

Construção de um objeto simulador antropomórfico de tórax para medidas de controle da qualidade da imagem em radiodiagnóstico

Development of an anthropomorphic thorax phantom for image quality control measurements in diagnostic radiology

Rafaela A. D. Cerqueira¹, Bruno M. Conceição², Carlos H. C. Teixeira², Cleber D. Mota², Tânia M. A. Rodrigues², Ana F. Maia¹

¹Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão (SE), Brasil

²Departamento de Morfologia, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão (SE), Brasil

³Programa de Pós-graduação em Física da Universidade Federal de Sergipe

Resumo

O uso da radiação ionizante traz inúmeros benefícios para o homem, mas associados a eles estão os prejuízos decorrentes da interação da radiação com o corpo. O programa de controle e garantia da qualidade (PCGQ) dos equipamentos de radiodiagnóstico tem como meta a prevalência dos benefícios sobre os prejuízos. Esse programa determina testes que devem ser feitos para garantir a qualidade das imagens médicas, reduzindo ao máximo o custo e as doses absorvidas pelos pacientes e profissionais. No entanto, esses testes não podem ser feitos em pessoas e é nesse momento que entram os objetos simuladores ou *phantoms*, que podem ser de vários tipos, desde simples caixas até a representação exata da forma humana. Esses últimos são chamados de objetos simuladores antropomórficos. O objetivo deste estudo foi desenvolver um objeto simulador antropomórfico de tórax para ser utilizado em testes de controle de qualidade de imagens médicas em radiodiagnóstico e também no treinamento dos profissionais envolvidos na análise das imagens. Esse simulador foi feito com ossos, coração e pulmões humanos, além de um tórax feito de resina epóxi, simulando tecido mole, e um par de pulmões feito de espuma de poliuretano.

Palavras-chave: radiação ionizante, radiodiagnóstico, proteção radiológica, objeto simulador.

Abstract

The use of the ionizing radiation brought by countless benefits to man. But they are associated to the current damages of radiation interaction with the body. Quality control programs of the diagnostic radiology equipments are based in the prevalence of the benefits above the damages. This program determines that tests should be done to guarantee the quality of the medical images, reducing the patients and workers absorbed doses and the cost. However, those tests cannot be made in people and it is on this moment that phantoms are used. Diagnostic radiology phantoms can be of several types, going from simple boxes to the exact representation in the human body, called anthropomorphic phantom. The aim of this study was to develop an anthropomorphic thorax phantom to be used in tests for image quality control measurements in diagnostic radiology and also for professionals' training for analysis of radiologic images. This simulator was made with natural human skeleton, heart and lungs, besides the thorax soft tissue were simulated using epoxy-resin tissue and a pair of lungs was made of foamed-polyurethane.

Keywords: ionizing radiation, diagnostic radiology, radiation protection, phantom.

Introdução

A radiação ionizante vem sendo empregada em diversas áreas e assim traz inúmeros benefícios, como a cura de tumores através da terapia e a detecção precoce de doenças através do diagnóstico. No entanto, a interação da radiação com o corpo pode causar danos às células, chegando até a levar a morte. Para garantir a predominância dos

benefícios e a proteção radiológica no Brasil, o Ministério da Saúde publicou a Portaria Nº 453/98 para obrigar a implantação do programa de controle e garantia da qualidade (PCGQ) nos serviços de radiodiagnóstico¹.

Esse PCGQ é composto por testes que possibilitam obter equipamentos estáveis que reproduzem um mesmo padrão de imagem, permitindo visualizar com nitidez as estruturas anatômicas do corpo com alta qualidade^{1,2}.

Correspondência: Rafaela Andrade Dantas Cerqueira - Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe - Rod. Marechal Rondon s/n - CEP: 49.100-000, São Cristóvão (SE) - Brasil - E-mail:rafaelatoff@yahoo.com.br

Porém, esses testes não são feitos diretamente no corpo humano, devido a variações de geometria, da morfologia e da anatomia dos mesmos, o que tornaria a análise dos testes bastante complicada. Além disso, fazer experimentos em seres humanos utilizando radiação ionizante é uma prática inadmissível.

Uma alternativa, então, é realizar estes testes utilizando objetos simuladores, também chamados de *phantoms*. Estes objetos simuladores são objetos físicos ou virtuais utilizados para simular e estudar o comportamento das radiações ionizantes nos tecidos biológicos e gerar estimativas da qualidade de imagens médicas e de dose absorvida no paciente³. São também empregados para calibração de equipamentos de radiodiagnóstico e no treinamento do profissional de saúde nas aplicações clínicas que envolvem o uso de radiação⁴.

Esses simuladores podem ser feitos por um único tecido equivalente (homogêneos) ou por um conjunto de tecidos equivalentes que reproduzem com precisão órgãos específicos (heterogêneos). Quanto à forma, podem ser geométricos: possui uma geometria simples, construídos na forma de cubos ou caixas; ou antropomórficos: forma e composição semelhantes ao corpo humano, sendo assim a forma mais complexa de reproduzir características humanas⁵.

Há diversos materiais usados para a confecção de um objeto simulador antropomórfico, desde materiais de fácil aquisição como alumínio, resinas, acrílico, a órgãos reais, de origem animal ou humana, que passaram previamente por um processo de conservação, obtendo assim um *phantom* ainda mais realistas⁶.

No entanto, os mais comumente utilizados são bastante simples e grosseiros com relação às pessoas reais, visto que imitam mais a absorção das estruturas anatômicas do que suas formas e representam somente uma determinada estrutura anatômica de interesse.

Dessa forma, tendo em vista a importância de um programa de controle da qualidade dos equipamentos empregados em radiodiagnóstico, as limitações dos objetos simuladores mais utilizados e o fato de ainda hoje, mesmo não apresentando desafios tecnológicos significantes, esses objetos serem adquiridos quase que exclusivamente no



Figura 1. Comparação de uma peça glicerina sem e com preenchimento de acrílico, respectivamente.

mercado internacional, o objetivo deste trabalho foi confeccionar um objeto simulador antropomórfico de tórax para radiodiagnóstico que se assemelhasse ao máximo ao tórax humano, respeitando as características dos órgãos e tecidos presentes na região, que possuísse os seguintes tecidos: o pulmão, o coração, os ossos e o tecido mole, de forma a permitir a visualização da anatomia humana real, além de que fosse econômico, portátil, prático, estável, com tecnologia nacional e que representasse a população brasileira.

Logo, o objetivo foi confeccionar o *phantom* com ossos, coração e pulmões reais humanos e um par de pulmões artificiais, para que fosse possível num mesmo objeto simulador antropomórfico, fazer testes, imagens e treinamento de profissionais usando tanto órgãos reais glicerina como órgãos artificiais, alternando-os.

Material e Métodos

A construção do protótipo iniciou-se com a escolha da função do objeto simulador antropomórfico de tórax, que foi desenvolvido para servir de instrumento em estudos da qualidade das imagens médicas e para treinamento de profissionais da área.

O objeto simulador construído utilizou uma série de materiais artificiais e algumas peças anatômicas. Órgãos reais humanos foram obtidos de um cadáver doado pelo Museu de Anatomia Humana Prof. Dr. Osvaldo da Cruz Leite, selecionado especificamente para atender o objetivo deste estudo, que era simular a população média brasileira. Para tanto, foi selecionado um cadáver de sexo masculino, com idade de aproximadamente 50 anos e pardo. As peças do cadáver utilizadas na construção do *phantom* foram os ossos da caixa torácica, os pulmões e o coração.

Para que fosse possível a utilização destes órgãos, eles passaram por um processo de conservação, uma vez que seriam utilizados por longo tempo, sem haver deterioração. Para a limpeza dos ossos, depois da dissecação, eles foram mergulhados em um tipo de detergente composto por sais, chamado de Solução de Lise. Já o coração e os pulmões passaram por um processo chamado de Glicerinação, que consiste na substituição dos fluidos dos órgãos por glicerina, dando assim um aspecto plastificado a peça.

Durante a glicerinação, foi realizado o preenchimento das estruturas internas do coração e dos pulmões, com uma solução de acrílico auto-polimerizante a fim de manter o formato e tamanho reais dos órgãos, uma vez que no processo ocorre a desidratação e caso não fosse feito o preenchimento, as peças perderiam suas características geométricas. Esse fato pode ser facilmente visualizado através da comparação de uma peça glicerina sem e com preenchimento, mostradas na Figura 1.

Além disso, havia a necessidade de simular outros tecidos do corpo humano, como tecido mole, e também era um dos objetivos desenvolver um pulmão artificial. Por isso foi preciso selecionar materiais artificiais para servir

como tecido equivalente. Amostras dos materiais mais comumente utilizados pela comunidade científica para tais simulações foram coletadas e enviadas ao Departamento de Física e Matemática da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto para determinação do coeficiente de atenuação linear de cada uma das amostras.

Comparando as densidades e os coeficientes de atenuação linear das amostras com os dados listados nas publicações da ICRU 44 e ICRU 48 sobre as propriedades dos diversos órgãos e de alguns materiais tecido equivalente, foram escolhidos a resina epóxi, para simular tecido mole, e a espuma de poliuretano, para simular o tecido pulmonar. A Tabela 1 mostra as densidades dos materiais simuladores, resina epóxi e poliuretano, em comparação com os tecidos do corpo.

Resultados

Para construção do objeto simulador, foi escolhido um material artificial para simular os tecidos moles, a resina epóxi, e foi feito um pulmão artificial de espuma de poliuretano para permitir a permutação com o pulmão real, possibilitando maior aplicabilidade do *phantom*. Além desses materiais, ossos, pulmões e coração humanos foram selecionados para construção do *phantom*.

Escolhidos os materiais tecido equivalentes, foi feito um molde de silicone com as formas do tórax humano utilizando um manequim, como mostra a Figura 2.

Além disso, para que o tórax de resina ficasse oco, para poder fazer um diafragma removível, foi preciso fazer um molde da parte interna da caixa torácica, utilizando silicone. Com os moldes prontos e devidamente posicionados, foi feito o preenchimento com resina epóxi, onde foram usados 11 kg de Araldite e 3,66 kg do endurecedor Aradur, ambos fabricados pela empresa Huntsman.

Depois de dois dias, obteve-se o tórax feito de resina epóxi como tecido equivalente. Esse tórax foi então repartido ao meio. Com o tórax repartido e usando resina epóxi e tecido, foi feito o diafragma, para posicionar os órgãos durante a realização dos exames.

Com o tórax e o diafragma do *phantom* prontos, o pulmão artificial foi, então, confeccionado. Para isso, utilizando os moldes de gesso dos pulmões glicerizados foram feitos contramoldes de acrílico, que foram posteriormente preenchidos por poliálcool e isocianato na proporção de 1:1 para obter então os pulmões de espuma de poliuretano, como mostra a Figura 3.

Discussão e Conclusões

A figura 4 mostra o objeto simulador antropomórfico em detalhe, onde é possível ver a caixa do tórax de resina epóxi e com os ossos (costelas e vértebras), o diafragma de resina epóxi e tecido de algodão, um par de pulmões de espuma de poliuretano, um coração e um par de pulmões reais glicerizados.

Tabela 1. Densidades do tecido mole, da resina epóxi, do pulmão e da espuma de poliuretano.

Material simulador	Densidade (g/cm ³)
Pele	1,09 [7]
Gordura	0,92 [7]
Músculo	1,00 a 1,04 [7]
Resina epóxi	1,06 a 1,40 [8]
Pulmão	0,29 [9]
Espuma de poliuretano	0,30 [7]



Figura 2. Molde bipartido feito de silicone.



Figura 3. Foto dos pulmões artificiais (esquerdo e direito, respectivamente), feitos de espuma de poliuretano.



Figura 4. Foto do Objeto Simulador Antropomórfico de Tórax bipartido, com diafragma removível, coração real e pulmões artificiais e reais.

Por meio da Figura 4 é possível afirmar que o simulador foi desenvolvido com semelhante forma, tamanho, heterogeneidade e posicionamento das estruturas do corpo humano. Essa heterogeneidade foi obtida utilizando, na construção desse objeto simulador, materiais diferentes que respondem de forma similar aos tecidos do corpo humano.

Além disso, os materiais utilizados foram selecionados por possuírem alta estabilidade, podendo suportar uma longa rotina de testes, permitindo um alto grau de reprodutibilidade de imagens por várias modalidades de radiologia. Dessa forma, o *phantom* foi feito com tecnologia nacional, com materiais estáveis, como mostram estudos feitos pela comunidade acadêmica⁵⁻¹¹.

Ele foi confeccionado com a possibilidade de utilizar dois materiais tecido equivalente para simular o tecido pulmonar, que podem ser alternados na realização dos testes de imagens. Um desses materiais foi o pulmão real glicerinado e o outro foi feito de espuma de poliuretano. Os outros materiais tecido equivalentes utilizados para desenvolver o simulador foram a resina epóxi, simulando tecido mole, ossos humanos e o coração também glicerinado.

Logo, o objeto simulador antropomórfico de tórax desenvolvido nesse projeto tem propriedades adequadas para uso em rotinas de testes de controle da qualidade das imagens e no ensino e treinamento em capacitação técnica de profissionais habilitados para qualificar estudos de qualidade de imagem. A avaliação de desempenho em diversas técnicas de radiologia será estudada em detalhes em estudos futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UFS, CNPq, INCT em Metodologias das Radiações na Medicina (CNPq/FAPESP/FINEP) e à FAPITEC/SE pelo apoio financeiro. Ao Departamento de Física e Matemática da Faculdade de

Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto juntamente com o Museu de Anatomia Humana Prof. Dr. Osvaldo da Cruz e o Departamento de Morfologia da UFS, que permitiram à realização deste trabalho.

Referências

1. Ministério da Saúde. Diretrizes de Proteção Radiológica Em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. Brasília; 1998 (Portaria 453).
2. Ferreira DFP; Medeiros RB; Moraes R. Comparação de Protocolos Para Controle de Qualidade da Imagem Mamográfica. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. São José dos Campos: UNIVAP, v. 2/5, 2002. p. 79-82.
3. Silva FHF; Campos TPR. Avanços no Desenvolvimento de Um Fantoma Analítico Computacional Para Órgãos Internos. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, Salvador, v. 1. p. 1-5, 2008.
4. International Commission on Radiation Units and Measurement (ICRU) Report N°. 44 "Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement" (ICRU 1989).
5. International Commission on Radiation Units and Measurement (ICRU) Report N°. 48 "Phantoms and Computational Models in Theerapy, Diagnosis and Protection" (ICRU 1992).
6. Yoona S; Henry RW; Bouley DM; Bennett NR; Fahrig R. Characterization of a Novel Anthropomorphic Plastinated Lung Phantom. Med. Phys., 2008; 35(12):5934-43.
7. Tomimasu S. Desenvolvimento de Material Simulador de Tecido Humano a Partir do Látex de Borracha Natural Vulcanizado Com Radiação Gama. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações) - IPEN, São Paulo; 2000.
8. Faria PE. De. Estudo sobre a Furação de Compósito de Resina Epóxi Reforçado com Fibras de Vidro. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte; 2007.
9. Jones AK; Hintenlang DE; Bolch WE. Tissue-Equivalent Materials for Construction of Tomographic Dosimetry Phantoms In Pediatric Radiology. Med. Phys. 2003; 30(8):2072-81.
10. White DR. Tissue Substitutes in Experimental Radiation Physics. Med. Phys. 1978; 5(6):467-9.
11. Nisbet A; Thwaites DI. An evaluation of epoxy resin phantom materials for electron dosimetry. Phys. Med. Biol. 1998; 43:1523-8.