

Inovação do tratamento da estenose aórtica utilizando a impressão 3D

Innovation in the treatment of aortic stenosis using 3D printing

Innovación en el tratamiento de la estenosis aórtica mediante impresión 3D

Recebido: 17/09/2022 | Revisado: 13/10/2022 | Aceitado: 17/10/2022 | Publicado: 21/10/2022

Guilherme Henrique Iaccino Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6878-4177>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: guilhermeehib@gmail.com

Igor Mundim Zendron

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4179-0929>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: igorzendron@gmail.com

Matheus Hernandes Vieira Vaz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-0214>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: matheus_hernandes_1234@hotmail.com

Rafaela Melo Macedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8005-5236>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: melorafamed@gmail.com

Thaís Ribeiro Garcia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5658-4151>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: thaisrgarcia13@hotmail.com

Larissa Schults Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3788-3014>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: larissaschultsteixeira@gmail.com

Deborah Gerrane Damásio Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-5437>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: deborahgdn.med@gmail.com

Laize Evelyn Magalhães de Brito Alvares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7464-463X>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: laizembrito@gmail.com

Caroline Almeida Resplande

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3024-1513>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: carolineresplande@outlook.com

Anna Laura Silva Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1398-7812>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: annalauradeoliveira@hotmail.com

Guilherme Martins Tolini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5252-6053>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: guilherme.tolini1@gmail.com

Jalsi Tacon Arruda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7091-4850>
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil
E-mail: jalsitacon@gmail.com

Resumo

O uso de peças 3D avança num sentido mais amplo da educação, em direção a interdisciplinaridade. Diversas áreas já utilizam essa tecnologia para ensinar a comunidade acadêmica, até pesquisas mais complexas como a impressão de órgãos, e aplicações do design em próteses. A tecnologia atual permite a impressão precisa da anatomia cardíaca em materiais que se assemelham as propriedades reais do coração e dos vasos, permitindo explorar opções, desafios e possibilidades da impressão 3D no campo das valvulopatias, a fim de dar uma visão sobre o estado atual da arte e o desenvolvimento nesta área especificamente. Dessa forma, o presente estudo descreve as potencialidades no processo ensino-aprendizado, no que tange a estenose aórtica, utilizando as metodologias Hands-on e os modelos produzidos numa impressora 3D. Foi realizada uma revisão integrativa da literatura utilizando os termos MeSH: “3d printing” e

“aortic stenosis”. O advento da tecnologia de impressão 3D é capaz de criar modelos físicos anatomicamente precisos e específicos para o paciente, convertendo imagens 3D virtuais na tela plana do computador em modelos 3D palpáveis adequados para simulação intervencionista, permitindo uma redução no tempo cirúrgico. O uso dos modelos impresso em 3D pode facilitar o desenvolvimento de novos dispositivos e novas técnicas cirúrgicas. Todavia, as limitações desse modelo esbarram ainda no alto custo, na qualidade de imagem do exame e no tempo para impressão.

Palavras-chave: Anatomia; Cardiologia; Cirurgia; Ensino médico.

Abstract

The use of 3D pieces advances in a broader sense of education, towards interdisciplinarity. Several areas already use this technology to teach the academic community, even more complex research such as organ printing, and applications of design in prostheses. Current technology allows for the accurate printing of cardiac anatomy on materials that resemble the real properties of the heart and vessels, allowing the exploration of options, challenges, and possibilities of 3D printing in the field of valvular heart disease, to provide an insight into the current state of the art and development in this area specifically. Thus, the present study describes the potential in the teaching-learning process, regarding aortic stenosis, using Hands-on methodologies and models produced in a 3D printer. An integrative literature review was performed using the MeSH terms: “3d printing” and “aortic stenosis”. The advent of 3D printing technology can create anatomically accurate and patient-specific physical models, converting virtual 3D images on the computer's flat screen into palpable 3D models suitable for interventional simulation, allowing for a reduction in surgical time. The use of 3D printed models can facilitate the development of new devices and new surgical techniques. However, the limitations of this model still come up against the high cost, the image quality of the exam and the time for printing.

Keywords: Anatomy; Cardiology; Surgery; Medical education.

Resumen

El uso de piezas 3D avanza en un sentido más amplio de la educación, hacia la interdisciplinaria. Varias áreas ya utilizan esta tecnología para enseñar a la comunidad académica, incluso investigaciones más complejas como la impresión de órganos y aplicaciones de diseño en prótesis. La tecnología actual permite la impresión precisa de la anatomía cardíaca en materiales que se asemejan a las propiedades reales del corazón y los vasos, lo que permite la exploración de opciones, desafíos y posibilidades de la impresión 3D en el campo de la enfermedad cardíaca valvular, con el fin de proporcionar una idea del estado actual del arte y el desarrollo en esta área específicamente. Así, el presente estudio describe el potencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en relación con la estenosis aórtica, utilizando metodologías Hands-on y modelos producidos en impresora 3D. Se realizó una revisión integrativa de la literatura utilizando los términos MeSH: “impresión 3d” y “estenosis aórtica”. El advenimiento de la tecnología de impresión 3D es capaz de crear modelos físicos anatómicamente precisos y específicos del paciente, convirtiendo imágenes 3D virtuales en la pantalla plana de la computadora en modelos 3D palpables adecuados para la simulación intervencionista, lo que permite una reducción del tiempo quirúrgico. El uso de modelos impresos en 3D puede facilitar el desarrollo de nuevos dispositivos y nuevas técnicas quirúrgicas. Sin embargo, las limitaciones de este modelo siguen chocando con el alto costo, la calidad de imagen del examen y el tiempo de impresión.

Palabras clave: Anatomía; Cardiología; Cirugía; Educación médica.

1. Introdução

A produção de biomodelos a partir de impressão 3D, pode, além de replicar as peças já existentes no laboratório de anatomia, produzir outras peças baseadas em casos clínicos registrados a partir de exames de imagem (Utiyama et al., 2014). Esse recurso viabiliza a produção de um extenso banco de dados que pode ser disponibilizado também no formato *online* (Araujo et al., 2021). Nesse sentido, entende-se que essa tecnologia pode ser incorporada as práticas comumente utilizadas como um complemento para fortalecer a relação ensino-aprendizagem com novas metodologias ativas, na medida em que os alunos terão acesso a um banco de dados extenso e replicável e conseguirão absorver o conhecimento a partir desses modelos práticos com detalhes (Duarte et al., 2021).

Outro ponto importante é que essa abordagem utilizando peças 3D avança num sentido mais amplo da educação, a interdisciplinaridade (Garcia et al., 2022). Estudantes e profissionais de diversas áreas já utilizam essa tecnologia para ensinar a comunidade acadêmica e a sociedade em geral, desde pesquisas mais complexas, como a impressão de órgãos, a aplicações do design como próteses. Uma pesquisa realizou a impressão de um coração, em menor escala, que corresponde as propriedades imunológicas, celulares, bioquímicas e anatômicas do paciente (Noor et al., 2019). Os pesquisadores promoveram a desdiferenciação de células do omento e sua indução a uma diferenciação especializada para produzir uma “biotinta”

utilizada como base para essa impressão.

Atualmente já está disponível no mercado impressões 3D para uso em reconstrução e estudos de planejamento cirúrgicos (Levin et al., 2020). A impressão de alta performance já é utilizada para planejamento cirúrgicos, simulação de faces para estudos de práticas dermatológicas e projeções em realidade aumentada aplicadas ao estudo especializado de estruturas de tecidos (Hussein et al., 2021). Além disso, com aplicações em doenças cardíacas congênitas, doenças das artérias coronárias e em doenças estruturais cirúrgicas e baseadas em cateter – a impressão 3D é uma nova ferramenta que desafia a maneira como o cirurgião imagina, planeja e executa intervenções cardiovasculares (Vukicevic et al., 2017).

A tecnologia atual permite uma impressão precisa da anatomia cardíaca em materiais que se assemelham as propriedades reais do coração e dos vasos, permitindo explorar as opções, desafios e possibilidades da impressão 3D no campo das valvulopatias, a fim de dar uma visão sobre o estado da arte atual e o desenvolvimento nesta área específica (Tuncay & van Ooijen, 2019). Esse cenário pode fornecer para o médico um melhor conhecimento da anatomia e permitir o treinamento pré-operatório, além de fornecer para o paciente mais informações sobre a doença e as opções de tratamento (Sousa et al., 2021). Para o fabricante, permite testes pré-clínicos mais fáceis de novos dispositivos ou instrumentos (Moro et al., 2022). E, finalmente, para os educadores, pode fornecer uma grande variedade de exemplos anatômicos e patológicos que normalmente não estariam disponíveis (Lau & Sun, 2018; Louredo et al., 2021). Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo descrever as potencialidades no processo ensino-aprendizado, no que tange a estenose aórtica, utilizando as metodologias *Hands-on* e os modelos produzidos numa impressora 3D.

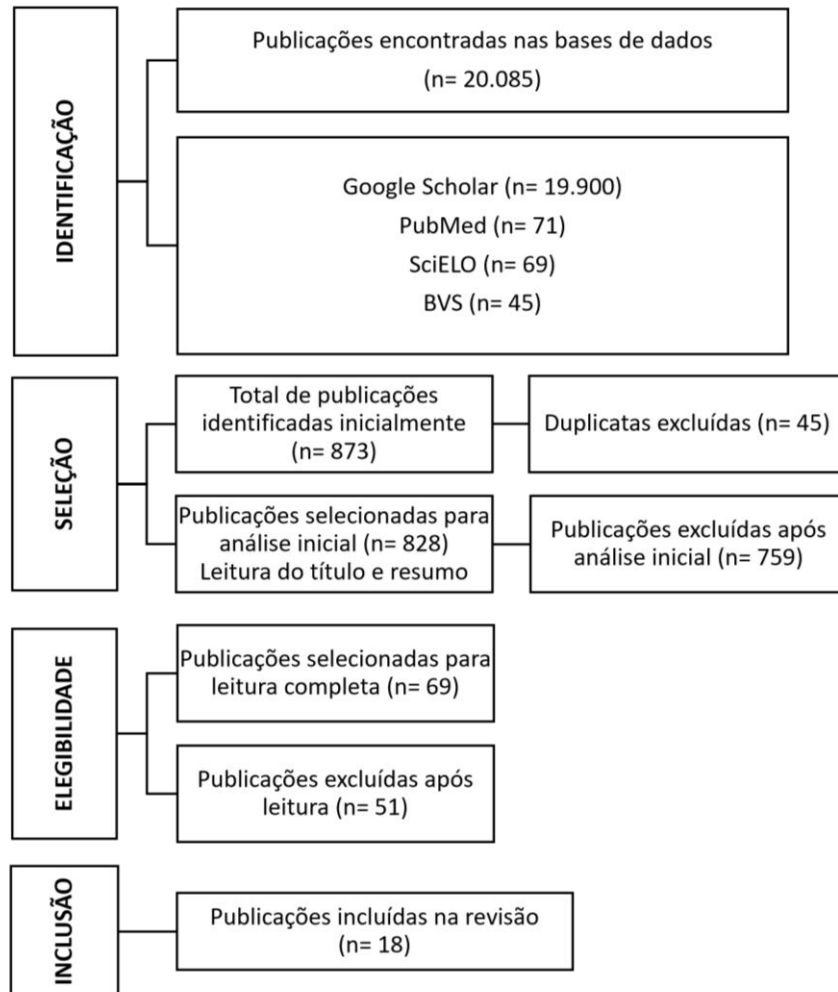
2. Metodologia

O presente estudo trata-se de uma revisão integrativa de literatura, que permite a síntese de estudos possibilitando conclusões a respeito de uma área específica, de acordo com Koche (2011). É uma pesquisa de caráter descritivo, na qual foram seguidas as etapas: identificação do tema; seleção da questão de pesquisa, coleta de dados através de buscas nas bases de dados eletrônicas, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão para selecionar a amostra a ser analisada, avaliação dos estudos incluídos na revisão, interpretação dos resultados e apresentação dos dados evidenciados numa conclusão. Para atingir o objetivo de descrever as potencialidades no processo ensino-aprendizado, no que tange a estenose aórtica, utilizando as metodologias *Hands-on* e os modelos produzidos numa impressora 3D, uma questão norteadora dessa pesquisa foi desenvolvida: “Como a impressão 3D pode auxiliar no entendimento teórico da estenose aórtica e na prática clínica do tratamento?” Para responder a tal questionamento termos MeSH foram estabelecidos para a busca de estudos sobre essa temática: “*3d printing*” e “*aortic stenosis*”, com auxílio do operador Booleano (AND/OR), utilizados em inglês e seus correspondentes em português. A combinação entre os termos utilizados foi a seguinte: (“printing, three dimensional”[MeSH Terms] OR (“printing”[All Fields] AND “three dimensional”[All Fields]) OR “three-dimensional printing”[All Fields] OR (“3d”[All Fields] AND “printing”[All Fields]) OR “3d printing”[All Fields]) AND (“aortic valve stenosis”[MeSH Terms] OR (“aortic”[All Fields] AND “valve”[All Fields] AND “stenosis”[All Fields]) OR “aortic valve stenosis”[All Fields] OR (“aortic”[All Fields] AND “stenosis”[All Fields]) OR “aortic stenosis”[All Fields]).

Para obter resposta a essa questão realizou-se uma busca bibliográfica digital nas bases de dados eletrônicas: *National Library of Medicine and National Institutes of Health* (PubMed), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), e Biblioteca Virtual de Saúde (BVS). Também foi utilizado o Google Acadêmico, com o método de pesquisa avançada. A busca dos estudos primários foi realizada no período de abril a junho de 2022, sem restrição de data da publicação. Os critérios de inclusão dos estudos foram: artigos originais e/ou revisões que atendiam a temática abordada de forma específica, estudos disponibilizados na íntegra; publicados em português ou inglês, sem restrição quanto a data de publicação. Foram incluídos também relatos, comentários, cartas ao leitor, duplicatas e a literatura acadêmica (tese, dissertação, monografias, livros,

protocolos, manuais, entre outros documentos não indexados). Os estudos que não responderam à questão de pesquisa foram excluídos. A investigação e seleção dos artigos foram realizadas por 02 pesquisadores independentes, de forma padronizada. Foram comparados os resultados obtidos e consenso entre os pesquisadores. Em casos de divergência, buscou-se um consenso com os demais pesquisadores envolvidos no estudo. O fluxograma apresentado abaixo descreve o processo de seleção dos artigos (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma das etapas de seleção dos artigos encontrados nas bases de dados.



Fonte: Autores (2022).

Após todos os processos de seleção e análise dos estudos, esta revisão integrativa incluiu 18 artigos conforme a tabela 1. Na apresentação da revisão, os resultados foram descritos e discutidos comentando as informações a partir da literatura correlata ao tema do estudo. Por ser uma Revisão Integrativa da Literatura, essa pesquisa não foi submetida a um Comitê de Ética em Pesquisa por não tratar de abordagem com pessoas, porém foram respeitadas todas as ideias dos autores, conforme preconizado pela lei dos direitos autorais.

Tabela 1. Artigos incluídos nessa revisão integrativa.

AUTORES	OBJETIVO DO ESTUDO	DESEFECHO – CONCLUSÃO
Xenofontos et al., 2022	Avaliar a aplicação da impressão tridimensional (3D) no planejamento pré-operatório da substituição valvar aórtica transcater, como forma de prever e, posteriormente, reduzir a incidência de eventos adversos.	Modelos 3D específicos do paciente podem ser usados no planejamento pré procedimento para casos desafiadores, auxilia no tratamento personalizado. No entanto, a aplicação da impressão 3D não é recomendada para a prática clínica de rotina, devido questões de praticidade.
Hussein et al., 2021	Como a manipulação de softwares e dados de imagem pode ser usada para produzir modelos impressos em 3D que reproduzam, com precisão, a anatomia cirúrgica para treinar cirurgiões.	Há uma possibilidade maior de que essa modalidade seja usada em aplicações de pesquisa, além do atendimento ao paciente e treinamento em cirurgia cardíaca congênita.
Memon et al., 2021	A impressão tridimensional do arco aórtico e da artéria carótida pode auxiliar no planejamento pré-procedimento e no aprendizado adaptativo, reduzindo possivelmente as complicações relacionadas ao procedimento.	Modelos impressos em 3D para <i>Stent</i> de artéria carótida oferece valor agregado em comparação com angiotomografia computadorizada, fornecendo melhor compreensão perceptiva e visual da anatomia 3D.
Sousa et al., 2021	Conhecer os principais anticoagulantes utilizados no pós-operatório da substituição valvar aórtica transcater.	Associar no tratamento do pós-operatório do implante de válvula aórtica transcater, o uso de anticoagulantes e antiplaquetários, como forma de prevenção da formação de trombos na valva aórtica e outras estruturas anatômicas.
Levin et al., 2020	Sintetiza o conhecimento sobre o uso da impressão 3D para substituição valvar aórtica transcater.	Usar a impressão 3D para compreender a substituição valvar aórtica transcater utilizando o rico conjunto de dados que supera, e muito, o das novas intervenções emergentes da válvula transcater nas posições mitral e tricúspide.
Lindman et al., 2020	Elucidar conceitos sobre qual seria o exato momento para substituir a válvula aórtica no paciente com estenose aórtica assintomático.	O acoplamento dessas novas modalidades ecocardiográficas com imagens avançadas e o uso de vários biomarcadores séricos prometem a identificação precoce de pacientes com estenose aórtica, que podem ser tratados efetivamente antes do início de alterações miocárdicas estruturais e funcionais irreversíveis que prejudicariam os resultados a longo prazo.
Thorburn et al., 2020	Avaliar a utilidade da modelagem 3D na previsão de vazamento paravalvar após implante de válvula aórtica transcater.	Modelos 3D replicados têm potencial utilização clínica na previsão do vazamento paravalvar na população após o implante de válvula aórtica transcater. Futuras pesquisas sobre o papel da modelagem 3D no campo do implante de válvula aórtica transcater devem continuar.
Bompotis et al., 2019	Desenvolvimento de impressão 3D com informações preciosas da anatomia cardíaca, para substituição de valva aórtica em paciente idoso com estenose aórtica sintomática grave e alto risco cirúrgico.	O uso de modelos impressos em 3D ainda é limitado, mas espera-se que sejam ampliados em breve.
Corrigan et al., 2019	Planejamento pré-procedimento cuidadoso com imagens multimodais para evitar e prevenir complicações durante a substituição valvar aórtica transcater.	A imagem cardíaca multimodal tornou-se um componente necessário na avaliação e tratamento da doença cardíaca estrutural, garantindo procedimentos seguros e eficazes.
Fan et al., 2019	Definir o conceito, a técnica e o fluxo de trabalho da impressão 3D em cardiopatia estrutural e suas intervenções, destacando os benefícios clínicos relatados e os problemas não resolvidos, além de explorar futuros desenvolvimentos neste campo.	A tecnologia de impressão 3D é capaz de criar modelos físicos anatomicamente precisos e específicos do paciente, convertendo imagens 3D virtuais da tela plana do computador, em modelos 3D palpáveis adequados para simulação intervencionista, planejamento pré-procedimento, tomada de decisão intra procedimento, e avaliação pós-procedimento.
Milano et al., 2019	Descrever os princípios básicos da tecnologia 3D e apresentar suas aplicações atuais e futuras.	Modelos 3D têm sido propostos para casos complexos onde o planejamento cirúrgico é controverso, com benefício subjetivo do uso dos modelos.
Noor et al., 2019	Abordagem simples para imprimir em 3D patches cardíacos espessos, vascularizados e perfundíveis que correspondam as propriedades imunológicas, celulares, bioquímicas e anatômicas do paciente.	O potencial da tecnologia 3D para projetar patches cardíacos vascularizados completamente correspondentes de qualquer indivíduo.
Tuncay & van Ooijen, 2019	Revisar a literatura sobre a aplicação da impressão 3D na doença valvar cardíaca.	Os conjuntos de dados de tomografia computadorizada são usados e os modelos são impressos para planejamento pré-operatório.
Lau & Sun, 2018	Analisar as principais aplicações clínicas e acurácia da impressão 3D em doença cardíaca congênita, bem como fornecer uma visão geral das ferramentas e softwares,	Mostrar a utilidade de modelos impressos em 3D em doenças cardíacas congênitas com aplicações que vão desde a replicação precisa da anatomia e patologia

	tempo e custos associados a geração de modelos cardíacos impressos em 3D.	cardíaca complexa até promover educação médica, planejamento pré-operatório e simulação. O custo adicional e o tempo necessário para fabricar os modelos impressos em 3D representam as limitações que precisam ser abordadas em estudos futuros.
Vukicevic et al., 2017	Discutir os métodos e materiais usados para impressão 3D, os princípios básicos da segmentação de imagens clínicas, incluindo o co-registro de vários conjuntos de dados de imagem para criar um modelo anatômico de interesse, com aplicações em cardiopatias congênitas e doenças das artérias coronárias.	Com aplicações em doenças cardíacas congênitas, doenças das artérias coronárias e em doenças estruturais cirúrgicas e baseadas em cateteres – a impressão 3D é uma nova ferramenta que está desafiando a forma como criar imagens, planejar e realizar intervenções cardiovasculares.
Grimard et al., 2016	Elucidar o diagnóstico e as formas de tratamento da estenose aórtica.	A substituição cirúrgica da valva é o tratamento padrão para pacientes com risco cirúrgico baixo a moderado. A substituição da válvula aórtica transcaterter pode ser considerada em pacientes com risco cirúrgico alto ou proibitivo.
Ripley et al., 2016	Determinar a viabilidade do uso de tomografia computadorizada cardíaca para imprimir modelos individuais do complexo radicular aórtico para o planejamento de substituição valvar aórtica transcaterter, bem como determinar a capacidade de prever a regurgitação aórtica paravalvar.	A impressão 3D pré substituição valvar aórtica transcaterter baseada em tomografia cardíaca fornece um método único específico para o paciente, para avaliar a interação física da raiz da aorta e das válvulas implantadas. Com otimização adicional, os modelos 3D podem complementar as técnicas tradicionais usadas para prever quais pacientes são mais propensos a desenvolver regurgitação aórtica paravalvar.
Utiyama et al., 2014	Apresentar a experiência do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia no desenvolvimento do método de construção e aplicação de biomodelos construídos por impressão 3D a partir de imagens de exames de tomografia computadorizada.	A experiência com o uso dos biomodelos tem mostrado que esta tecnologia pode contribuir significativamente na prática clínica na cardiologia.

Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

A estenose aórtica é a causa mais comum de disfunção valvar no mundo ocidental e tem um impacto significativo na mortalidade e qualidade de vida dos pacientes (Thorburn et al., 2020). Acomete 2% a 5% dos idosos, sendo sua etiologia amplamente explicada por processos congênitos, degenerativos e reumáticos. As vias comuns de fibrose valvar progressiva e calcificação levam a obstrução gradual do orifício e sobrecarga de pressão ventricular esquerda e, eventualmente, sintomas, cujo início anuncia um curso fatal ao longo de 2 a 3 anos se não for corrigido com substituição da valva aórtica (Lindman et al., 2020).

Os sintomas cardinais da estenose aórtica incluem dispneia e outros sintomas de insuficiência cardíaca, angina e síncope. O início dos sintomas identifica estenose clinicamente significativa e a necessidade de intervenção urgente. No entanto, alguns pacientes com estenose aórtica grave, especialmente pacientes mais velhos, podem não desenvolver sintomas clássicos inicialmente e, em vez disso, apresentar apenas uma diminuição na tolerância ao exercício. O achado físico clássico da estenose aórtica é um sopro sistólico áspero, de pico tardio, que é mais alto no segundo espaço intercostal direito e irradia para as artérias carótidas (Grimard et al., 2016).

A substituição da valva aórtica é o único tratamento eficaz para a estenose aórtica sintomática hemodinamicamente grave, e para pacientes assintomáticos com estenose grave acompanhada de disfunção sistólica do ventrículo esquerdo (fração de ejeção menor que 50%) (Grimard et al., 2016). Dentro desse cenário, modelos 3D específicos do próprio paciente podem ser usados para planejar intervenções cirúrgicas e percutâneas, além de permitir que o intervencionista teste diferentes tamanhos de valvas cardíacas transcaterter antes do procedimento real (Milano et al., 2019; Levin et al., 2020). A utilização bem-sucedida no campo da doença cardíaca estrutural permitiu a compreensão de variedades anatômicas complexas para auxiliar na terapêutica clínica (Memon et al., 2021).

Estudos pré-clínicos mostraram que a modelagem computacional e a impressão 3D do anel aórtico podem ser usadas para avaliar com precisão e prever possíveis complicações. Embora esta tecnologia esteja em estágio inicial, pode ser

especialmente útil em pacientes com anatomia complexa (Corrigan et al., 2019). Assim, o modelo 3D fornece informações preciosas para preparar um procedimento seguro, eficaz e tecnicamente mais preciso (Bompotis et al., 2019).

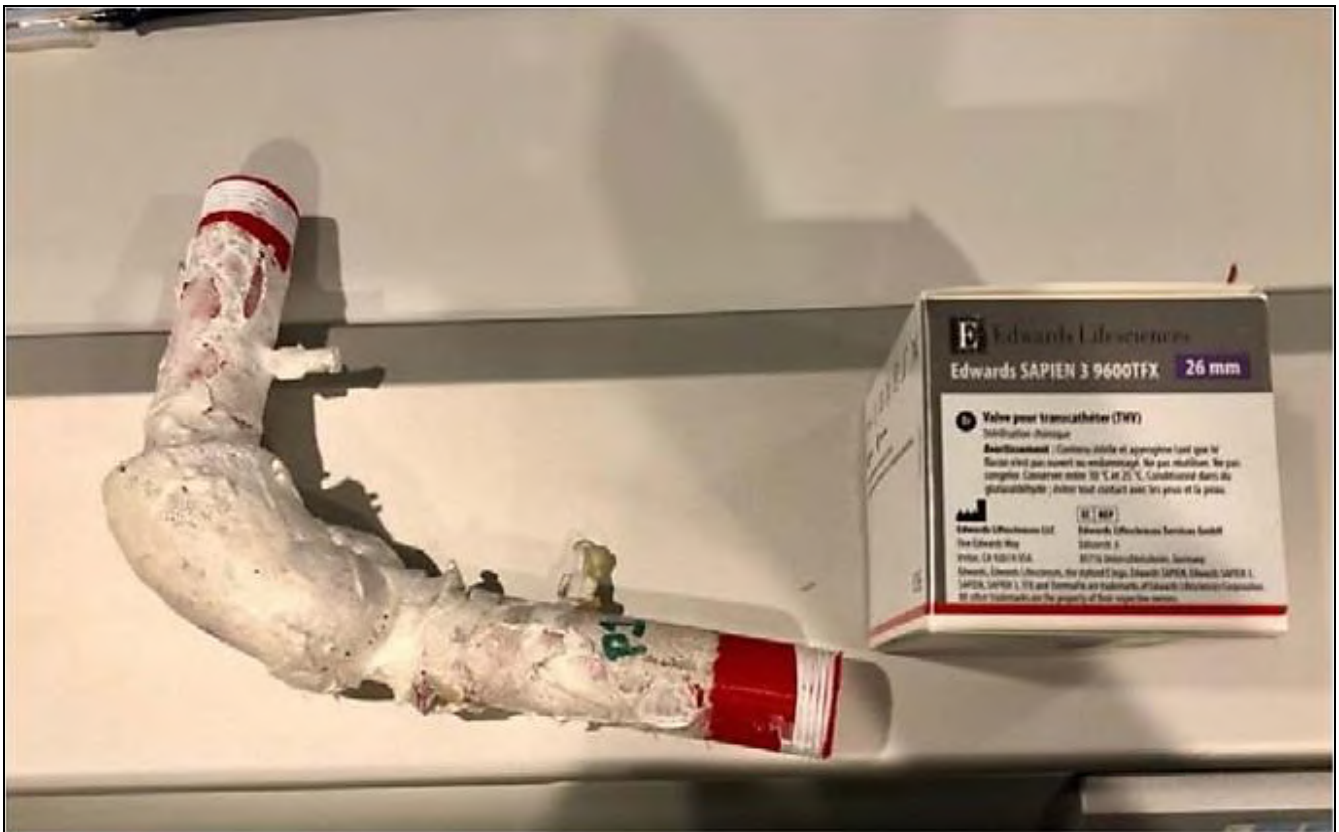
Para a realização dessa impressão são utilizadas três etapas: aquisição de imagem, pós-processamento de dados e fabricação (Fan et al., 2019). No âmbito da aquisição de imagem as fontes de imagem mais utilizadas são as obtidas em ecocardiografia, tomografia computadorizada e na ressonância magnética (Thorburn et al., 2020). Em relação ao pós-processamento há o envolvimento e delineamento automatizado ou semiautomático das estruturas de interesse e conversão para modelos digitais de malha geométrica. A segmentação requer conhecimento abrangente da anatomia cardíaca, interpretação da imagem e habilidades no uso do *software* de pós-processamento de imagem. Por fim, a etapa final da impressão 3D é a fabricação dos modelos físicos (Fan et al., 2019).

Os modelos impressos em 3D fornecem uma técnica viável e não invasiva para auxiliar a visualização 3D da anatomia cardíaca, oferecendo a oportunidade de visualizar melhor como a anatomia complexa do paciente irá interagir fisicamente com dispositivos médicos implantados, como *stents*, dispositivos de oclusão ou válvulas protéticas. Testar válvulas de diferentes tamanhos e designs em um modelo flexível impresso em 3D pode ajudar a refinar as previsões de incompatibilidades de forma/tamanho levando em conta essas interações físicas, visto que não há acesso direto a anatomia do paciente para fornecer o dimensionamento preciso da prótese (Ripley et al., 2016).

Além das informações anatômicas, modelos de válvula aórtica fabricados especificamente para o paciente podem ser acoplados a simuladores hemodinâmicos de fluxo pulsátil para avaliar as características funcionais da válvula sob várias condições de fluxo direto controlado (Fan et al., 2019). Também permite que os médicos em treinamento desenvolvam e aprimorem as técnicas de implantação em tempo real antes do procedimento real, ajudando a mitigar o risco de ocorrência de certas complicações do procedimento (Thorburn et al., 2020; Xenofontos et al., 2022) (Figura 2). Ademais, os modelos 3D apresentam vantagens sobre os espécimes em termos de custo, facilidade de reprodutibilidade e conservação/armazenamento (Milano et al., 2019).

Em relação as desvantagens, os custos iniciais em equipamentos para a montagem do protótipo são altos, sendo considerado um dos obstáculos que ainda impedem a aplicação desta tecnologia na prática clínica de rotina. O pós-processamento de imagem pode ser mais demorado quando o operador não está familiarizado com o *software* de pós-processamento, portanto, há a necessidade de um operador treinado para a fabricação de modelos impressos em 3D (Lau & Sun, 2018). Assim, alguns casos dependendo da qualidade da imagem e da tecnologia utilizada demoram mais que 24 horas para produzir um modelo do início ao fim (Milano et al., 2019).

Figura 2. Modelo aórtico impresso em 3d e válvula correspondente.



Fonte: Thorburn et al. (2020).

4. Considerações Finais

Nesse cenário, o uso dos modelos impresso em 3D pode facilitar o desenvolvimento de novos dispositivos e novas técnicas cirúrgicas. O advento da tecnologia de impressão 3D é capaz de criar modelos físicos anatomicamente precisos e específicos do paciente, convertendo imagens 3D virtuais na tela plana do computador em modelos 3D palpáveis adequados para simulação intervencionista, permitindo uma redução no tempo cirúrgico. Todavia, as limitações desse modelo esbarram no alto custo, na qualidade de imagem e no alto tempo para impressão.

Agradecimentos

Ao Programa Bolsas de Iniciação Científica (PBIC) da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA.

Referências

- Araujo, M. C. E., Duarte, M. M. S., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Contribuições da engenharia reversa e produção de modelos 3D para o ensino médico. *Research, Society and Development*, 10(11), e385101119692. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19692>
- Bompotis, G., Meletidou, M., Karakanas, A., Sotiriou, S., Sachpekidis, V., Konstantinidou, M., Spanopoulos, K., Styliadis, I., & Lazaridis, I. (2020). Transcatheter Aortic Valve Implantation using 3-D printing modeling assistance. A single-center experience. *Hellenic journal of cardiology: HJC = Hellenike kardiologike epitheorese*, 61(2), 131–132. <https://doi.org/10.1016/j.hjc.2019.01.012>
- Corrigan, F. E., Gleason, P. T., Condado, J. F., Lisko, J. C., Chen, J. H., Kamioka, N., Keegan, P., Howell, S., Clements, S. D., Jr, Babaliarios, V. C., & Lerakis, S. (2019). Imaging for Predicting, Detecting, and Managing Complications After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC. Cardiovascular imaging*, 12(5), 904–920. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.07.036>
- Duarte, M. M. S., Araujo, M. C. E., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Aplicabilidades da técnica de fotogrametria no ensino de Anatomia Humana. *Research, Society and Development*, 10(11), e51101119328. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19328>
- Fan, Y., Wong, R., & Lee, A. P. (2019). Three-dimensional printing in structural heart disease and intervention. *Annals of translational medicine*, 7(20), 579. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.09.73>

- Garcia, T. R., Macedo, R. M., Vaz, M. H. V., Borges, G. H. I., Zendron, I. M., & Arruda, J. T. (2022). Impressão 3D de peças anatômicas como ferramentas de educação e auxílio na prática clínica. *Research, Society and Development*, 11(13), e248111335234. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35234>
- Grimard, B. H., Safford, R. E., & Burns, E. L. (2016). Aortic Stenosis: Diagnosis and Treatment. *American family physician*, 93(5), 371–378.
- Hussein, N., Honjo, O., Barron, D. J., & Yoo, S. J. (2021). Supravalvular aortic stenosis repair: surgical training of 2 repair techniques using 3D-printed models. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*, 33(6), 966–968. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivab198>
- Koche, J. C. (2011). Fundamentos de metodologia científica. Petrópolis: Vozes.
- Lau, I., & Sun, Z. (2018). Three-dimensional printing in congenital heart disease: A systematic review. *Journal of medical radiation sciences*, 65(3), 226–236. <https://doi.org/10.1002/jmrs.268>
- Levin, D., Mackensen, G. B., Reisman, M., McCabe, J. M., Dvir, D., & Ripley, B. (2020). 3D Printing Applications for Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Current cardiology reports*, 22(4), 23. <https://doi.org/10.1007/s11886-020-1276-8>
- Lindman, B. R., Dweck, M. R., Lancellotti, P., Génèreux, P., Piérard, L. A., O’Gara, P. T., & Bonow, R. O. (2020). Management of Asymptomatic Severe Aortic Stenosis: Evolving Concepts in Timing of Valve Replacement. *JACC. Cardiovascular imaging*, 13(2 Pt 1), 481–493. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.036>
- Louredo, L. M., Duarte, M. M. S., Araújo, M. C. E., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Uso de prototipagem rápida ou manufatura aditiva para estudos de casos clínicos e planejamento de técnica cirúrgica utilizando modelos 3D. *Research, Society and Development*, 10(12), e336101220403. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20403>
- Memon, S., Friend, E., Samuel, S. P., Goykhman, I., Kalra, S., Janzer, S., & George, J. C. (2021). 3D Printing of Carotid Artery and Aortic Arch Anatomy: Implications for Preprocedural Planning and Carotid Stenting. *The Journal of invasive cardiology*, 33(9), E723–E729.
- Milano, E. G., Capelli, C., Wray, J., Biffi, B., Layton, S., Lee, M., Caputo, M., Taylor, A. M., Schievano, S., & Biglino, G. (2019). Current and future applications of 3D printing in congenital cardiology and cardiac surgery. *The British journal of radiology*, 92(1094), 20180389. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180389>
- Moro, F. H., Carvalho, R. A., Barud, H. S., Amaral, A. C., & Silva, E. J. (2022). Modificação de bico de impressora 3D para obtenção de suportes para uso em medicina regenerativa. *Research, Society and Development*, 11(6), e58111629472. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29472>
- Noor, N., Shapira, A., Edri, R., Gal, I., Wertheim, L., & Dvir, T. (2019). 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts. *Advanced science (Weinheim, Baden-Wurtemberg, Germany)*, 6(11), 1900344. <https://doi.org/10.1002/advs.201900344>
- Ripley, B., Kelil, T., Cheezum, M. K., Goncalves, A., Di Carli, M. F., Rybicki, F. J., Steigner, M., Mitsouras, D., & Blankstein, R. (2016). 3D printing based on cardiac CT assists anatomic visualization prior to transcatheter aortic valve replacement. *Journal of cardiovascular computed tomography*, 10(1), 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.12.004>
- Sousa, M. M. C., Bezerra, I. N., Nogueira, F. D., Veras, L. M. C., & Bezerra, D. M. (2021). O manejo pós operatório do implante do valvar aórtico percutâneo com uso de anticoagulantes e antiagregantes plaquetários: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, 10(6), e58410615631. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15631>
- Thorburn, C., Abdel-Razek, O., Fagan, S. et al. (2020). Three-dimensional printing for assessment of paravalvular leak in transcatheter aortic valve implantation. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, 15(1), 211. <https://doi.org/10.1186/s13019-020-01255-3>
- Tuncay, V., & van Ooijen, P. (2019). 3D printing for heart valve disease: a systematic review. *European radiology experimental*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0083-0>
- Utiyama, B., Hernandez, C., Senra, T., Gospos, M., Sá, R., Leme, J., Fonseca, J., Drigo, E., Leão, T., Pinto, I., & Andrade, A. (2014). *Construção de biomodelos por impressão 3D para uso na prática clínica: experiência do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia*. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB. Disponível em: https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_095.pdf
- Vukicevic, M., Mosadegh, B., Min, J. K., & Little, S. H. (2017). Cardiac 3D Printing and its Future Directions. *JACC. Cardiovascular imaging*, 10(2), 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.001>
- Xenofontos, P., Zamani, R., & Akrami, M. (2022). The application of 3D printing in preoperative planning for transcatheter aortic valve replacement: a systematic review. *Biomedical engineering online*, 21(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12938-022-01029-z>