

Medição Automática de Valva Mitral a Partir de Ecocardiograma Utilizando Processamento Digital de Imagens

Automatic Measurement of the Mitral Valve Based on Echocardiography Using Digital Image Processing

Genilton de França Barros Filho,¹ Israel Solha,¹ Ewerton Freitas de Medeiros,¹ Alex dos Santos Felix,² André Luiz Cerqueira de Almeida,³ José Carlos de Lima Júnior,¹ Marcelo Dantas Tavares de Melo,¹ Marcelo Cavalcanti Rodrigues¹

Universidade Federal da Paraíba,¹ João Pessoa, PB – Brasil

Instituto Nacional de Cardiologia,² Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Departamento de Imagem Cardiovascular,³ São Paulo, SP – Brasil

Resumo

Fundamento: A avaliação da área valvar mitral por meio da reconstrução multiplano na ecocardiografia tridimensional é restrita a softwares específicos e à experiência dos ecocardiografistas. Eles precisam selecionar manualmente o frame do vídeo que contenha a área de abertura máxima da valva mitral, dimensão fundamental para a identificação de estenose mitral.

Objetivo: Automatizar o processo de determinação da área de abertura máxima da valva mitral, por meio da aplicação de Processamento Digital de Imagens (PDI) em exames de ecocardiograma, desenvolvendo um algoritmo aberto com leitura de vídeo no formato avi.

Método: Este estudo piloto observacional transversal foi realizado com vinte e cinco exames diferentes de ecocardiograma, sendo quinze com abertura normal e dez com estenose mitral reumática. Todos os exames foram realizados e disponibilizados por dois especialistas, com autorização do Comitê de Ética em Pesquisa, que utilizaram dois modelos de aparelhos ecocardiográficos: Vivid E95 (GE Healthcare) e Epiq 7 (Philips), com sondas multiplanares transesofágicas. Todos os vídeos em formato avi foram submetidos ao PDI através da técnica de segmentação de imagens.

Resultados: As medidas obtidas manualmente por ecocardiografistas experientes e os valores calculados pelo sistema desenvolvido foram comparados utilizando o diagrama de Bland-Altman. Observou-se maior concordância entre valores no intervalo de 0,4 a 2,7 cm².

Conclusão: Foi possível determinar automaticamente a área de máxima abertura das valvas mitrais, tanto para os casos advindos da GE quanto da Philips, utilizando apenas um vídeo como dado de entrada. O algoritmo demonstrou economizar tempo nas medições quando comparado com a mensuração habitual.

Palavras-chave: Valvar Mitral; Ecocardiografia; Processamento de Imagem Assistida por Computador.

Abstract

Background: The evaluation of mitral valve area through multiplanar reconstruction in 3-dimensional echocardiography is restricted to specific software and to the experience of echocardiographers. They need to manually select the video frame that contains the maximum mitral valve opening area, as this dimension is fundamental to identification of mitral stenosis.

Objective: To automate the process of determining the maximum mitral valve opening area, through the application of digital image processing (DIP) in echocardiography tests, developing an open algorithm with video reading in avi format.

Method: This cross-sectional observational pilot study was conducted with 25 different echocardiography exams, 15 with normal aperture and 10 with rheumatic mitral stenosis. With the authorization of the Research Ethics Committee, all exams were performed and made available by 2 specialists who used 2 models of echocardiographic devices: Vivid E95 (GE Healthcare) and Epiq 7 (Philips), with multiplanar transesophageal probes. All videos in avi format were submitted to DIP using the image segmentation technique.

Correspondência: Genilton de França Barros Filho •

Rua Luiza Dantas de Medeiros, 261, apt. 103 G. CEP: 58073-040. José Américo, João Pessoa, PB - Brasil

E-mail: gfbfilho@gmail.com

Artigo recebido em 18/12/2022; revisado em 27/01/2023; aceito em 30/01/2023

Editor responsável pela revisão: Daniela do Carmo Rassi Frota

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.2023371>

Results: The measurements obtained manually by experienced echocardiographers and the values calculated by the developed system were compared using a Bland-Altman diagram. There was greater agreement between values in the range from 0.4 to 2.7 cm².

Conclusion: It was possible to automatically determine the maximum mitral valve opening area, for cases from both GE and Philips, using only 1 video as input data. The algorithm has been demonstrated to save time on measurements when compared to the usual method.

Keywords: Mitral Valve; Echocardiography; Image Processing, Computer-Assisted.

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

Introdução

As doenças valvares são importantes determinantes de morbidade e mortalidade cardiovascular, sendo as doenças degenerativas das valvas mitral e aórtica as mais prevalentes, muito embora a doença reumática ainda constitua importante problema de saúde pública no Brasil. A ecocardiografia tem importante papel no diagnóstico e avaliação da gravidade das doenças valvares, podendo determinar detalhes anatômicos e fisiopatológicos que auxiliam no planejamento da melhor intervenção para cada paciente, além de possuir as vantagens de ser amplamente disponível, de baixo custo e sem necessidade de uso de radiação ou contraste nefrotóxico.¹

Dentre os exames de imagem mais comuns, o ecocardiograma é a modalidade de exame mais utilizada na avaliação de doenças valvares mitrais. Isso é possível pois trata-se de uma técnica mais prontamente disponível e amplamente utilizada para avaliar função e estrutura. O ecocardiograma combina imagem em tempo real sem a presença de radiação ionizante, servindo hoje como espinha dorsal para a área de exames de imagem cardiovasculares.²

O uso de ecocardiografia 3D fornece inúmeras vantagens, como a possibilidade de navegação em tempo real, pós-processamento de imagens e reconstrução multiplanar. É especialmente importante para avaliação pré-operatória de pacientes candidatos a cirurgias de reparo ou troca valvar. Possibilita a monitorização intraoperatória dos procedimentos, como na substituição da valva aórtica transcatheter (TAVR, sigla do inglês *transcatheter aortic valve replacement*)³ e no implante de cliques para reparo percutâneo mitral (Mitraclip). Permite, também, a realização de procedimentos para o tratamento da estenose mitral reumática, como a valvoplastia mitral percutânea por cateter-balão (VMCB), ou mesmo o implante de prótese valvar biológica mitral, por via percutânea (TMVR, sigla do inglês *transcatheter mitral valve replacement*), em pacientes com doença degenerativa mitral e calcificação do anel valvar, ou o implante de prótese percutânea no interior de próteses biológicas disfuncionantes (*valve-in-valve mitral*). Os procedimentos descritos têm apresentado grande evolução, com resultados cada vez mais eficazes devido a ajuda da multimodalidade de imagem cardíaca na avaliação pré-procedimento e durante a intervenção.^{4,5}

Na sala de intervenção, as decisões tem que ser ágeis, com o fornecimento de informações precisas para o intervencionista, sendo, portanto, fundamental a qualidade da comunicação entre as equipes. Através da demonstração visual das estruturas, possibilitada pela reconstrução e renderização pelo 3D, e com medidas mais acuradas e menos dependente de angulações, tais como as obtidas pela reconstrução

multiplanar, é possível obter resultados melhores, com maior eficácia e menor taxa de complicações.⁵

Há significativa variação na interpretação humana de dados ecocardiográficos, além de erros na realização das medidas, por uma considerável variabilidade inter-observador. O uso de sistemas automatizados para a interpretação de imagens cardiovasculares pode ser útil em melhorar a performance diagnóstica e prognóstica dos métodos, e a aplicação do *machine learning* a imagens médicas, com o auxílio da interpretação de especialistas, aumenta a confiabilidade do processo pela disposição de vários dados estruturados por relatórios.⁶

A avaliação acurada da área valvar mitral por meio da reconstrução multiplanar pela ecocardiografia transesofágica tridimensional é totalmente dependente da experiência dos examinadores e da expertise no uso de softwares específicos, que podem não estar disponíveis em algumas plataformas ou mesmo serem de uso pouco prático, consumindo tempo de exame.⁶

O processamento digital de imagens (PDI) está adquirindo notoriedade em duas principais áreas de aplicação, que são: melhora das informações visuais de imagens para a interpretação humana e processamento de dados de imagens para armazenamento, transmissão e representação, considerando a percepção automática por máquinas.⁷

Ele consiste na manipulação da imagem por um computador, com diversas aplicações, como: realce de contraste, redução de ruído, perseguição de objetos e/ou pessoas, detecção de bordas, identificação de padrões, classificação e contagem de objetos e/ou pessoas, entre muitas outras.⁷ Dentre várias técnicas existentes do PDI, foi aplicada a de segmentação de imagem. Essa técnica produz uma imagem binária, com pixels de valor um, indicando que fazem parte do objeto em estudo e com pixels de valor zero, caso contrário. Com isso, é possível parti-la em regiões, identificando fronteiras e descontinuidades, por exemplo.⁸

Vários estudos estão contribuindo para a evolução das análises de ecocardiograma por meio de ferramentas computadorizadas. Como exemplo, Sakamiya et al. criaram uma plataforma para o monitoramento online do comportamento contrátil do coração, que são as principais características funcionais do tecido cardíaco, empregando simultaneamente um sistema de processamento de imagem e de detecção piezoelétrica. Avaliaram também a influência de medicamentos como o isoproterenol e doxorrubicina no comportamento contrátil do coração. Os resultados da reatividade medicamentosa fornecida por esses dois sistemas de medição foram consistentes com os relatórios anteriores que eles possuíam, demonstrando a confiabilidade

da plataforma desenvolvida e seu potencial para uso em aplicações de triagem relacionadas a medicamentos.⁹

Nizar e cols. usaram rede neural convolucional para a detecção, em tempo real, da valva aórtica do coração em exames de ecocardiograma, com a finalidade de auxiliar o exame médico, uma vez que um sistema de detecção automatizado em um ecocardiograma pode melhorar a precisão do diagnóstico médico e fornecer análises médicas adicionais a partir da detecção resultante. Concluíram, portanto, que essa ferramenta pode ser de grande ajuda para fins médicos.¹⁰

Ostvik et al. verificaram a possibilidade da aplicação de redes neurais artificiais na classificação de imagens transtorácicas obtidas por ecocardiografia. A conclusão foi satisfatória para a implementação em ecocardiografia 2D, e para análise da Ecocardiografia em 3D, os estudos ainda precisam ganhar mais empenho visto que é realizado a partir de quadros obtidos durante o procedimento.¹¹

Portanto, o objetivo deste projeto é automatizar a determinação da área de máxima abertura da valva mitral, por meio da aplicação de PDI em exames de ecocardiograma, desenvolvendo um algoritmo aberto com leitura de vídeo no formato avi.

Metodologia

As análises foram retrospectivas, realizadas em diferentes estudos de ecocardiograma por ecocardiografistas experientes. Os exames possuíam pacientes que apresentavam valvas mitrais “normais”, ou seja, com sua abertura em condições normais, e pacientes com valvas mitrais acometidas pela estenose reumática.

Para a aquisição dos exames, os ecocardiografistas utilizaram 2 modelos de aparelhos ecocardiográficos, com sondas multiplanares transesofágicas: o Vivid E95 (GE Healthcare) e o Epiq 7 (Philips). Cada um apresenta suas particularidades. A diferença mais considerável, para o presente trabalho, é a maneira como a escala da imagem é representada. O ecocardiógrafo da marca Philips desenha pontos verdes, e a distância entre seus centroides é indicada em um valor numérico pertencente à escala métrica. O ecocardiógrafo da marca General Eletric (GE) representa a escala na parte inferior direita da imagem.

Após a aquisição dos exames salvos em vídeos, eles foram submetidos ao PDI pela técnica de segmentação de imagens, tendo em vista que um vídeo é composto por um conjunto de imagens estáticas sequenciais. Como resultado, o PDI identifica a área de máxima abertura valvar, destaca seu contorno e calcula seu valor.

Um aplicativo foi desenvolvido para facilitar a utilização do PDI. Leigos em programação podem utilizá-lo, pois apresenta uma interface gráfica intuitiva. Ele foi criado com linguagem python.

Por fim, os resultados obtidos pelo aplicativo foram comparados com os resultados obtidos pelos ecocardiografistas, que selecionaram manualmente a área de máxima abertura valvar por meio de um software específico. Para verificar a correlação entre as duas medições, empregou-se o método Bland-Altman.

Resultados

Todos os exames obtidos foram salvos no formato de vídeos no formato avi. Ao total foram adquiridos 25 vídeos, sendo 22 do ecocardiógrafo da marca GE e 3 do ecocardiógrafo da marca Philips. A quantidade de exames utilizados no presente estudo foi limitada pelo tempo empregado no estudo e influenciada pela pandemia, que dificultou a aquisição de mais exames.

O modelo do estudo utilizado foi o observacional transversal retrospectivo, adquirido de acordo com as recomendações da Sociedade Americana de Ecocardiografia.¹² As planimetrias foram realizadas pela reconstrução multiplanar com visão ventricular e atrial, utilizando o EchoPac v.204 para os aparelhos da GE e diretamente no aparelho Epiq 7 durante o exame para os da Philips.

A Figura 1 ilustra as interfaces do aplicativo desenvolvido e o seu funcionamento.

Ao abrir o aplicativo, a tela inicial é exibida (Figura 1a). Ela exibe duas opções: “Philips” e “General Eletric”. O usuário deve selecionar o botão de acordo com a origem do vídeo a ser utilizado para análise. Se o vídeo foi salvo a partir de exames de ecocardiogramas realizados com ecocardiógrafos da marca Philips, deve ser selecionado o botão “Philips”. Caso os exames tenham sido realizados com ecocardiógrafos da marca General Eletric, deve ser selecionado o botão “General Eletric”.

Ao selecionar a opção “Philips”, a tela da Figura 1b será exibida. O usuário deverá clicar no botão “Selecionar Vídeo” para carregar o vídeo a ser analisado. Depois deve informar a escala numérica presente no vídeo. Por exemplo, se o exame foi realizado e salvo com escala 5 mm no grid, deve inserir no campo “Escala [cm]” o valor de 0,5. Por fim, o botão “Play” deve ser selecionado para o aplicativo realizar todo o PDI para identificar e calcular a área de máxima abertura valvar. Além disso, a tela exibe algumas instruções para facilitar a utilização do aplicativo e para otimizar os resultados a serem obtidos.

Caso seja selecionada a opção de “General Eletric” na tela inicial (Figura 1a), a tela da Figura 1c será exibida. Ela permite escolher a forma como o vídeo foi salvo. Se foi salvo apenas com a vista 3D, deve ser selecionado o botão “Caso 1”. Se foi salvo com a vista 3D e as vistas frontal, lateral e superior, deve ser selecionado o botão “Caso 2”. Essa separação é necessária pois o modo e as características dos vídeos salvos influenciam o processamento digital.

O botão “Caso 1” e o botão “Caso 2” exibirão as telas das Figuras 1d e 1e, respectivamente. Elas funcionam da mesma maneira que a tela da Figura 1b, descrita anteriormente.

Após a seleção do botão “Play” da Figura 1b, Figura 1d ou da 1e, o PDI transforma o vídeo em um conjunto de imagens (conforme exemplo ilustrado na Figura 2), também chamadas de *frames*, para analisa-las separadamente e para identificação da imagem que contém a área de máxima abertura valvar. Como todas as imagens são isoladas, o *frame rate* (*frames* por segundo) de cada vídeo não interferiu nos resultados.

Com isso, após o processamento digital, o aplicativo exibe o resultado conforme ilustra a Figura 3.

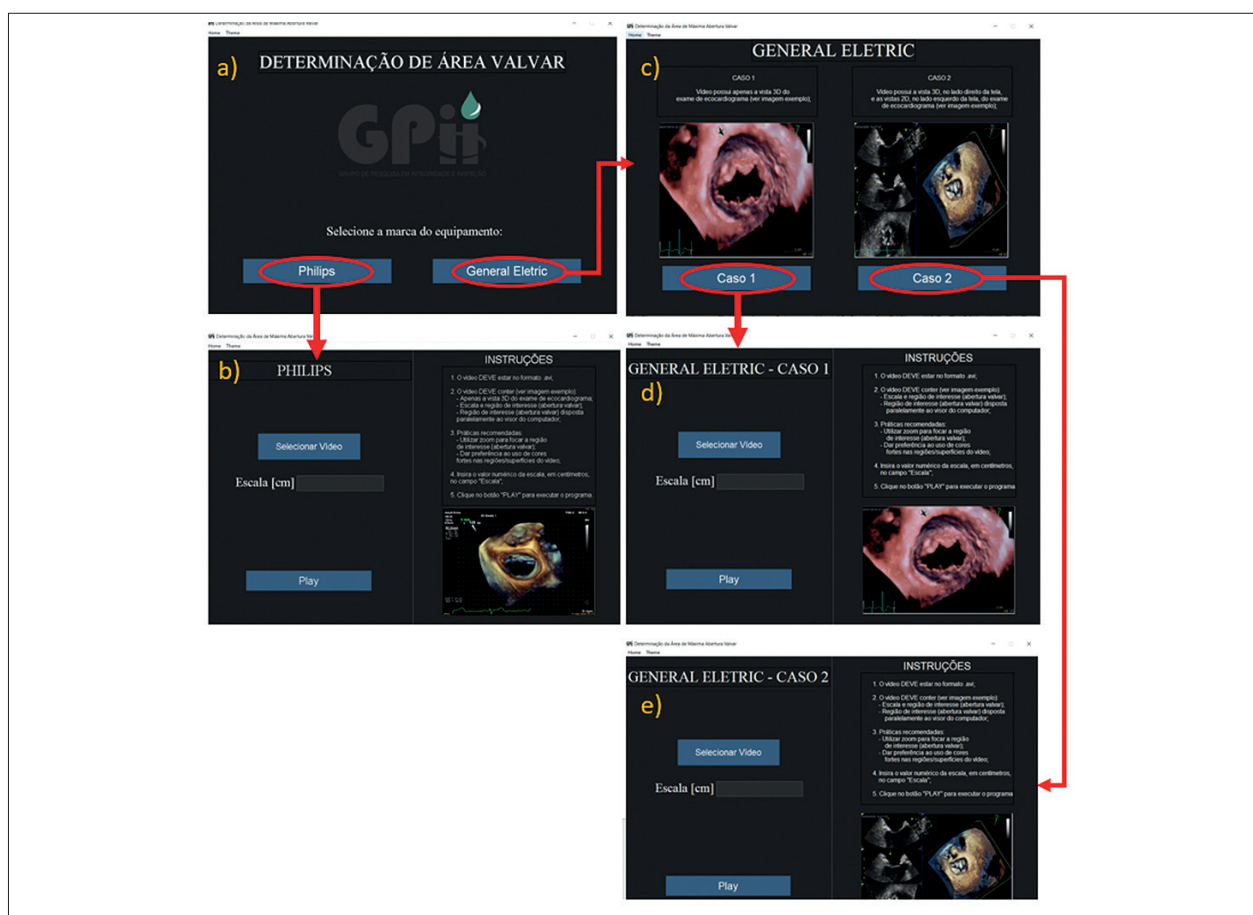


Figura 1 – Telas do aplicativo desenvolvido. a) Tela inicial; b) Tela para processamento dos vídeos advindos de ecocardiógrafos da marca Philips; c) Tela para seleção das opções de vídeos advindos de ecocardiógrafos da marca GE; d) Tela para processamento dos vídeos com apenas a vista 3D advindos de ecocardiógrafos da marca GE (Caso 1); e) Tela para processamento dos vídeos com vistas 3D, lateral, superior e frontal advindos de ecocardiógrafos da marca GE (Caso 2).

A Figura 3a ilustra a primeira tela exibida após o aplicativo executar o PDI. A área de máxima abertura valvar é identificada e desenhada (contorno de cor branca). Também é exibido o valor da área máxima. No caso da Figura 3a, a área é de 4,45 cm².

Com o intuito de tornar os resultados mais precisos, o aplicativo permite que o usuário verifique imagens anteriores e posteriores, com os botões “Imagem anterior” e “Imagem posterior”, respectivamente. Eles permitem a verificação de contornos mais condizentes com a realidade.

No resultado da Figura 3, apesar do contorno da Figura 3a exibir um resultado satisfatório, o contorno da Figura 3b é mais preciso e mais condizente com o formato da abertura valvar máxima. Inclusive, o seu valor da área de máxima abertura valvar passou a ser 4,5 cm².

O botão “Tela Inicial” serve para retornar à tela inicial do aplicativo (Figura 1a) e o botão “Selecionar imagem” salva os resultados obtidos.

As Figuras 4 e 5 representam comparações entre os resultados obtidos pela medição da máxima área de abertura valvar realizada pelo aplicativo desenvolvido e por um médico ecocardiografista. A Figura 4 caracteriza um caso “normal” e a Figura 5 um caso com estenose.

Pela análise das Figuras 4 e 5, percebe-se que os resultados foram bem próximos. Para o caso “normal” o aplicativo retornou o valor de 4,59 cm² (Figura 4b) e a medição médica retornou o valor de 4,7 cm² (Figura 4c). Para o caso com estenose, o aplicativo retornou o valor de 0,51 cm² (Figura 5b) e a medição médica retornou o valor de 0,6 cm² (Figura 5c).

Além disso, percebeu-se que a adoção de algumas práticas otimiza os resultados do aplicativo, como a de salvar vídeos destacando a região da valva mitral, aplicando zoom, e a de salvar vídeos com poucos elementos, de preferência com apenas a região de interesse e a escala utilizada. Porém, seriam necessários mais exames para validar esta constatação.

Com a identificação da máxima abertura valvar e do cálculo do seu valor, o aplicativo desenvolvido também consegue detectar se o paciente do referido exame possui ou não estenose.

Além do mais, o tempo de processamento do aplicativo é relativamente baixo, não passando de 3 minutos, para a maioria das análises.

Com a finalidade de verificar as concordâncias dos resultados obtidos pelo aplicativo e pelas medições dos

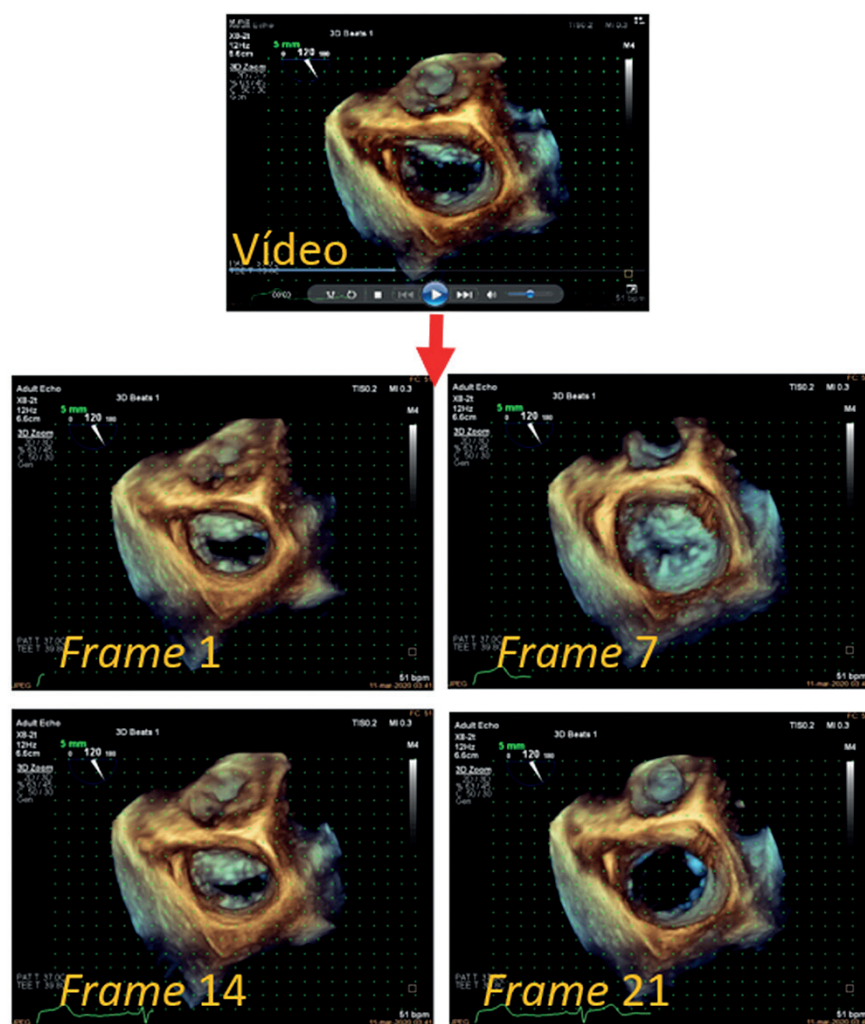


Figura 2 – Exemplo da transformação de um vídeo em diversas imagens (frames).

ecocardiografistas, aplicou-se o método de Bland-Altman, como pode ser verificado na Figura 6.

Pelo método de Bland-Altman, avaliando os casos com e sem estenose separadamente, constatou-se concordância entre o PDI e a medição médica na obtenção da área de máxima abertura valvar (Figura 6a e Figura 6b). Juntando todos os casos, apenas dois ficaram fora do intervalo aceitável (Figura 6c). Esses resultados contribuem para a validação tanto da técnica de PDI empregada quanto do aplicativo desenvolvido.

Para os casos sem estenose (Figura 6a), a maior diferença entre as medições foi de 0,7 cm², enquanto a maioria permaneceu dentro do intervalo de -0,5 cm² a 0,5 cm². Para os casos com estenose (Figura 6b), a maior diferença entre as medições foi de 0,2 cm², e todas permaneceram dentro do intervalo de -0,2 cm² a 0,2 cm². Analisando todos os casos (Figura 6c), percebe-se que os casos com estenose (pontos mais à esquerda da Figura 6c) apresentaram menores diferenças de medições comparadas com os casos sem estenoses (pontos mais à direita da Figura 6c).

Discussão

O presente trabalho se diferencia por empregar o PDI, a partir da técnica de segmentação de imagem, para detecção da área de máxima abertura de valvas mitrais, de modo automático, a partir de vídeos de ecocardiogramas no formato avi. Logo, contribui para a detecção de estenose mitral. Um grande diferencial é o aplicativo desenvolvido, com linguagem python, que permite o fácil acesso e o fácil manuseio das ferramentas do PDI. Basta instalá-lo no computador. As telas do aplicativo foram desenvolvidas para melhorar a experiência do seu usuário e não exige conhecimento prévio em programação.

O aplicativo desenvolvido é capaz de analisar casos mais complexos, como pacientes com arritmias, pois a seleção automática permite verificar cada imagem do vídeo, destacando a imagem com a máxima abertura valvar. Além disso, quanto mais medições forem realizadas com o aplicativo desenvolvido e comparadas com medições médicas, principalmente com casos diferentes e atípicos,

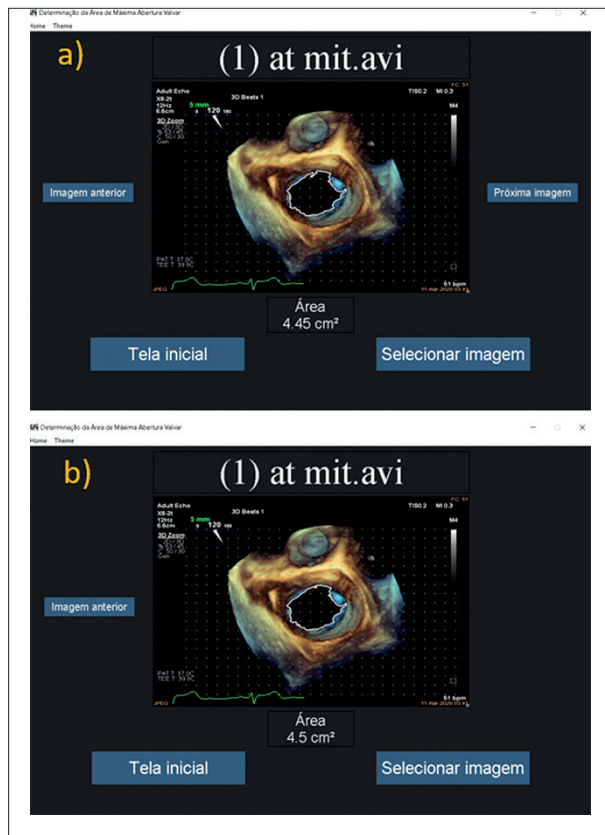


Figura 3 – Resultados exibidos pelo aplicativo desenvolvido. a) Tela inicialmente exibida; b) Tela final, com a imagem de máxima abertura valvar selecionada.

mais ele será testado, o que permite avaliá-lo melhor para sua consolidação.

Essa medição automática possui algumas vantagens quando comparada com a seleção manual, realizada pelos ecocardiografistas, pois o resultado pode ser bastante influenciado pelo momento em que ele pausar o vídeo para a realização da análise. Essa seleção manual exige muito tempo do especialista, tendo em vista que ele deve ser bastante cuidadoso para realizar uma seleção com o mínimo de erro possível e com o máximo de atenção. Considerando um dia lotado de atendimento, a precisão das regiões selecionadas será maior para os primeiros pacientes do dia, diminuindo conforme o cansaço físico e mental do ecocardiografista, além de outros fatores externos que podem influenciar na medição.

Após o levantamento realizado na literatura, não foi encontrado algo semelhante. Porém, um dos grandes esforços dos pesquisadores é garantir a automatização das medidas em exames dependentes do operador para investigação de diversas patologias, com a finalidade de reduzir ou eliminar o erro da seleção manual. Assim, Saine et al. apresentaram uma técnica de detecção automática dos contornos dos átrios e ventrículos esquerdos a partir de ecocardiogramas 2D com o objetivo de determinar a área de dilatações dessas câmaras em pacientes com insuficiência valvar mitral.¹³

Melo et al. desenvolveram um método semiautomático que determina a variação da área ventricular em ecocardiogramas 2D dinâmicos usando técnicas de PDI, como média de tempo, redução de ruído baseada em wavelets, filtragem de aprimoramento de borda, operações morfológicas, modificação de homotopia e segmentação de bacias

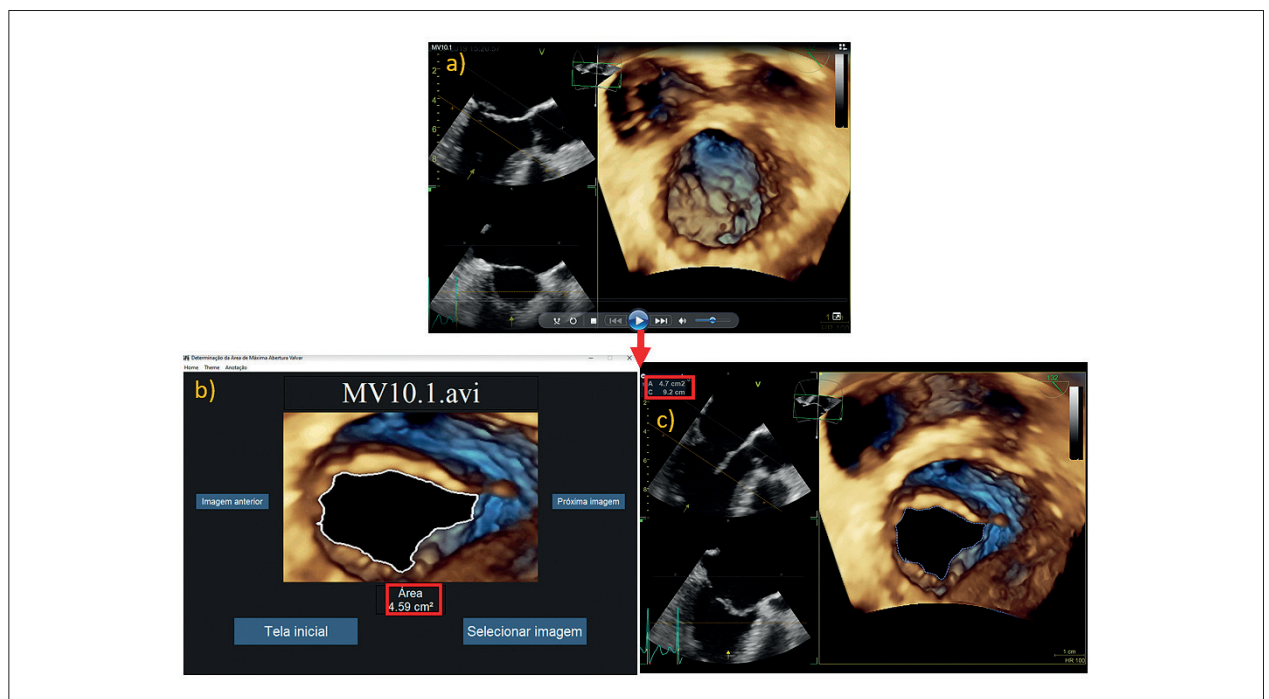


Figura 4 – Comparação entre a medição do aplicativo desenvolvido e a medição, com seleção manual, de um ecocardiografista, por meio de um software específico. a) Vídeo analisado de um caso "normal"; b) Resultado do aplicativo desenvolvido: Área de 4,59 cm²; c) Resultado da medição do ecocardiografista: Área de 4,7 cm².

Artigo Original

hidrográficas. Tal método tornou-se útil para analisar a função ventricular global por medidas de área.¹⁴

Mahadi et al. verificaram o uso de PDI em ecocardiogramas 2D para transformar cortes de exames em um conjunto de pixels e assim determinar a distância de pontos que poderiam medir o diâmetro de uma valva mitral em uma determinada incidência.¹⁵ Aquila et al. apresentaram o uso de uma

ferramenta chamada Siemens eSie Valves na qual foi possível determinar automaticamente uma série de parâmetros do anel valvar mitral como área, diâmetros anteroposteriores e posterolaterais, bem como distância intertrigonal. Logo, este estudo compara alterações anatômicas existentes entre os processos de regurgitação mitral funcional e orgânica a partir da aquisição automática das medidas valvares.¹⁶

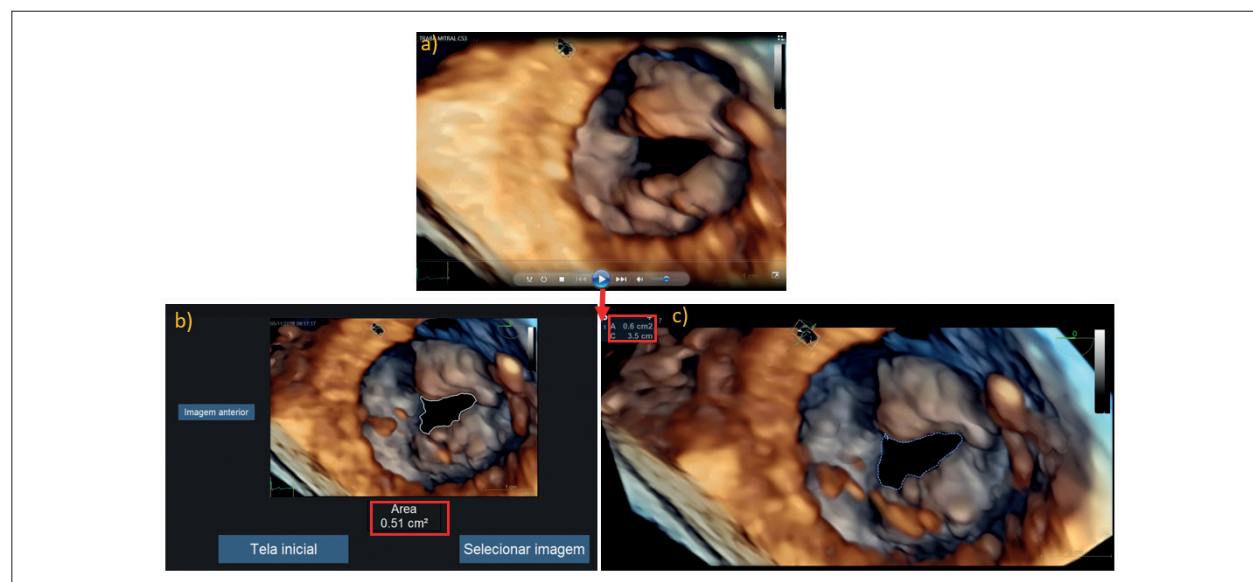


Figura 5 – Comparação entre a medição do aplicativo desenvolvido e a medição, com seleção manual, de um ecocardiografista, por meio de um software específico. a) Vídeo analisado de um caso com estenose; b) Resultado do aplicativo desenvolvido: Área de 0,51 cm²; c) Resultado da medição do ecocardiografista: Área de 0,6 cm².

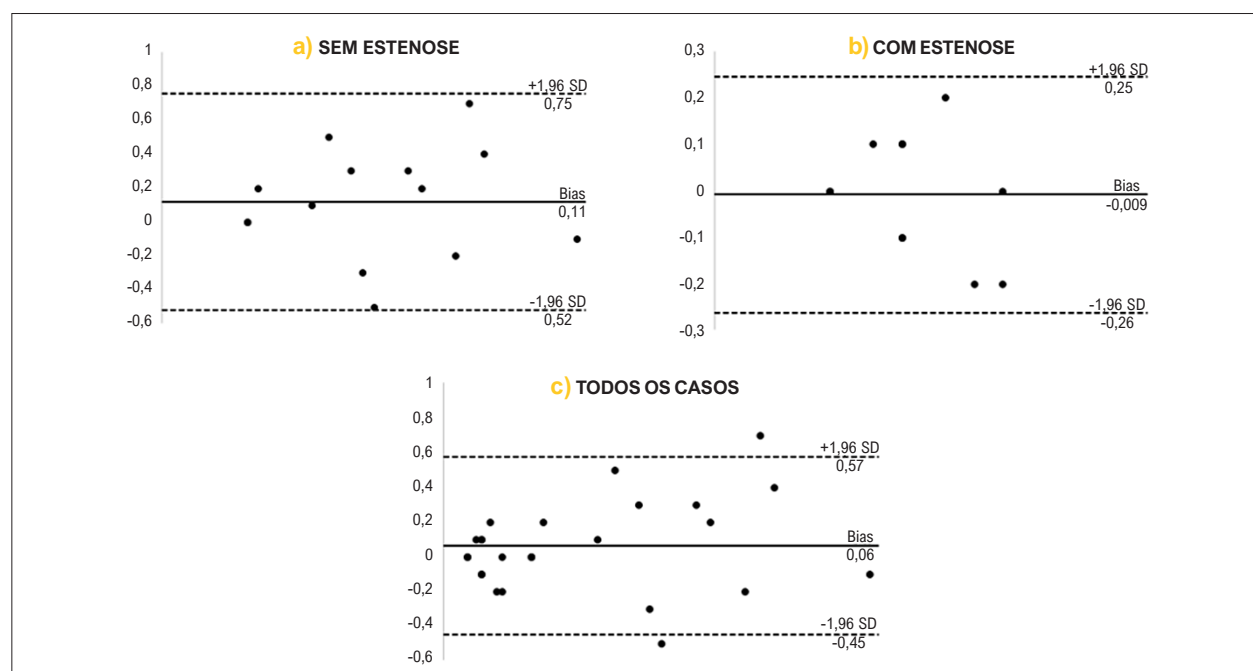


Figura 6 – Método Bland-Altman: a) aplicado apenas para os casos sem estenose; b) aplicado apenas nos casos com estenose; c) aplicado em todos os 25 exames empregados no estudo.

Desse modo, o presente trabalho surge como mais uma ferramenta para combater possíveis erros humanos nas medições de áreas valvares e para contribuir com sua automatização.

Conclusões

Foi possível determinar automaticamente a área de máxima abertura das valvas mitrais, tanto para os casos advindos de ecocardiógrafos da marca GE quanto de ecocardiógrafos da marca Philips, utilizando apenas um vídeo como dado de entrada.

Como o aplicativo escolhe o frame adequado e calcula a área quase que instantaneamente, pode-se concluir, intuitivamente, que ele é mais rápido do que a mensuração manual.

Este trabalho apresenta um potencial interessante por não depender de softwares específicos, tendo uma boa perspectiva na obtenção de medidas de uma forma remota.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa: Barros Filho GF, Soares I, Medeiros EF, de Melo MDT, Rodrigues MC; obtenção de dados: Felix AS, de Melo MDT; análise e interpretação dos dados: Barros Filho GF, Soares I, Medeiros EF, Felix AS, de Melo MDT, Rodrigues MC; análise estatística: Barros Filho GF, Soares I, Medeiros EF; redação do manuscrito: Soares I, Medeiros EF;

revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Almeida ALC, Lima Júnior JC, de Melo MDT, Rodrigues MC.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo foi parcialmente financiado por Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de tese de Doutorado de Genilton de França Barros Filho pela Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética em Experimentação Animal do Colegiado do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - CEP/CCM/UFPB sob o número de protocolo 3.858.742.

Referências

1. Tarasoutchi F, Montera MW, Grinberg M, Piñeiro DJ, Sánchez CR, Bacelar AC, et al. Brazilian Guidelines for Valve Disease - SBC 2011 / I Guideline Inter-American Valve Disease - 2011 SIAC. *Arq Bras Cardiol.* 2011;97(5 Suppl 1):1-67. doi: 10.1590/s0066-782x2011002000001.
2. Andreassen BS, Veronesi F, Gerard O, Solberg AHS, Samset E. Mitral Annulus Segmentation Using Deep Learning in 3-D Transesophageal Echocardiography. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2020;24(4):994-1003. doi: 10.1109/JBHI.2019.2959430.
3. Reardon MJ, van Mieghem NM, Popma JJ, Kleiman NS, Søndergaard L, Mumtaz M, et al. Surgical or Transcatheter Aortic-Valve Replacement in Intermediate-Risk Patients. *N Engl J Med.* 2017;376(14):1321-31. doi: 10.1056/NEJMoa1700456.
4. El Sabbagh A, Eleid MF, Foley TA, Al-Hijji MA, Daly RC, Rihal CS, et al. Direct Transcatheter Implantation of Balloon-Expandable Valve for Mitral Stenosis with Severe Annular Calcifications: Early Experience and Lessons Learned. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018;53(1):162-9. doi: 10.1093/ejcts/ezx262.
5. Mackensen GB, Lee JC, Wang DD, Pearson PJ, Blanke P, Dvir D, et al. Role of Echocardiography in Transcatheter Mitral Valve Replacement in Native Mitral Valves and Mitral Rings. *J Am Soc Echocardiogr.* 2018;31(4):475-90. doi: 10.1016/j.echo.2018.01.011.
6. Ghorbani A, Ouyang D, Abid A, He B, Chen JH, Harrington RA, et al. Deep Learning Interpretation of Echocardiograms. *NPJ Digit Med.* 2020;3:10. doi: 10.1038/s41746-019-0216-8.
7. Gonzalez RC, Woods RE. *Processamento Digital de Imagens.* São Paulo: Pearson Prentice Hall; 2010.
8. Jähne B. *Digital Image Processing.* Heidelberg: Springer; 2005.
9. Sakamiya M, Fang Y, Mo X, Shen J, Zhang T. A Heart-On-A-Chip Platform for Online Monitoring of Contractile Behavior via Digital Image Processing and Piezoelectric Sensing Technique. *Med Eng Phys.* 2020;75:36-44. doi: 10.1016/j.medengphys.2019.10.001.
10. Nizar MHA, Chan CK, Khalil A, Yusof AKM, Lai KW. Real-Time Detection of Aortic Valve in Echocardiography using Convolutional Neural Networks. *Curr Med Imaging.* 2020;16(5):584-91. doi: 10.2174/1573405615666190114151255.
11. Østvik A, Smistad E, Aase SA, Haugen BO, Lovstakken L. Real-Time Standard View Classification in Transthoracic Echocardiography Using Convolutional Neural Networks. *Ultrasound Med Biol.* 2019;45(2):374-84. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.024.
12. Hahn RT, Saric M, Faletta FF, Garg R, Gillam LD, Horton K, et al. Recommended Standards for the Performance of Transesophageal Echocardiographic Screening for Structural Heart Intervention: From the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2022;35(1):1-76. doi: 10.1016/j.echo.2021.07.006.
13. Saini K, Dewal ML, Rohit M. A Fast Region-Based Active Contour Model for Boundary Detection of Echocardiographic Images. *J Digit Imaging.* 2012;25(2):271-8. doi: 10.1007/s10278-011-9408-8.
14. Melo SA Jr, Macchiavello B, Andrade MM, Carvalho JL, Carvalho HS, Vasconcelos DF, et al. Semi-Automatic Algorithm for Construction of the Left Ventricular Area Variation Curve Over a Complete Cardiac Cycle. *Biomed Eng Online.* 2010;9:5. doi: 10.1186/1475-925X-9-5.
15. Mahadi LF, Ibrahim N, Zaluwi MT, Johan MHSM. Feature Detection of Mitral Valve Based on Image Processing Technique: A Review. *J Phy: Conf Ser.* 2019;1372(1):12071. doi: 10.1088/1742-6596/1372/1/012071.
16. Aquila I, Fernández-Golfín C, Rincon LM, González A, García Martín A, Hinojar R, et al. Fully Automated Software for Mitral Annulus Evaluation in Chronic Mitral Regurgitation by 3-Dimensional Transesophageal Echocardiography. *Medicine.* 2016;95(49):e5387. doi: 10.1097/MD.0000000000005387.



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