

Modelagem Computacional das Túnicas Cardíacas para Processamento e Controle de Qualidade

Computational modeling of Cardiac Tunics for Processing and Quality Control

Leandro A. Neves^{1,3}, Daniel L. Fiocco², Moacir F. Godoy³

¹IGCE/Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação/Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Rio Claro (SP), Brasil

²Faculdade de Tecnologia de São José do Rio Preto (FATEC) - São José do Rio Preto (SP), Brasil

³NUTECC/Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto (FAMERP) - São José do Rio Preto (SP), Brasil

Resumo

Este trabalho considera um estudo das características anatômicas do sistema cardíaco e um modelo tridimensional de diferentes túnicas que compõem a parede do coração, para processamento e controle de qualidade de imagens radiológicas. As estruturas são construídas pelo método de sobreposição de camadas, onde uma camada pode ser entendida como uma fatia do objeto tridimensional. O pericárdio, miocárdio e endocárdio foram representados com cilindros e hexágonos. A organização espacial do sistema cardíaco é determinada por uma imagem de fundo, obtida de um modelo real. Os valores para as estruturas são definidos de acordo com a região e pelas características anatômicas dos pacientes. Os resultados são significativos, por considerar detalhes anatômicos de estruturas, como a representação das diferentes espessuras presentes na parede cardíaca. A validação do modelo anatômico foi realizada através de comparações com as dimensões obtidas a partir de um modelo real e permite verificar que o modelo é adequado. O nível de representação permitirá testar as influências de parâmetros radiológicos, particularidades anatômicas e estágios de doenças na qualidade de imagens, bem como o desempenho de sistemas de auxílio ao diagnóstico (SAD).

Palavras-chave: radiologia; controle de qualidade; interpretação de imagem assistida por computador; ensino; coração.

Abstract

This paper considers a study of the anatomical features of the cardiac system and a three-dimensional model of the different tunics that comprise the heart wall, for processing and quality control of radiological images. The structures are built by the layer overlapping method, where a layer can be understood as a slice of the three-dimensional object. The pericardium, myocardium and endocardium were represented with three-dimensional cylinders and hexagons. The spatial arrangement of the cardiac system is determined by an background image of a real model, which values are defined according to the shape of the region and on the anatomical patients characteristics. The results are significant, considering the anatomical structures details, as well as the representation of the thicknesses of the regions of the heart wall. The validation of the anatomical model was accomplished through comparisons with dimensions obtained from a real model and allows verifying that the model is appropriate. The degree of representation will allow the verification of the influence of radiological parameters, morphometric peculiarities and stage of the diseases on the quality of the images, as well as on the performance of the Computer-Aided Diagnosis (CAD).

Keywords: radiology; quality control; computer-assisted image interpretation; teaching; heart.

Introdução

A radiologia evoluiu de maneira notável com as aplicações das técnicas radiográficas no estudo das doenças presentes em diferentes órgãos do corpo humano, em destaque o coração. Para tanto, há técnicas, como a angiografia cardíaca, que permitem a visualização radiográfica das artérias coronárias e estruturas adjacentes, por meio da injeção de

um líquido radiopaco nas mesmas. O resultado é um conjunto de imagens bidimensionais que são difíceis de interpretar, mesmo para especialistas. Outra dificuldade imposta é que algumas cardiopatias podem causar problemas técnicos, como os observados e citados na literatura para angioplastia transluminal coronariana. Portanto, a exatidão e a confiabilidade de um diagnóstico são influenciadas pela qualidade da imagem que o sistema produz.

Correspondência: Leandro Alves Neves – Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação, IGCE, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Avenida 24 A, 1.515 – Bela Vista – CEP 13506-900 – Rio Claro (SP), Brasil – E-mail: laneves@rc.unesp.br

Para minimizar tais problemas técnicos, há programas de garantia de qualidade de sistemas radiológicos. Entretanto, esses programas não são sistematicamente aplicados no Brasil, apesar de terem sua importância reconhecida. Isto se deve em parte à fiscalização da legislação ainda pouco eficiente neste item e à maneira como são apresentados os resultados da avaliação.

Outra característica deste cenário é que os resultados do controle de qualidade deveriam mostrar ao radiologista a imagem do objeto que ele quer radiografar, com a nitidez e o contraste que o seu sistema produz. Isto é possível com representações computacionais de estruturas anatômicas a serem diagnosticadas. No entanto, os simuladores sintéticos que existem no mercado são construídos com materiais (alumínio, lucite e resinas sintéticas) que permitem representar algumas das propriedades das estruturas anatômicas, mas não todas. Isto não acontece com um simulador computacional, que possibilita representar as particularidades das estruturas de interesse, com suas variações anatômicas ou mesmo com suas reais propriedades de absorção dos raios X¹.

Para minimizar os problemas existentes de interpretação das imagens, os especialistas podem contar com Sistemas de Apoio ao Diagnóstico (SAD). Este tipo de recurso é mais uma ferramenta para apurar técnicas de diagnósticos, planejar cirurgias e apoiar o diagnóstico, principalmente por reduzir a influência provocada pela superposição de estruturas. O problema é que o desempenho de um SAD é altamente dependente das imagens sobre as quais ele é treinado ou aplicado. Uma proposta presente na literatura especializada para treinar e avaliar um SAD é a utilização de um banco de imagens, que pode ser constituído com imagens simuladas. Esta recomendação emitida pelo comitê de Fisiologia e Bioengenharia da União Internacional de Ciências Fisiológicas (IUPS) e presente em², considera que estruturas anatômicas modeladas devem considerar características suficientes para auxiliar o diagnóstico médico e prover simulações para estudos anatômicos, investigação de doenças e planejamento cirúrgico. Neste sentido, um banco de imagens de estruturas cardíacas simuladas por computador resolveria a maioria dos problemas existentes, principalmente no

Tabela 1. Espessura (em milímetros) da parede cardíaca do ventrículos direito e esquerdo.

Região	Ventrículo Direito	Ventrículo Esquerdo
Base	5	11
Intermediária	4	12
Superior	2	8

Tabela 2. Espessuras médias, em milímetros, e taxas utilizadas para determinar as dimensões de cada túnica cardíaca.

Dados	Endocárdio	Miocárdio	Pericárdio
Taxa de ampliação	44x	44x	
Espessura na imagem	23	193	
Espessura calculada	0,5	4,4	2

que diz respeito à aquisição e digitalização com sistemas diferentes, no caso de imagens reais.

A aplicação de modelos computacionais para os fins descritos, considerando estruturas sadias ou não, é uma realidade, que podem ser comprovadas em³⁻⁵. Monteiro e col.⁶ apresentaram um coração que usa realidade virtual para permitir a imersão do usuário, favorecendo uma melhor observação das estruturas do corpo humano, tornando-se uma poderosa ferramenta para treinamento médico, porém o modelo não considera um detalhamento microscópico das estruturas que constituem cada tecido.

Neste contexto, o presente trabalho considera a representação tridimensional das túnicas cardíacas e suas organizações, uma vez que a investigação *in vivo* destas é uma tarefa difícil, porém de fundamental importância na compreensão dos processos sadios ou não. Com isso, um modelo virtual cardíaco é proposto com características compatíveis com as das estruturas reais, útil tanto em sistemas de controle de qualidade de imagens radiológicas, quanto como um método alternativo para criar um banco de imagens simuladas do sistema cardíaco sadio ou doente, para processamento (SAD) e controle de qualidade de imagens radiológicas.

Material e Métodos

Para representar as estruturas cardíacas, definimos um modelo anatômico que consiste nos átrios direito e esquerdo, ventrículos direito e esquerdo, válvula tricúspide, válvula pulmonar, válvula aórtica, válvula mitral e a parede cardíaca composta pelos seus tecidos: pericárdio, miocárdio e endocárdio. As dimensões das estruturas anatômicas foram obtidas com cálculos, tendo como base as espessuras dos ventrículos esquerdo e direito (Tabela 1), de um homem na faixa etária de 30 a 49 anos⁷.

A partir da análise de uma imagem, feita com técnicas microscópicas de um corte da parede cardíaca, com um aumento de 44x, pode-se estimar a média das espessuras dos tecidos presentes na parede cardíaca, endocárdio, miocárdio e pericárdio. Já o valor da medida da espessura do pericárdio, que é aproximadamente 2 mm, foi obtido em⁸. Os valores definidos e utilizados estão na Tabela 2.

Utilizando as medidas das espessuras dos ventrículos direito e esquerdo, bem como os apresentados na Tabela 2, foi possível determinar as espessuras de cada tecido cardíaco e da parede cardíaca, para diferentes regiões e túnicas. O cálculo foi realizado a partir de uma proporção entre os dados (1).

$$EMPBVD = \frac{ERBVD \times EMPPC}{ETM} \quad (1)$$

onde, *EMPBVD* = Espessura média do pericárdio na base do ventrículo direito; *ERBVD* = Espessura real da base do ventrículo direito; *EMPPC* = Espessura média do pericárdio na parede cardíaca; *ETM* = Espessura total média.

A relação apresentada em (1) permitiu estimar o valor da espessura média do pericárdio, que é de 1,44 mm para a base do ventrículo direito. Os mesmos cálculos foram realizados para as outras regiões do ventrículo direito e esquerdo, bem como para os três tecidos que os constituem. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos através dos cálculos das espessuras das túnicas.

Para representação tridimensional do coração, foram selecionadas cinco imagens cardíacas em diferentes ângulos, que foram seccionadas em três regiões, Figura 1, identificando constituições diferentes da parede cardíaca. Cada região foi identificada com as cores azul (base dos ventrículos direito e esquerdo), vermelha (região intermediária dos ventrículos direito e esquerdo) e verde (superior dos ventrículos direito e esquerdo e dos átrios direito e esquerdo).

A constituição de cada túnica dos tecidos (pericárdio, miocárdio e endocárdio) foi realizada com a modelagem de fibra muscular, cardiomiócito e epitélio pavimentoso. As formas geométricas geradas são representações aproximadas das que comumente são observadas nos tecidos humanos e vastamente descritas na literatura. Para a representação da fibra que compõe o pericárdio, foi criado um cubo e através dos processos de rotação e escalonamento, chegou-se a forma de um losango tridimensional, identificado pela cor amarela. O cardiomiócito, componente do tecido do miocárdio, foi representado por um cilindro, identificado pela cor vermelha. O endocárdio é formado pelo tecido epitelial pavimentoso simples, que foi representado por um hexágono tridimensional e identificado com a cor azul. Após o desenvolvimento das representações tridimensionais de cada túnica, foi realizada a junção das estruturas, o que permitiu constituir os tecidos, Figura 2. A organização e replicação das túnicas para constituição do coração podem ser constatadas na Figura 3.

As estruturas foram modeladas com um software de modelagem, Blender 3D (mantido pela Blender Foundation), um sistema integrado de ferramentas, multi-plataforma, licença GPL, capaz de modelar e animar objetos com qualidade considerável, além de permitir exportar e importar objetos em diferentes formatos. A escala utilizada no desenvolvimento do modelo tridimensional está em metros, em que cada unidade de medida no *Blender 3D* é equivalente a 1 metro. (1 BU = 1,00 m). Os valores utilizados neste projeto estão em milímetros e centímetros, portanto conversões de metros para milímetros foram realizadas em cada BU, permitindo a correta representação das estruturas microscópicas.

Resultados

Foi desenvolvido um modelo tridimensional das estruturas cardíacas evidenciando o pericárdio, miocárdio e endocárdio. A Figura 4 permite visualizar o modelo do pericárdio com textura e a presença de todas as estruturas que o

Tabela 3. Medidas aproximadas, em milímetros, das espessuras dos tecidos cardíacos nas diferentes regiões nos ventrículos direito e esquerdo.

Tecidos	Base		Intermediária		Superior	
	V.D	V.E	V.D	V.E	V.D	V.E
Pericárdio	1,44	3,18	1,15	3,47	0,57	2,31
Miocárdio	3,18	7,01	2,55	7,65	1,27	5,10
Endocárdio	0,36	0,79	0,28	0,88	0,14	0,57
Total	4,98	10,98	3,98	11,98	1,98	7,98

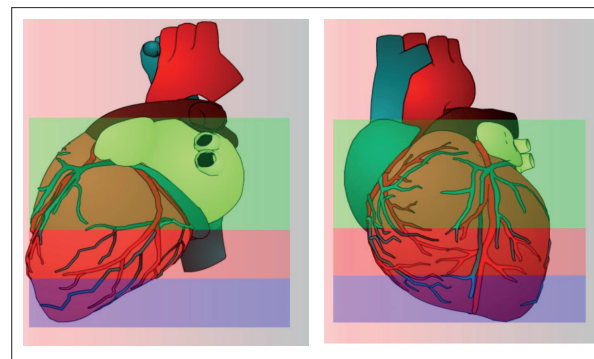


Figura 1. Imagens utilizadas para modelar o lado esquerdo e região frontal do coração, com as segmentações sugeridas.

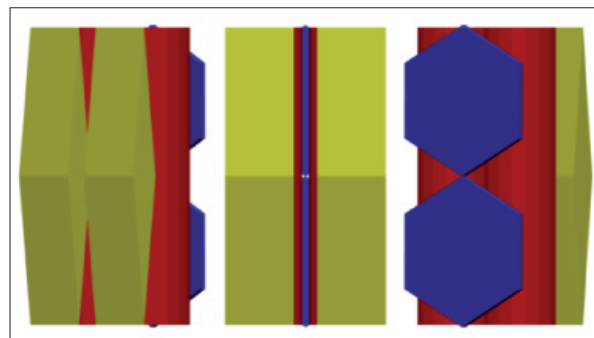


Figura 2. Exemplo das túnicas, visualizadas em diferentes projeções, que constituem cada tecido. A cor amarela identifica a fibra que compõe o pericárdio, a cor vermelha o cardiomiócito, componente do tecido do miocárdio e a cor azul o epitélio pavimentoso simples, que constitui o endocárdio.

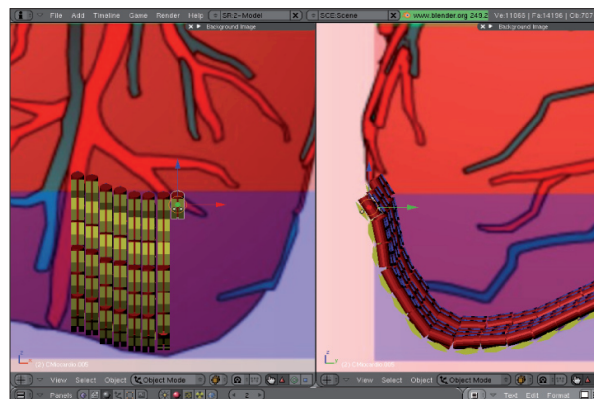


Figura 3. Visualização do resultado do processo de replicação do segmento da base do ventrículo esquerdo.

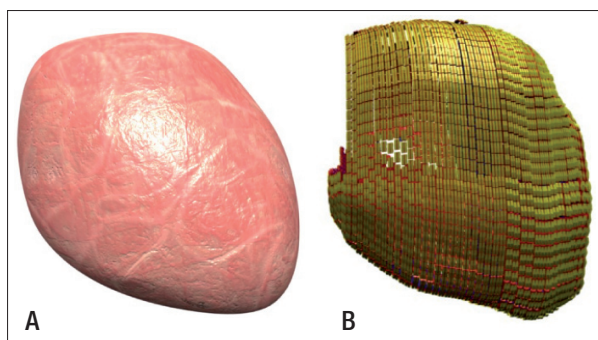


Figura 4. Estruturas Cardíacas Modeladas. O modelo com a presença de textura pode ser visto em (a) e o Pericárdio em (b), evidenciando as fibras musculares, identificadas na cor amarela.

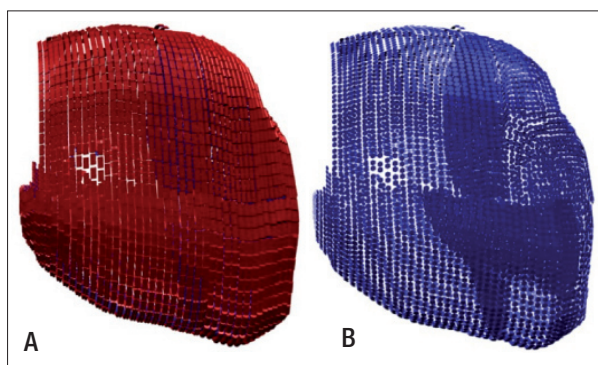


Figura 5. Estruturas Cardíacas Modeladas, evidenciando o Miocárdio em (a), constituído por cardiomiócitos, que foi representado por pequenos cilindros. O Endocárdio é visualizado em (b), constituído por tecido epitelial pavimentoso simples, que foi representado com hexágonos tridimensionais.

Tabela 4. Dimensões, em centímetros, obtidas com as estruturas cardíacas modeladas.

	Pericárdio	Miocárdio	Endocárdio
Largura	6,02	5,92	5,78
Altura	7,38	7,26	7,01
Profundidade	6,56	6,45	6,35

constituem. A Figura 5 permite evidenciar os tecidos mais internos, com as respectivas constituições. As dimensões obtidas com o modelo proposto estão na Tabela 4, que são compatíveis com valores reais e inicialmente utilizados como referência^{7,8}.

Discussão e Conclusões

Representamos cada túnica cardíaca com alturas entre 7,01 e 7,38 cm, larguras entre 5,78 e 6,02 cm e profundidades entre 6,35 e 6,59 cm, dados estes obtidos com o modelo proposto. Em nosso modelo ainda não consideramos representações das veias e artérias, o que resultou em uma estrutura com dimensões totais (altura, largura e profundidade) menores das existentes em um sistema

real. No entanto, as estruturas citadas não foram objetos de estudo nesta fase, devendo ser incluídas em uma próxima versão do modelo. Portanto, considerando dimensões reais^{7,8}, em que os vasos não estão presentes, podemos afirmar que os valores obtidos são apropriados para estruturas sadias. É importante considerar que também validamos qualitativamente as estruturas modeladas, com três especialistas, que sugeriram aprimoramentos tanto nas estruturas dos átrios direito e esquerdo, como na região interna do coração, pois estas regiões estão mais dilatadas do realmente são. Estas inconformidades podem limitar as simulações de processos funcionais, principalmente para representar doenças. Apesar dessas constatações, os especialistas consideraram que as representações de cada túnica, bem como suas organizações foram realizadas com êxito.

O modelo proposto tem potencial para gerar imagens suficientes para processamento e controle de qualidade de sistemas radiológicos. A principal vantagem fornecida, em comparação com outros modelos disponíveis na literatura^{1,6,9}, é a representação de detalhes das estruturas e controle de parâmetros, o que também não ocorre com os modelos sintéticos, construídos com alumínio, lucite, resinas e outros materiais não representativos das estruturas humanas. O modelo será aprimorado com princípios que quantificam a distribuição de fluido e com as sugestões dos especialistas, tornando-se ainda mais representativo para ser utilizado em SAD, bem como para verificar a influência dos parâmetros radiológicos na eficiência dos sistemas de aquisição das imagens radiográficas. Com isto, o radiologista poderá avaliar a qualidade dos seus equipamentos em função não somente dos parâmetros do sistema radiológico, mas também das estruturas sadias ou doentes que ele pretende visualizar.

Referências

1. Son I-Y, Winslow M, Yazici B, Xu XG. X-ray imaging optimization using virtual phantoms and computerized observer modeling. *Phys Med Biol.* 2006;51:4289-310.
2. Hunter PJ, Nielsen PMF. A Strategy for Integrative Computational Physiology. *Physiology.* 2005;20:316-25.
3. Tawhai MH, Burrowes KS, Hoffman EA. Computational models of structure-function relationships in the pulmonary circulation and their validation. *Exp Physiol.* 2006;91(2):285-93.
4. Burrowes KS, Hunter PJ, Tawhai MH. Anatomically based finite element models of the human pulmonary arterial and venous trees including supernumerary vessels. *J Appl Physiol.* 2005;99:731-8.
5. Tawhai MH, Burrowes KS. Modeling pulmonary blood flow. *Respiratory Physiology & Neurobiology.* 2008;163(1-3):150-7.
6. Monteiro BS, Valdek COM, Cunha ILL, Moraes RM, Machado LS. *Anatomia 3D: um atlas digital baseado em realidade virtual para Ensino de Medicina;* 2006.
7. Valleix FLI. *Guide du Médecin Praticien.* Paris: Baillière; 1860.
8. Cohen A. *Coeur et médecine interne.* Estem. 2002;1:579.
9. Pizer SM, Fletcher PT, Thall A, Styner M, Gerig G, Joshi S. Object Models in Multiscale Intrinsic Coordinates via M-reps. *IVC Spec Issue Gen Model-based Vision.* 2003;21:5-15.