fantoma “híbrido” de corpo inteiro para um recém nascido. O fantoma preservava tanto o realismo anatômico dos fantasmas voxels quanto a flexibilidade dos fantasmas matemáticos. Isto foi possível através do uso de superfícies NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*) para o modelamento dos órgãos originalmente descritos em voxel. A utilização de superfícies NURBS possibilita ajustar os volumes e órgãos e/ou a estatura do corpo e, ao mesmo tempo, é possível alcançar um grau maior de realismo anatômico^{5,6}. Também em 2007, Santos e Frère⁷ apresentavam um trabalho sobre a construção de um fantoma computacional usando malhas de polígonos desenvolvidas a partir de informações de atlas anatômicos e fotografias de um esqueleto.

Xu e colaboradores⁸ utilizaram modelos 3D da pele de um feto de nove meses de idade e de sua mãe para a construção da superfície de um fantoma de mulher grávida. Nestes fantasmas os modelos 3D das peles foram obtidos em sites especializados, enquanto a parte interna foi baseada em imagens CT.

O programa CALDose_X, de acesso livre pela internet (www.grupodoin.com), calcula doses absorvidas

Tabela 1. Órgãos e tecidos segmentados nos fantasmas FAX_AA e MAX_AA. Em negrito o modelos obtidos na internet.

Olhos	Timo	Tireóide	Ovário
Cérebro	Baço	Fígado	Pênis
Medula espinhal	Língua	Rins	Útero
Seios	Passagem Nasal	Bexiga	Nodos Linfáticos
Glândulas Adrenais	Cavidade Bucal	Estômago	Pele
Pulmão	Faringe	Intestino delgado	Gordura
Traquéia	Laringe	Intestino grosso	Músculo
Coração	Glândulas Salivares	Próstata	Esqueleto
Pâncreas	Esôfago	Testículos	Tecido Mole*

* Tecido Mole: sangue, vasos sanguíneos, tecidos conectivos, fásia muscular, tendões, etc.

em órgãos e tecidos, assim como o risco da exposição a radiação, para pacientes submetidos a exames de radiodiagnóstico. Os valores são calculados com base no método Monte Carlo e nos fantasmas MAX06 e FAX06^{9,10}. Estes fantasmas apresentam altura, peso, assim como as massas dos órgãos para o homem e mulher de referência de acordo com os valores recomendados pela ICRP89¹¹. Entretanto, na maioria dos casos os pacientes reais possuem altura e peso diferentes das pessoas simuladas pelos fantasmas MAX06 e FAX06.

Este trabalho demonstra o processo de construção de fantasmas de voxel a partir de superfícies de polígonos mesh. São utilizados apenas programas e modelos 3D que podem ser obtidos gratuitamente na internet e atlas anatômicos fornecem as informações para verificar a adequação da anatomia dos fantasmas, excluindo a necessidade do uso de imagens tomográficas. Os fantasmas, que neste trabalho foram inicialmente gerados para representar o homem e a mulher de referência da ICRP89¹¹, podem ter suas massas e altura facilmente modificadas.

Estes novos fantasmas foram chamados FAX_AA e MAX_AA e futuramente serão incorporado ao programa CALDose_X para tornar os cálculos específico para cada paciente.

Material e métodos

Materiais

Neste artigo os fantasmas foram construídos a partir de modelos 3D de órgãos obtidos da internet ou desenvolvidos utilizando um programa livre para modelagem 3D¹² sem a necessidade do uso de imagens tomográficas. Os órgãos e tecidos segmentados nos fantasmas estão listados na Tabela 1 e a Figura 1 mostra os órgãos obtidos da internet que foram utilizando neste trabalho.

No desenvolvimento deste trabalho estes órgãos e tecidos foram revisados e ajustados com base em referências anatômicas contidas em atlas de anatomia, conforme descrito na próxima seção.

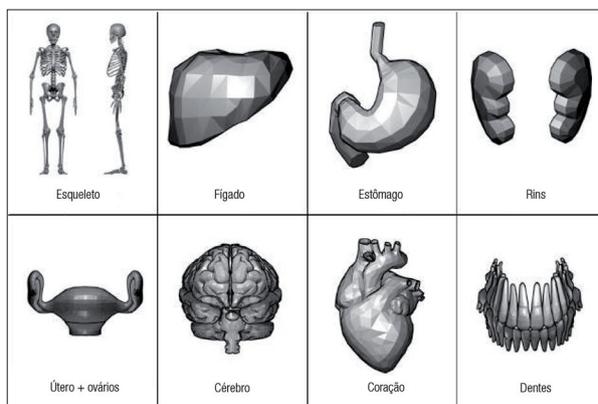


Figura 1. Representação dos oito modelos 3D importados da internet para a construção dos fantasmas.

Processo de construção dos fantasmas

Na construção e edição dos modelos 3D dos fantasmas FAX_AA e MAX_AA utilizaram-se apenas programas livres e o procedimento está representado de forma esquemática no fluxograma da Figura 2.

Para a primeira etapa do procedimento é empregado o programa MakeHuman (versão 0.9.1 RC1)¹³, para modelagem de personagens humanóides. Os personagens são criados deformando um modelo 3D básico usando quatro controles: idade/sexo; massa corporal, seios e formato do corpo (Figura 3). As informações da superfície mesh dos personagens é exportado para um arquivo no formato WaveFront. O arquivo gerado é importado para o Blender¹², um programa de modelagem e animação 3D que permite a edição de polígonos mesh, curvas Bezier, e superfícies NURBS.

No processo de construção dos fantasmas o ajuste do esqueleto como parte inicial é fundamental, pois através dele que são definidas as posições dos órgãos e tecidos. É recomendado que órgãos e tecidos vizinhos sejam ajustados simultaneamente para manter suas posições relativas anatomicamente corretas. Por esta razão eles foram divididos em quatro regiões: cabeça, tronco superior (pescoço+tórax), tronco medial (abdômen) e tronco inferior (abdômen+pelve). Estas regiões são formadas por modelos de órgãos representados na Figura 1 e órgãos modelados utilizando os recursos do Blender. Em ambos os casos, atlas de anatomia forneceram as informações necessárias para concepção final dos órgãos e tecidos¹⁴.

O programa Binvox¹⁵ possui a capacidade de ler um arquivo de um modelo 3D e salvar as informações num arquivo raw de voxels. Este programa é utilizado para converter em voxels os conjuntos de órgãos das quatro regiões descritas anteriormente e mais três conjuntos: ossos dos membros superiores e dois para os membros inferiores. Adicionalmente são convertidos os modelos 3D da superfície, linfonodos e músculos.

O programa de processamento de imagens ImageJ¹⁶, desenvolvido pelo *National Institute of Health*, é empregado para combinar os arquivos voxel dos órgãos e tecidos. Usando o ImageJ a pele é definida no primeiro voxel da superfície do fantoma com exceção dos olhos. São inseridos volumes de tecido mole em torno dos músculos para representar a fáscia muscular e tendões, assim como ao redor de alguns órgãos para representar o tecido conectivo e vasos sanguíneos. Após o ajuste do tecido mole e pele os volume remanescente é definido como gordura. Além destes ajustes é utilizado um procedimento para definir volumes no interior dos ossos para representar o tecido esponjoso e medula óssea medular.

O volume final dos órgãos voxelizados é comparado com os dados de referência da ICRP89¹¹. Quando a diferença entre os volumes é em torno de 5% os ajustes são realizados diretamente no órgão voxelizado, para diferenças maiores os ajustes são realizados no mesh do órgão no Blender e ele é novamente convertido em voxel.

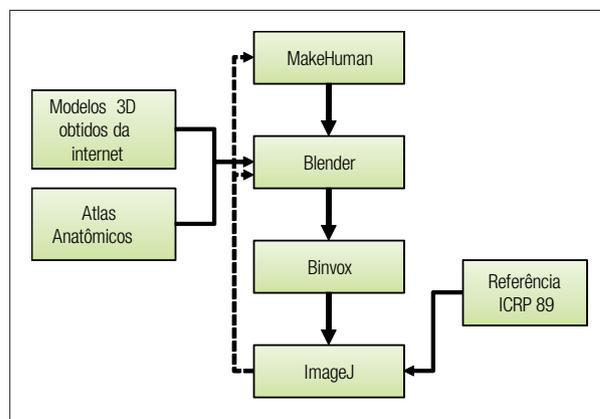


Figura 2. Fluxograma do processo de construção dos fantasmas MAX_AA e FAX_AA. A linha tracejada representa informações sobre o volume dos órgãos que só podem ser obtidas com precisão após o processo de voxelização.



Figura 3. Interface com os controles de ajuste e modelo 3D básico do programa MakeHuman¹⁴.

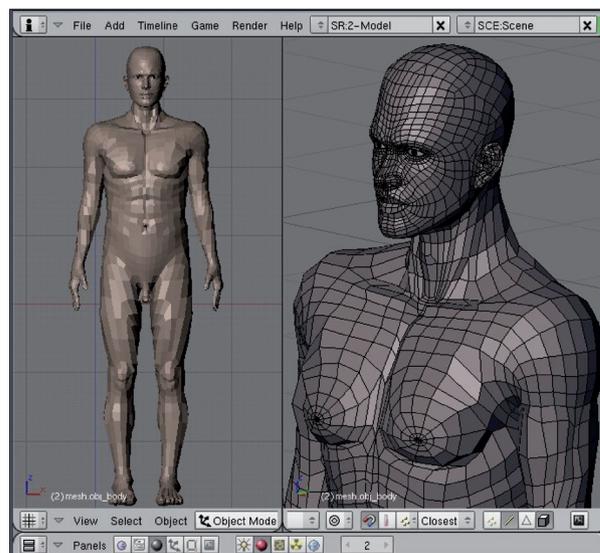


Figura 4. Mesh do modelo importado no Blender para a construção do fantoma MAX_AA.

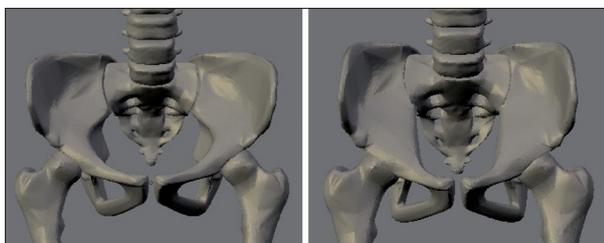


Figura 5. Visualização da pélvis feminina (esquerda) e pélvis masculina (direita).

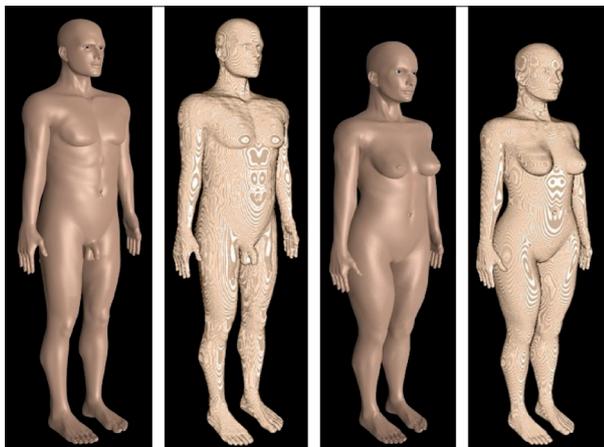


Figura 6. Representação dos mesh das superfícies dos fantomas MAX_AA e FAX_AA e suas respectivas versões voxelizadas¹⁷.

Resultados

A superfície mesh do modelo masculino gerado com o programa MakeHuman e salvo em formato WaveFront e importado para o programa Blender pode ser visualizada na Figura 4.

O modelo de esqueleto, evidenciado na Figura 1, teve suas dimensões, volume e posições relativas de suas partes revisadas e os ossos da pélvis foram modelados de forma diferente nos modelos feminino e masculino (Figura 5).

Praticamente todos os volumes dos órgãos segmentados nos fantomas MAX_AA e FAX_AA possuem diferenças menores que 2,5% em relação aos dados publicados pela ICRP89. Nas Figuras 6 e 7 estão representadas as versões mesh e voxelizadas da pele e dos órgãos dos fantomas desenvolvidos.

Discussão e conclusões

Foi demonstrado ser possível gerar fantomas de voxel, a partir de modelos mesh, usando apenas programas livres disponíveis na internet e informações anatômicas obtidas em atlas sem a necessidade de imagens digitais.



Figura 7. Representação dos mesh dos órgãos dos fantomas MAX_AA e FAX_AA e suas respectivas versões voxelizadas¹⁷.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco - FACEPE pelo auxílio financeiro.

Referências

1. Fisher HL, Snyder WS. Distribution of dose in the body from a source of gamma rays distributed uniformly in an organ. Report ORNL-4168, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA, 1967.
2. Gibbs SJ, Pujol A, Chen TS, Malcolm AW, James AE. Patient risk from interproximal radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58(3):347-54.
3. Williams G, Zankl M, Abmayr W, Veit R, Drexler G. The calculation of dose from external photon exposures using reference and realistic human phantoms and Monte Carlo methods. *Phys Med Biol.* 1986;31(4):347-54
4. Lee C, Lodwick D, Hasenauer D, Williams JL, Lee C, Bolch WE. Hybrid computational phantoms of the male and female newborn patient: NURBS-based whole-body models. *Phys Med Biol.* 2007;52(12):3309-33
5. Lee C, Lee C, Lodwick D, Bolch WE. NURBS-based 3-D anthropomorphic computational phantoms for radiation protection dosimetry applications. *Radiat Prot Dosimetry.* 2007; 127(1-4):227-32.
6. Johnson P, Lee C, Johnson K, Siragusa D, Bolch W. The influence of patient size on dose conversion coefficients: a hybrid phantom study for adult cardiac catheterization. *Phys Med Biol.* 2009;54(12):3613-29.
7. Santos CE, Frère AF. Criação de um fantoma computacional multi-uso baseado em modelagem 3D. Apresentado no XII Congresso Brasileiro de Física Médica, Foz do Iguaçu, jun. 6-9, 2007.
8. Xu G, Taranenko V, Zhang J, Shi C. A boundary-representation method for designing whole-body radiation dosimetry models: pregnant females at the end of three gestational periods – RPI-P3, -P6 and P9. *Phys Med Biol.* 2007;52:7023-44.
9. Kramer R, Khoury HJ, Vieira JW, Lima VJM. MAX06 and FAX06: Update of two adult human phantoms for radiation protection dosimetry. *Phys Med Biol.* 2006;51(14):3331-46
10. Kramer R, Khoury HJ, Vieira JW. CALDose_X a software tool for the assessment of organ and tissue doses, effective dose and cancer risk in diagnostic radiology. *Phys Med Biol.* 2008;53(22):6437-59.
11. CRP. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values ICRP Publication 89. Oxford: Pergamon press; 2002.
12. Blender 2009. [Homepage da internet]. [citado 16 mar 2010]. Disponível em: <http://www.blender.org/>

13. MakeHuman 2009. [homepage da internet]. [citado 16 mar 2010]. Disponível em: <http://www.makehuman.org/> acessado em Jul/09.
14. Sobotta J. Atlas de anatomia humana. 22 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2006.
15. Min P 2009 Binox: 3D mesh voxelizer. [citado 16 mar 2009], Disponível em: <http://www.google.com/search?q=binvox>.
16. ImageJ 2009 National Institute of Health. ImageJ: Image Processing and Analysis in Java. [citado 16 mar 2010]. Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/>.
17. Cassola V F, de Melo Lima V J, Kramer R and Khoury H J. FASH and MASH: Female and Male Adult human phantoms based on polygon meSH surfaces. Part II. Dosimetric calculations. Phys Med Biol 2010; 55(1); 163-189.