

Uso da Impressora 3D na Prototipagem de um Modelo Anatômico do Coração Humano com Alterações Morfofisiológicas

Use of a 3D Printer in the Prototyping of an Anatomical Model of the Human Heart with Morphophysiological Alterations

Kaio Gomes de Freitas,¹ Ana Laura Barros Lana,¹ Vinícius Lana Ferreira,¹  Melissa Araújo Ulhôa Quintão¹ 

Afya Faculdade de Ciências Médicas de Ipatinga,¹ Ipatinga, MG – Brasil

Resumo

Contexto: A impressão tridimensional (3D) possui uma ampla gama de aplicações, incluindo medicina e educação médica. Apresenta-se como uma alternativa aos métodos tradicionais de ensino-aprendizagem de morfofisiologia humana.

Objetivos: Relatar a experiência inicial na prototipagem de um modelo anatômico do coração humano com valvopatias, confeccionado por impressão digital 3D, e sua potencial utilização no processo ensino-aprendizagem ativo na área de morfofisiologia humana.

Métodos: Trata-se de um estudo descritivo experimental desenvolvido em três etapas distintas: 1) seleção da estrutura morfofuncional para a confecção da peça 3D; (2) desenho e adaptação do objeto em softwares de projeto auxiliado por computador (CAD) 3D; e 3) impressão e aplicação do protótipo. Utilizaram-se modelos que simulam estruturas cardíacas obtidos do website *Thingiverse*.

Resultados: Foi impresso um protótipo cardíaco no qual as válvulas aórtica e mitral foram modeladas para representar as alterações morfofisiológicas estenose aórtica e insuficiência mitral, respectivamente.

Conclusões: As valvopatias representadas satisfazem as alterações patológicas utilizadas como base para o estudo, oferecendo uma visão detalhada e precisa da anatomia, o que demonstra um grande potencial no ensino-aprendizagem de morfofisiologia e patologia médica.

Palavras-chave: Impressão tridimensional; Protótipo de Prova de Conceito; Educação médica; Anatomia.

Abstract

Background: Three-dimensional (3D) printing has a wide range of applications, including medicine and medical education. It presents itself as an alternative to traditional teaching-learning methods of human morphophysiology.

Objectives: To report the initial experience in prototyping a 3D-printed anatomical model of the human heart with valvular heart disease, as well as its potential use in the active teaching-learning process in human morphophysiology.

Methods: This is an experimental, descriptive study developed in three distinct stages: 1) Selection of the morphofunctional structure for manufacturing the 3D part; 2) design and adaptation of the object in 3D computer-aided design (CAD) software; and 3) printing and application of the prototype. Models extracted from the *Thingiverse* website, simulating cardiac structures, were used.

Results: A cardiac prototype was 3D-printed to illustrate morphophysiological changes, including aortic stenosis and mitral insufficiency, modeled on the aortic and mitral valves, respectively.

Conclusion: The valve diseases represented in the prototype accurately reflect the pathological changes used as the basis for the study, providing a detailed and precise view of the anatomy, which shows significant potential for enhancing the teaching-learning approaches in morphophysiology and medical pathology.

Keywords: Three-Dimensional Printing; Proof of Concept Study; Medical Education; Anatomy.

Full texts in English - <https://www.abcmaging.org/>

Correspondência: Kaio Gomes Freitas •

Afya Ipatinga – Rua João Patrício de Araújo, 179. CEP: 35164-251. Ipatinga, MG – Brasil

E-mail: kaiofreitas131@hotmail.com

Artigo recebido em 22/02/2024; revisado em 27/03/2024; aceito em 09/04/2024.

Editor responsável pela revisão: Marcelo Dantas Tavares de Melo

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcmimg.20240012>

Introdução

A impressão tridimensional (3D), também conhecida como manufatura aditiva, está inserida no conceito de prototipagem rápida e pode ser definida como a fabricação de objetos por meio da deposição de materiais em camadas até a formação do objeto 3D. O termo “prototipagem rápida” designa um conjunto de tecnologias utilizadas para fabricar objetos físicos a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliados por computador (CAD).^{1,2}

A impressão 3D tem uma ampla gama de aplicações, incluindo aplicações em ciência espacial, tecnologia, medicina e educação médica.² Na educação médica, tem demonstrado viabilidade no processo de ensino-aprendizagem na área de anatomia humana, estendendo seu uso entre os campos de estudo dos casos clínicos, planejamento e técnicas cirúrgicas, por meio da criação de protótipos com grande acurácia de similaridade anatômica.^{3,4}

Neste sentido, a impressão de peças anatômicas em 3D, apesar de ser um recurso novo de ensino, parece ser uma alternativa aos métodos tradicionais de ensino-aprendizagem de morfofisiologia humana (manuseio e dissecação de cadáveres e utilização de imagens bidimensionais em livros didáticos e em telas de projeção), uma vez que oferecem uma visão detalhada e precisa da anatomia e são relativamente baratas e reproduzíveis, proporcionando ao estudante a noção fiel de detalhes mais complexos.⁴⁻⁷

As metodologias de ensino-aprendizagem ativas, progressivamente, têm sido adotadas pelos cursos de medicina, atualizando assim os métodos de ensino-aprendizagem tradicionais. Levando isso em consideração, o objetivo deste manuscrito foi analisar a viabilidade do processo de prototipagem de um coração humano anatômico com valvopatias confeccionado por impressão digital 3D e sua potencial utilização no processo ensino-aprendizagem ativo na área de morfofisiologia humana.

Metodologia

Trata-se de um estudo descritivo experimental cujo objetivo é relatar a experiência inicial na prototipagem de um modelo anatômico do coração humano com duas alterações morfofisiológicas, utilizando uma impressora 3D, com a finalidade de ser utilizado no estudo da morfofisiologia cardíaca. O projeto foi desenvolvido em três etapas distintas: 1) Seleção da estrutura morfofuncional para a confecção da peça 3D; 2) Desenho e adaptação do objeto em softwares de CAD 3D; e 3) Impressão e aplicação do protótipo. Utilizaram-se modelos que simulam estruturas cardíacas obtidos do website *Thingiverse*.

As patologias cardíacas selecionadas para adaptação do protótipo foram a estenose aórtica e insuficiência mitral, visto que são valvopatias prevalentes no Brasil⁸ e não havia modelos tridimensionais disponíveis na instituição e no mercado brasileiro para compra que representassem as alterações morfofisiológicas relatadas.

Para a elaboração deste modelo educacional, os autores realizaram uma pesquisa de arquivos compatíveis com impressão 3D que retratassem um coração humano anatômico

sem alterações morfofisiológicas. O website de código aberto *Thingiverse* foi utilizado como plataforma para a busca e seleção de modelos anatômicos disponíveis. Posteriormente, foi realizada uma revisão da literatura sobre as patologias citadas em imagens de livros didáticos da área, apostilas de ensino médico e artigos científicos, para a edição da valva aórtica e valva mitral.

Os softwares *SolidWorks* e *MeshMixer* foram utilizados para modelar e adaptar a valva aórtica e a valva mitral, visando representar as patologias estenose aórtica e insuficiência mitral, respectivamente. Os softwares *Simplefly 3D* e *Cura 3D Ultimaker* foram utilizados para configurar o desenho para impressão. A confecção do protótipo foi realizada utilizando a impressora 3D da marca Creality, modelo Ender-3 e o Filamento Ácido Polilático (PLA) branco de 1,75mm.

Os arquivos do *Thingiverse* estão disponíveis para download gratuito no endereço eletrônico: <https://www.thingiverse.com/thing:3861544>.

Resultados

Foi impresso um protótipo cardíaco no qual as válvulas aórtica e mitral foram modeladas para representar as alterações morfofisiológicas estenose aórtica e insuficiência mitral, respectivamente. O protótipo de coração humano anatômico selecionado no *Thingiverse*, consistiu em seis arquivos que representam as seguintes estruturas anatômicas: átrios esquerdo e direito, ventrículos cardíacos, valvas cardíacas (aórtica, mitral, tricúspide e pulmonar), músculos papilares, artérias e veias cardíacas. Apenas a valva aórtica e a valva mitral foram modeladas utilizando os softwares *SolidWorks* e *MeshMixer*, com a finalidade de demonstrar as alterações patológicas. As estruturas foram impressas separadamente e unidas após a finalização do processo de impressão, visando representar o início da contração isovolumétrica no ciclo cardíaco, no qual todas as valvas deveriam estar fechadas.

Na Figura 1 é demonstrado o processo de criação do modelo da valva aórtica.

A Figura 2 representa as etapas de construção do exemplar da insuficiência mitral.

Durante o processo de configuração e impressão, para fins didáticos, a proporção do modelo selecionado foi ampliada em 30%. Entretanto, as valvas cardíacas, após a impressão, não se encaixaram no protótipo, sendo necessário reduzir sua proporção em 10% e imprimir-las novamente. Por fim, os objetos foram lixados e pintados com tinta para artesanato PVA (acetato de polivinila). O protótipo final demandou 608 gramas do filamento PLA e 113 horas e 42 minutos de impressão.

O protótipo final (Figura 3), bem como as alterações morfofisiológicas, apresentaram correlação anatômica com as imagens de fotorrealismo bidimensionais e fotografias de peças patológicas encontradas na literatura médica. Estes foram apresentados durante um workshop de impressão 3D a acadêmicos do curso de medicina, corpo docente e funcionários da instituição. Os participantes reconheceram que a possibilidade de interagir com o modelo impresso em 3D ajudou a entender melhor as estruturas anatômicas, sua

Artigo Original

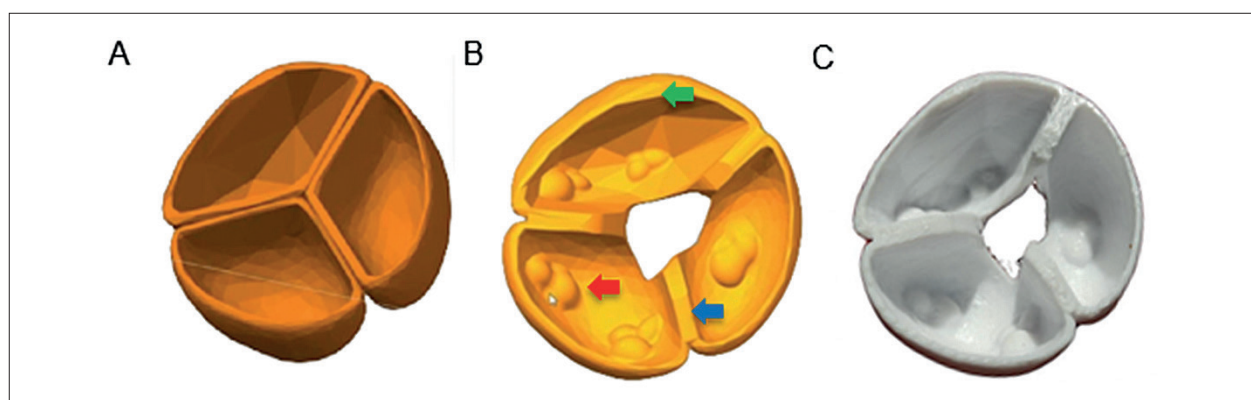


Figura 1 – Modelo representativo da Estenose da Valva Aórtica. A: Modelo anatômico selecionado no Thingiverse; B: ajustes para retratar a estenose aórtica, neste modelo calcificações nodulares foram acrescentadas (seta vermelha), as cúspides foram espessadas e distorcidas (seta verde) e as comissuras fundidas (seta azul); C: produto final após impressão.

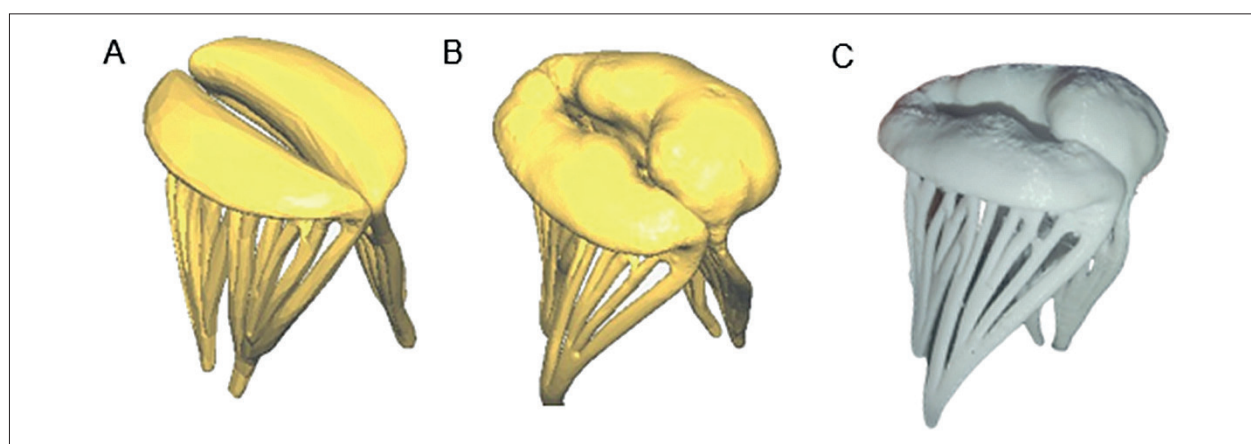


Figura 2 – Modelo representativo da Insuficiência da Valva Mitral. A: Modelo anatômico selecionado no Thingiverse; B: ajustes para representar o comprometimento dos folhetos da valva mitral, neste modelo os folhetos foram espessados e deslocados, não permitindo que se fechem em consonância; C: produto final após impressão.

localização no espaço 3D e a topografia anatômica, facilitando a identificação das variações morfofisiológicas presentes.

Discussão

A impressão 3D permite a confecção de objetos personalizados, de maneira rápida, com precisão em relação à peça real e baixo custo, podendo ser utilizada na educação médica por meio da impressão de uma réplica para melhor visualização e compreensão da anatomia humana.⁹ Apresenta-se como uma alternativa aos métodos tradicionais de ensino-aprendizagem.

O protótipo final elaborado neste estudo permitiu a visualização de detalhes anatômicos complexos e custo financeiro declarado inferior aos modelos em resina plástica encontrados no mercado. Vale ressaltar que os modelos em resina plástica não possibilitam personalizações em sua morfologia. Ademais, destaca-se como vantagem a baixa depreciação e descaracterização de sua morfofisiologia

anatômica com o passar do tempo, o que é um fator limitante na utilização de peças orgânicas.

Resultados semelhantes foram encontrados na impressão de um protótipo cardíaco com patologias congênitas, demonstrando que há benefício ao profissional médico para ampliar o conhecimento sobre a cardiopatia por meio da observação da anatomia sob diferentes ângulos.¹⁰ Em outro estudo, observaram-se vantagens no aprendizado ao criar uma sequência de modelos para ilustrar o desenvolvimento embrionário cardíaco, uma vez que as peças impressas em 3D, além de possuírem baixo custo, auxiliam na compreensão da perspectiva e profundidade do modelo, o que não é possível em livros didáticos ou imagens.¹¹

Pesquisas com acadêmicos de medicina demonstraram que a utilização de estruturas tridimensionais durante o estudo reduziu interpretações errôneas de estruturas patológicas, quando comparadas à utilização de imagens bidimensionais. Além disso, houve melhoria significativa na conceituação estrutural e anatômica.¹² Nesse sentido, a utilização de

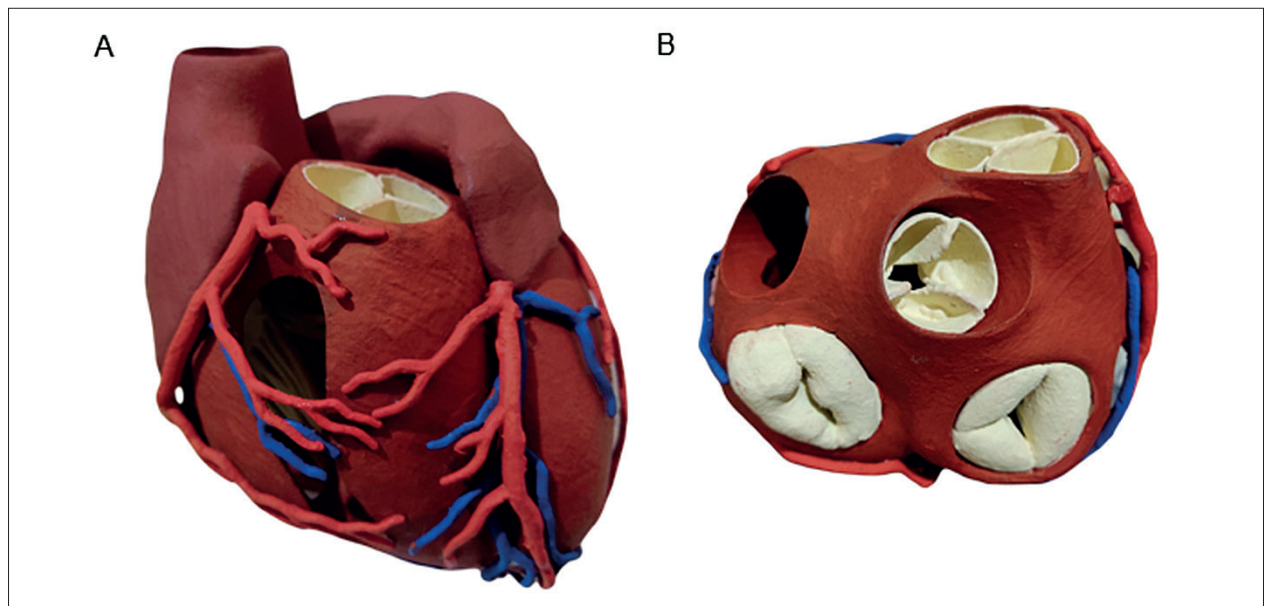


Figura 3 – Coração humano anatômico confeccionado por impressão 3D. A: Vista anterior do protótipo após impressão; B: válvulas cardíacas.

modelos cardíacos impressos em 3D facilita a compreensão de estruturas complexas, aumentando o engajamento e a confiança do aprendiz em relação à patologia estudada.

Conclusão

As valvopatias representadas no protótipo satisfazem as alterações patológicas utilizadas como base para o estudo, oferecendo uma visão detalhada e precisa da anatomia. Destaca-se também que a utilização de cores auxilia na identificação de diferentes tipos de estruturas, o que contribui para o aprendizado significativo do assunto. Assim, a utilização de estruturas impressas em 3D possui um grande potencial no ensino-aprendizagem de morfofisiologia e patologia médica, com custo relativamente baixo se comparados aos modelos anatômicos confeccionados em resina plástica.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, obtenção de dados, análise e interpretação dos dados, redação do manuscrito e

revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Freitas KG, Lana ALB, Ferreira VL, Quintão MAU; análise estatística: Ferreira VL.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

Referências

1. Barreto TF. Uso de Peças Anatômicas em 3d como Estratégia para o Ensino da Anatomia em Curso Médico [dissertation]. Salvador: Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública; 2018.
2. Ye Z, Dun A, Jiang H, Nie C, Zhao S, Wang T, et al. The Role of 3D Printed Models in the Teaching of Human Anatomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Med Educ.* 2020;20(1):335. doi: 10.1186/s12909-020-02242-x.
3. Banerjee A, Galassi F, Zaur E, De Maria GL, Choudhury RP, Grau V. Point-Cloud Method for Automated 3D Coronary Tree Reconstruction from Multiple Non-Simultaneous Angiographic Projections. *IEEE Trans Med Imaging.* 2020;39(4):1278-90. doi: 10.1109/TMI.2019.2944092.
4. Louredo LM, Duarte MMS, Araújo MCE, Louredo JM, Arruda JT. Use of Rapid Prototyping or Additive Manufacturing for Clinical Case Studies and Surgical Technique Planning Using 3D Models. *Res Soc Dev.* 2021;10(12):e336101220403. doi: 10.33448/rsd-v10i12.20403.
5. Cui D, Wilson TD, Rockhold RW, Lehman MN, Lynch JC. Evaluation of the Effectiveness of 3D Vascular Stereoscopic Models in Anatomy Instruction for First Year Medical Students. *Anat Sci Educ.* 2017;10(1):34-45. doi: 10.1002/ase.1626.
6. Moraes SG, Muniz AL. Utilização de Modelos 3D como Recurso Didático no Ensino de Embriologia do Sistema Nervoso Central. Sorocaba: Faculdade de Medicina de Sorocaba; 2018.

7. Soares J Neto, Barbosa MLL, Matos HL, Xavier AR, Cerqueira GS, Souza EP. A Study on 3D Technology Applied to Teaching Anatomy: An Integrative Review. *Research, Society and Development*. 2020;9(11):e7489119301. doi: 10.33448/rsd-v9i11.9301.
8. Tarasoutchi F, Montera MW, Ramos AIO, Sampaio RO, Rosa VEE, Accorsi TAD, et al. Update of the Brazilian Guidelines for Valvular Heart Disease - 2020. *Arq Bras Cardiol*. 2020;115(4):720-75. doi: 10.36660/abc.20201047.
9. Matozinhos IP, Madureira AAC, Silva GF, Madeira GCC, Oliveira IFA, Corrêa CR. Impressão 3D: Inovações no Campo da Medicina. *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas*. 2017;1(1):143-62.
10. Basso ML, Gebran AM, Oliveira JD, Gebran KM, Bonatto LC, Farah MCK. Three-Dimensional-Printed Heart Prototype for Application in Pediatric Cardiology: An Initial Experiment. *Arq Bras Cardiol*. 2021;116(3):507-9. doi: 10.36660/abc.20200086.
11. Yahiro DS, Abrantes JCDS, Magliano DC, Mesquita CT. Creation of Cardiac Embryological Models for 3D Printing to Teach Anatomy and Embryology. *Arq Bras Cardiol*. 2023;120(4):e20220632. doi: 10.36660/abc.20220632.
12. Costello JP, Olivieri LJ, Krieger A, Thabit O, Marshall MB, Yoo SJ, et al. Utilizing Three-Dimensional Printing Technology to Assess the Feasibility of High-Fidelity Synthetic Ventricular Septal Defect Models for Simulation in Medical Education. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2014;5(3):421-6. doi: 10.1177/2150135114528721.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons