

Utilização da Impressão Tridimensional nas Plastias Cirúrgicas da Valva Mitral

Using Three-Dimensional Printing in Surgical Mitral Valve Repairs

Rodrigo Bahiense Visconti,^{1,2,3} Luciano Herman Juaçaba Belem,^{2,4,5} Antonio Carlos Dos Santos Nogueira,^{3,6} Maria Claudia Lembo Cornélio,^{1,3} Luis Henrique Weitzel^{3,7}

Rede D'Or, Ecocardiografia,¹ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Fonte imagem medicina diagnóstica,² Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Proecho diagnósticos,³ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

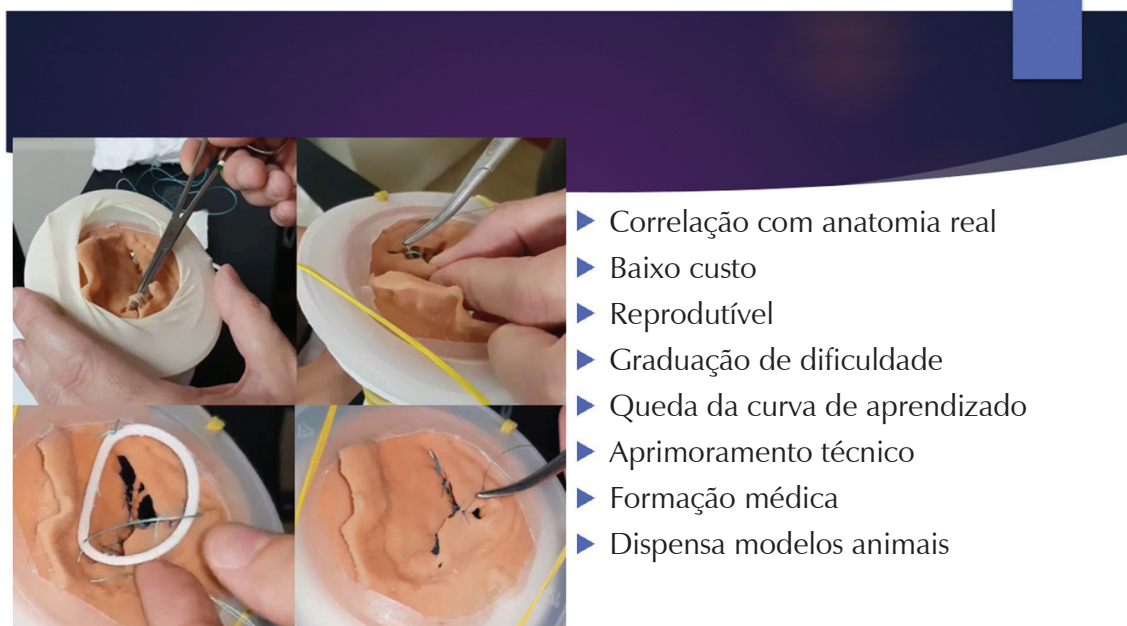
Prevtotal,⁴ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Instituto Nacional de Cardiologia,⁵ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Pro-Cardiaco Hospital,⁶ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Instituto Aluisio de Castro,⁷ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Figura Central: Utilização da impressão tridimensional nas plastias cirúrgicas da valva mitral



- ▶ Correlação com anatomia real
- ▶ Baixo custo
- ▶ Reprodutível
- ▶ Graduação de dificuldade
- ▶ Queda da curva de aprendizado
- ▶ Aprimoramento técnico
- ▶ Formação médica
- ▶ Dispensa modelos animais

Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2023;36(4):e20230101

Palavras-chave

Impressão Tridimensional; Ecocardiografia; Insuficiência da Valva Mitral; Cirurgia Torácica; Anuloplastia da Valva Mitral

Correspondência: Rodrigo Bahiense Visconti •

Proecho Diagnósticos. R. Sorocaba, 464, 1º andar. CEP: 22271-110. Botafogo, Rio de Janeiro, RJ – Brasil

E-mail: Rodrigobvisconti@gmail.com

Artigo recebido em 15/11/2023; revisado em 17/11/2023; aceito em 17/11/2023

Editor responsável pela revisão: Daniela do Carmo Rassi Frota

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20230101>

Resumo

A regurgitação mitral representa uma importante causa de morbimortalidade e a plastia mitral cirúrgica continua sendo seu tratamento de escolha quando possível. Utilizamos a ecocardiografia tridimensional associada a impressão tridimensional para a confecção de modelos cirúrgicos nos quais é possível o treinamento ou aprimoramento de técnicas cirúrgicas visando uma melhoria nos resultados das plastias e um aprimoramento na formação médica.

Introdução

A regurgitação mitral representa uma importante causa de morbimortalidade, levando progressivamente ao declínio da função cardíaca, aumento das cavidades esquerdas e desenvolvimento de hipertensão arterial pulmonar, sendo uma prevalente causa de insuficiência cardíaca com um importante impacto social e na saúde pública.¹ Suas causas podem variar desde fatores congênitos, inflamatórios, infecciosos e degenerativos até alterações funcionais secundárias como dilatação ventricular, disfunção e deslocamento dos músculos papilares e, menos comumente, aumento do volume atrial.²

Como mostrado em vários estudos, a plastia mitral tem inúmeros benefícios em relação à troca valvar em termos de prognóstico, mortalidade precoce e tardia, morbidade e durabilidade, sendo considerado o tratamento padrão ouro para a regurgitação mitral.^{3,4} No entanto, essa abordagem apresenta uma dificuldade técnica elevada, prejudicando a previsibilidade de seu desfecho, implicando, em muitos casos, em aumento do tempo cirúrgico e de utilização de circulação extra corpórea, além insuficiência mitral residual significativa, podendo levar a necessidade de troca valvar com implante de prótese.³⁻⁵

A disfunção valvular não ocorre de forma simétrica. Ela pode envolver segmentos isolados ou acometer a válvula mais abrangentemente (Figura 1). A ecocardiografia é capaz de identificar inúmeros parâmetros, os quais visam determinar o mecanismo da disfunção. O método determina detalhes anatômicos como os segmentos envolvidos, medidas dos folhetos e suas relações, forma e dimensões do anel mitral, acometimento do aparato subvalvar, distância entre os músculos papilares até o tecido valvular ou estruturas adjacentes envolvidas, bem como a graduação da regurgitação do distúrbio. O mecanismo e as informações anatômicas serão fundamentais na determinação da possibilidade de plastia e da técnica cirúrgica a ser empregada. A doença valvar degenerativa com prolapso mitral é a forma de disfunção mais comumente encontrada na qual o resultado da plastia, quando exequível, é reconhecidamente benéfico. Pode-se diferenciar três grandes grupos. O grau de acometimento dos folhetos pode ser dividido em dois grupos: graus 1 e 2, este chamado de degeneração fibroelástica (FED), acometimento mais brando com envolvimento de poucos segmentos valvares e menor excesso de tecido, principalmente do folheto posterior, tendo maior possibilidade de realização de plastia bem sucedida; e graus 3 e 4, sendo este grupo chamado de síndrome de Barlow (SB), condição multisegmentar que consiste em uma infiltração mixomatosa com maior acometimento de ambos os folhetos, com acentuada alteração e importante deformação do complexo valvar, restringindo seu reparo a centros altamente especializados e com ampla experiência, condição esta que, portanto, tem como tratamento de escolha na maioria dos casos a troca valvar. A forma frustra (FF), ou Barlow frusto, seria o grau 3 e se refere a uma alteração intermediária, cuja abordagem deve ser avaliada caso a caso. A análise do folheto mais acometido representa grande importância no resultado final. A intervenção cirúrgica no posterior, principalmente quando o envolvimento é localizado ao nível do Scallop P2, é considerada mais simples, tendo melhores índices de êxito. As lesões dos Scallops P1 e P3 e

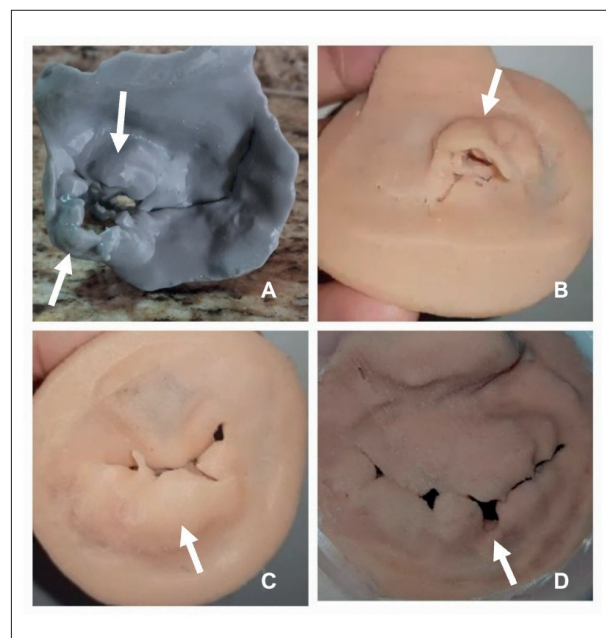


Figura 1 – Modelos impressos demonstrando formas distintas da patologia mitral com prolapso e flail acometendo a comissura lateral a A1/P1 (A), flail do folheto anterior ao nível de A2/A3 (B), prolapso com flail de P2 (C) e síndrome de Barlow com cleft posterior (D).

comissurais são tecnicamente mais difíceis e delicadas em relação ao Scallop P2, mas mantêm uma boa possibilidade de plastia. O acometimento do folheto anterior requer técnicas mais desafiadoras, devendo ser realizadas por cirurgiões experientes. Dentre as técnicas mais utilizadas atualmente nos reparos, estão a ressecção triangular ou quadrangular do segmento envolvido, a colocação de patch, o fechamento de *cleft*, a transferência de cordas, o uso de neocordas e a anuloplastia com colocação de anel.⁶⁻¹⁰

Podem ser observados resultados divergentes em plastias realizadas em válvulas com envolvimento semelhante, os quais podem estar relacionados ao grau de proficiência do cirurgião, a fatores próprios do paciente ou a uma avaliação pré-operatória inadequada.¹¹ Atualmente, a ecocardiografia, principalmente com a avaliação tridimensional, permite uma melhor análise da anatomia valvar, com medições mais precisas e uma boa visualização do mecanismo envolvido. No entanto, muitas vezes a demonstração desses dados ao cirurgião pode não ocorrer de forma adequada, deixando uma lacuna no planejamento estratégico do procedimento.

Novas tecnologias permitem a impressão de modelos realistas a partir de imagens obtidas por ETE 3D com precisão de escala comprovada em estudos, possibilitando medidas físicas e permitindo uma visualização prévia do campo cirúrgico. A partir da imagem tridimensional adquirida em formato DICOM, é obtido um modelo tridimensional, o qual é convertido em um arquivo que pode ser impresso em diversos materiais com características físicas e resistências diferentes a partir de uma impressora tridimensional. Além disso, é possível imprimir moldes que permitem a utilização de materiais que mimetizam a resistência do tecido valvar, com os quais pode-

Artigo de Revisão

se realizar uma cirurgia simulada no pré-operatório com as mesmas dimensões e características que serão encontradas durante o ato proposto.¹²⁻¹⁶

O estudo visa estabelecer um melhor planejamento das cirurgias de recuperação da valva mitral a partir da criação de modelos que mimetizam a anatomia do paciente na ocasião da decisão sobre tratamento cirúrgico, verificar e testar de forma pré-operatória a melhor a abordagem cirúrgica a ser adotada.

Essa abordagem propõe tornar a imagem cardíaca mais tangível podendo permitir uma maior previsibilidade do resultado cirúrgico sem prejuízos ao paciente em questão. Outro possível efeito é o de capacitar um maior número de profissionais a realização destas técnicas, reduzindo a curva de aprendizado e permitindo a elaboração de novas abordagens ou técnicas alternativas em um ambiente controlado e próximo ao real, gerando um impacto na formação médica.

Métodos

O estudo se baseia na criação de modelos tridimensionais por meio de impressão 3D, submetendo-os a um cirurgião cardíaco especializado em plastia mitral cirúrgica para avaliar a possibilidade de executar as técnicas cirúrgicas habituais nos modelos impressos para simulação de uma manipulação cirúrgica real.

Foram criados modelos avançados que dispõem de anel mitral, folhetos, músculos papilares e cordoalhas tendíneas de patologias mitrais distintas utilizando silicone com características de resistência semelhante ao do tecido valvar humano por meio de imagens obtidas por exames ecocardiográficos transesofágicos tridimensionais. As patologias foram selecionadas de modo que se pudesse obter graus variados de dificuldade cirúrgica, requerendo o uso de técnicas cirúrgicas diferentes.

Os exames foram realizados utilizando o aparelho Phillips Epic Cvx com sonda esofágica X8. As imagens foram submetidas ao software QStation para avaliação das medidas valvares a partir de método semiautomático. Posteriormente, as imagens foram exportadas para software aberto (3DSlicer) para confecção de modelos tridimensionais (Figura 2) e gravado em formato stl (stereolitografia). Em seguida, o arquivo foi exportado para uma impressora tridimensional (flashforge inventor) para a impressão de um molde, o qual deverá ser impresso em filamento solúvel (PVA) e preenchido, então, com silicone específico (ecoflex), gerando assim um modelo com características elásticas e que suporte uma cirurgia simulada (Figura 3).

Para o auxílio da aplicabilidade da técnica cirúrgica foram construídos modelos de anéis para anuloplastia por impressão tridimensional utilizando-se material elástico a partir de modelos computacionais gerados utilizando-se medidas e formas de anéis de anuloplastia já disponíveis no mercado.

Resultados

Foram criados modelos de valvas avançados com patologias envolvendo o folheto anterior, folheto posterior em seus três Scallops e síndrome de Barlow

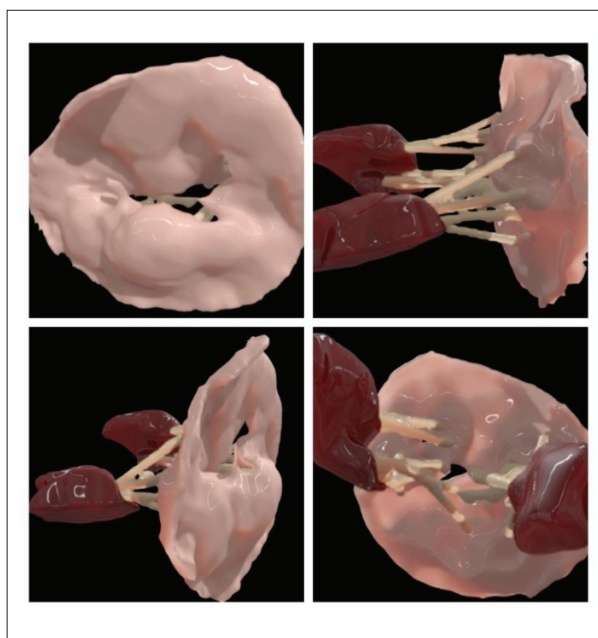


Figura 2 – Modelo tridimensional virtual.

com envolvimento difuso. As cordoalhas foram criadas com 1,5 mm de espessura, sendo esta a menor espessura possível com os métodos utilizados, a fim de permitir sua integridade após o processo de fabricação. Foi utilizado um corante de silicone para facilitar a visualização durante a manipulação e se aproximar mais da colocação real.

As peças criadas foram medidas por paquímetro. As medidas foram comparadas com as obtidas ao ecocardiograma transesofágico tridimensional por software automatizado (Philips MVQ) com boa correlação entre as medidas (Figura 4).

A partir dos modelos impressos, foi possível aplicar diferentes técnicas utilizando-se material cirúrgico regular e fios cirúrgicos comuns (Figura 5). Executou-se técnicas como anuloplastia, ressecção triangular e quadrangular e implante de neocordas com boa correlação com a resistência, textura e comportamento do tecido em comparação como paciente real quando avaliado pelo cirurgião cardíaco especializado em plastia mitral (Figura 6).

Conclusão

Embora seja um trabalho experimental e com pouca abrangência, tentamos demonstrar como é possível a utilização da ecocardiografia tridimensional associada a impressão tridimensional para o planejamento e treinamento das plastias cirúrgicas da valva mitral. Atualmente, muitos cirurgiões no Brasil têm um baixo volume cirúrgico de plastia, o que impacta na habilidade destes profissionais de realizar técnicas mais avançadas, levando a troca valvar desnecessária em alguns casos. Investimentos e mais pesquisas nessa área poderiam levar a um programa de treinamento médico mais avançado, levando a melhor qualificação dos cirurgiões já habilitados em plastia e permitindo a formação de novos, além da



Figura 3 – Imagem obtida por ecocardiografia tridimensional acima à esquerda. Modelo tridimensional avançado impresso em silicone contendo folhetos, aparelho subvalvar e músculos papilares. Abaixo, à direita, foto da peça cirúrgica.

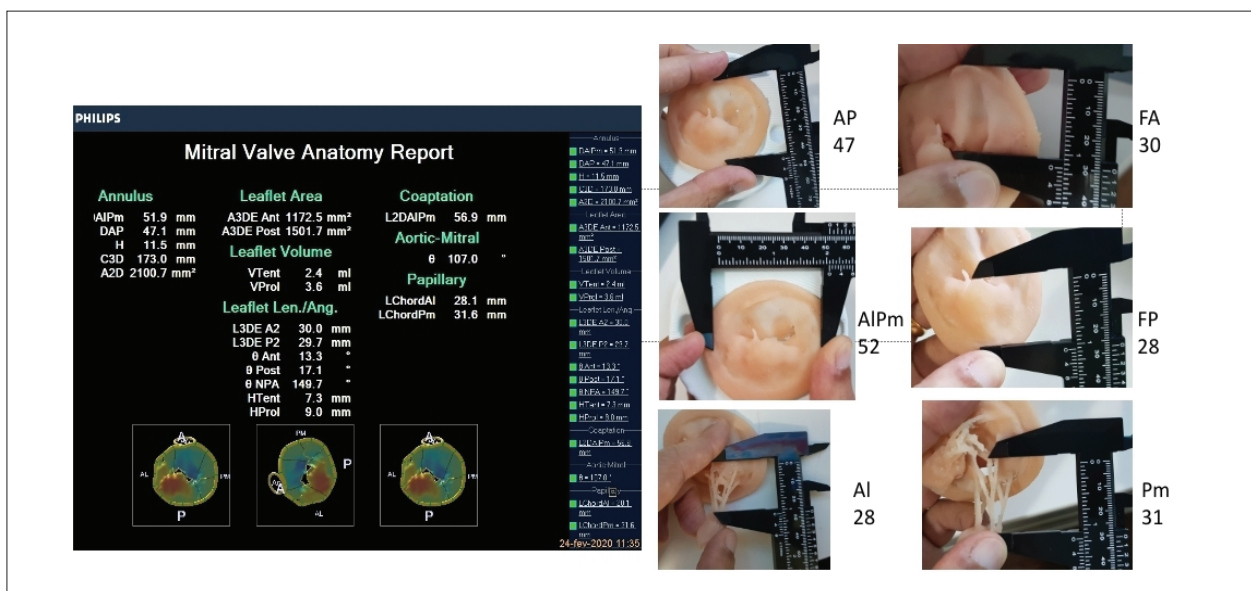
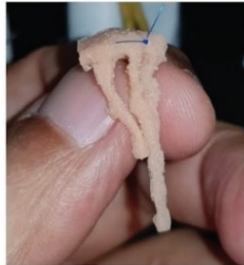


Figura 4 – Comparação entre medidas da valva mitral obtidas por software específico (Philips MVQ) e medidas realizadas no modelo impresso. AP: diâmetro anteroposterior; AIPm: diâmetro laterolateral; FA: folheto anterior; FP: folheto posterior; AI: cordoalhas do músculo papilar anterolateral; Pm: cordoalhas do músculo papilar posteromedial.

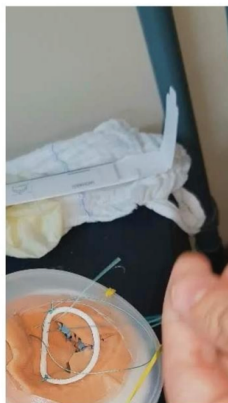


Figura 5 – Resultado antes e após cirurgia simulada em peça impressa.

Ressecção triangular



Anuloplastia



Neocordas

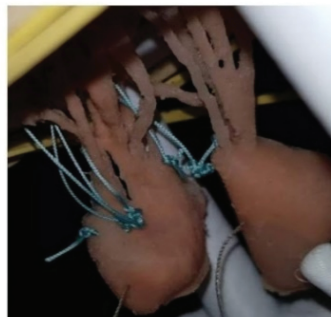


Figura 6 – Técnicas cirúrgicas aplicadas nos modelos impressos.

possibilidade de se desenvolver novas técnicas, como a cirurgia minimamente invasiva e a robótica, sem impactos aos pacientes. Desta forma, podemos melhorar as estatísticas de plastia com impactos na população em geral.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, obtenção de dados, análise e interpretação dos dados e redação do manuscrito: Visconti RB; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Visconti RB, Belem LHJ, Cornélio MCL, Nogueira ACS, Weitzel LH.

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.

Referências

1. El Sabbagh A, Reddy YNV, Nishimura RA. Mitral Valve Regurgitation in the Contemporary Era: Insights Into Diagnosis, Management, and Future Directions. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018;11(4):628-43. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.01.009.
2. O'Gara PT, Grayburn PA, Badhwar V, Afonso LC, Carroll JD, Elmariah S, et al. 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway on the Management of Mitral Regurgitation: A Report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision Pathways. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(19):2421-49. doi: 10.1016/j.jacc.2017.09.019.
3. Castedo E, Moñivas V, Cabo RA, Monguió E, Montero CG, Burgos R, et al. Valve Repair for Chronic Mitral Regurgitation. *Rev Esp Cardiol*. 2005;58(7):864-7.
4. Gillinov AM, Blackstone EH, Nowicki ER, Slisatkov W, Al-Dossari G, Johnston DR, et al. Valve Repair versus Valve Replacement for Degenerative Mitral Valve Disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2008;135(4):885-93. doi: 10.1016/j.jtcvs.2007.11.039.
5. Flameng W, Herijgers P, Bogaerts K. Recurrence of Mitral Valve Regurgitation After Mitral Valve Repair in Degenerative Valve Disease. *Circulation*. 2003;107(12):1609-13. doi: 10.1161/01.CIR.0000058703.26715.9D.
6. Shimokawa T, Kasegawa H, Katayama Y, Matsuyama S, Manabe S, Tabata M, et al. Mechanisms of Recurrent Regurgitation After Valve Repair for Prolapsed Mitral Valve Disease. *Ann Thorac Surg*. 2011;91(5):1433-8. doi: 10.1016/j.athoracsur.2011.01.015.
7. Debonnaire P, Palmen M, Marsan NA, Delgado V. Contemporary Imaging of Normal Mitral Valve Anatomy and Function. *Curr Opin Cardiol*. 2012;27(5):455-64. doi: 10.1097/HCO.0b013e328354d7b5.
8. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, Gottdiener JS, Scott CG, Enriquez-Sarano M. Burden of Valvular Heart Diseases: A Population-Based Study. *Lancet*. 2006;368(9540):1005-11. doi: 10.1016/S0140-6736(06)69208-8.
9. Chandra S, Salgo IS, Sugeng L, Weinert L, Tsang W, Takeuchi M, et al. Characterization of Degenerative Mitral Valve Disease Using Morphologic Analysis of Real-Time Three-Dimensional Echocardiographic Images: Objective Insight Into Complexity and Planning of Mitral Valve Repair. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2011;4(1):24-32. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.109.924332.
10. Yazdchi F, Kaneko T, Tang GHL. Surgical Versus Percutaneous Approaches for Degenerative Mitral Valve Repair: A Review, Structural Heart. 2019;3(3):176-84. doi: 10.1080/24748706.2019.1596337.
11. LaPar DJ, Ailawadi G, Isbell JM, Crosby IK, Kern JA, Rich JB, et al. Mitral Valve Repair Rates Correlate with Surgeon and Institutional Experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;148(3):995-1003; discussion 1003-4. doi: 10.1016/j.jtcvs.2014.06.039.
12. Vukicevic M, Mosadegh B, Min JK, Little SH. Cardiac 3D Printing and its Future Directions. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10(2):171-84. doi: 10.1016/j.jcmg.2016.12.001.
13. Boll LFC, Rodrigues GO, Rodrigues CG, Bertollo FL, Irigoyen MC, Goldmeier S. Using a 3D Printer in Cardiac Valve Surgery: A Systematic Review. *Rev Assoc Med Bras (1992)*. 2019;65(6):818-24. doi: 10.1590/1806-9282.65.6.818.
14. Little SH, Vukicevic M, Avenatti E, Ramchandani M, Barker CM. 3D Printed Modeling for Patient-Specific Mitral Valve Intervention: Repair with a Clip and a Plug. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016;9(9):973-5. doi: 10.1016/j.jcin.2016.02.027.
15. Kedziora A, Wrozek M, Litwinowicz R, Bartus K, Witowski J, Konstany-Kalandyk J, et al. Feasibility of 3D Printing in Preoperative Management of Mitral Valve Regurgitation. A Pilot Study. *Przegląd Lekarski*. 2018;75(6):279-82.
16. Premyodhin N, Mandair D, Ferng AS, Leach TS, Palsma RP, Albanna MZ, et al. 3D Printed Mitral Valve Models: Affordable Simulation for Robotic Mitral Valve Repair. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2018;26(1):71-6. doi: 10.1093/icvts/ivx243.

