

Emprego do Ecocardiograma Tridimensional na Análise de Função Ventricular na Doença de Chagas

Use of Three-Dimensional Echocardiography in the Analysis of Ventricular Function in Chagas Disease

Antonio Carlos Leite de Barros-Filho,¹ Minna Moreira Dias Romano¹

Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto,¹ Ribeirão Preto, SP – Brasil

Resumo

A doença de Chagas é reconhecida como um problema de saúde pública global, podendo ocasionar manifestações cardíacas, digestivas e neurológicas. O ecocardiograma é exame complementar fundamental na avaliação de pacientes com acometimento cardíaco, ao avaliar diversos parâmetros de estrutura e função cardíaca. A presente revisão tem como objetivo discorrer sobre o emprego do ecocardiograma tridimensional na análise da função ventricular em pacientes com doença de Chagas.

Introdução

A doença de Chagas (DC), causada pelo protozoário *T. cruzi*, é transmitida principalmente pela via vetorial, através da inoculação na pele de fezes dos triatomídeos previamente infectados, após sugarem o sangue de pessoas ou animais contaminados. Também pode ser transmitida por via oral, por via transplacentária, pela transfusão de sangue e hemoderivados, por transplante de órgãos sólidos ou por acidentes com material biológico.¹⁻³

Estima-se que cerca de 6 a 7 milhões de pessoas no mundo estejam infectadas, principalmente em países da América Latina. No entanto, nos últimos anos, com o avanço do fluxo migratório de áreas rurais para áreas urbanas e de países endêmicos para países não endêmicos, tal patologia tem sido reconhecida como um problema de saúde pública global.³

Sua história natural envolve uma fase aguda, nem sempre sintomática, que pode durar algumas semanas até poucos meses, e uma fase crônica, que pode se manifestar com comprometimento cardíaco, digestivo ou neurológico. O acometimento cardíaco representa a manifestação mais temida, caracterizada por complicações de elevada morbimortalidade como insuficiência cardíaca, arritmias e acidente vascular cerebral.^{1,2,4}

Palavras-chave

Ecocardiografia Tridimensional; Cardiomiopatia Chagásica; Função Ventricular

Correspondência: Antonio Carlos Leite de Barros-Filho •
Universidade de São Paulo, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. Av. Bandeirantes, 3900. CEP: 14049-900. Vila Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP – Brasil
E-mail: acbarros@alumni.usp.br
Artigo recebido em 31/10/2023; revisado em 03/11/2023; aceito em 03/11/2023
Editor responsável pela revisão: Daniela do Carmo Rassi Frota

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20230093>

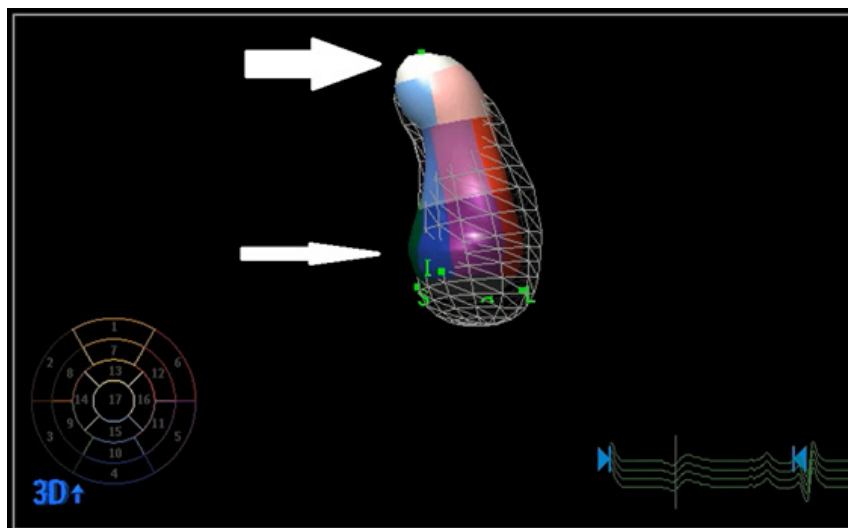
Neste cenário, o ecocardiograma é o exame complementar mais realizado para a avaliação e seguimento dos pacientes com DC ao permitir a análise da estrutura e função cardíacas, a detecção de trombos intracavitários, e a avaliação de acometimento valvar secundário.^{1,5} Nos últimos anos, novas técnicas como a ecocardiografia tridimensional (3D) e a avaliação da deformação miocárdica pelo método de rastreamento de pontos revelaram-se promissoras na avaliação da mecânica cardíaca em diversos cenários clínicos.⁶⁻¹⁴

O objetivo desta revisão é discorrer a respeito do emprego do ecocardiograma 3D na análise da função ventricular em pacientes com DC.

Avaliação da função ventricular esquerda pelo ecocardiograma 3D

Em pacientes com DC, o envolvimento segmentar é marcador de mau prognóstico, o que já foi demonstrado em diversos estudos. As alterações segmentares mais características ocorrem nos segmentos inferiores, inferolaterais e apicais do ventrículo esquerdo (VE).^{4,6,15-17} Tais segmentos nem sempre são adequadamente avaliados por meio do estudo bidimensional (2D), devido ao encurtamento da imagem (que pode excluir da análise os segmentos apicais) ou pela não inclusão dos segmentos na quantificação da função global pelo método de Simpson biplanar (que não engloba os segmentos inferolaterais).⁶ A avaliação da fração de ejeção do VE (FEVE) é um dos principais parâmetros para classificação e estadiamento dos pacientes com DC e desta forma é recomendável o emprego de métodos que apresentem elevada acurácia e reprodutibilidade para a sua estimativa.^{1,5,6}

O ecocardiograma 3D permite o cálculo dos volumes ventriculares, sem a necessidade de estimativa por fórmulas geométricas como ocorre na ecocardiografia 2D.¹³ Além disso, apresenta maior reprodutibilidade e acurácia no cálculo dos volumes em comparação com a ressonância magnética cardíaca, sendo método cada vez mais utilizado em diversas miocardiopatias.^{11,13,18,19} Como vantagens em relação às outras modalidades podemos destacar que é método menos oneroso, não invasivo, com maior portabilidade, não relacionado à exposição à radiação, capaz de obter imagens com menor tempo de aquisição e melhor resolução temporal. No entanto, a ecocardiografia 3D apresenta algumas limitações em comparação com a ecocardiografia 2D relacionadas a custo, disponibilidade, resolução espacial e dificuldades técnicas, particularmente em pacientes que apresentam irregularidade do ritmo cardíaco, como fibrilação atrial.^{10,13,19}

Figura Central: Emprego do Ecocardiograma Tridimensional na Análise de Função Ventricular na Doença de Chagas

Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2023;36(4):e20230093

Renderização 3D de volume do VE em sístole em paciente com DC evidenciando grande conformação aneurismática apical (seta grossa), assim como pequena discinesia septo inferior basal (seta fina). 3D: tridimensional.

Apesar da maior acurácia da ecocardiografia 3D em relação à 2D na análise dos volumes ventriculares e da FEVE em diversos cenários clínicos, a superioridade prognóstica ainda permanece incerta.⁶ Em estudo observacional unicêntrico realizado com 172 pacientes com miocardiopatia dilatada isquêmica e não isquêmica candidatos à terapia com cardiodesfibrilador implantável (CDI), a FEVE 3D se revelou um preditor independente de eventos arrítmicos maiores, sugerindo que a FEVE 3D poderia mudar a decisão de implante de CDI neste cenário, sendo que até 20% dos pacientes poderiam ser reclassificados abaixo do limiar de indicação de implante de CDI quando utilizado o método 3D.²⁰ Em estudo unicêntrico recente com 725 pacientes encaminhados para avaliação ecocardiográfica de rotina, também foi encontrado valor incremental da FEVE 3D em relação à FEVE 2D na predição de desfechos compostos. Além disso, os valores de partição para redução leve, moderada e acentuada da função sistólica do VE por 3D demonstraram maior poder discriminatório para morte cardíaca do que os valores por 2D e a dilatação do VE definida pelo volume 3D apresentou maior associação com mortalidade.²¹

Além da avaliação absoluta dos volumes ventriculares e da FEVE 3D, também é possível obter uma curva volume-tempo correspondente às alterações dinâmicas no volume ventricular esquerdo durante o ciclo cardíaco.²² A análise desta curva permite a avaliação de novos parâmetros não invasivos de performance ventricular, como o fluxo sistólico máximo, o fluxo de pico durante o enchimento ventricular esquerdo precoce e o fluxo de pico durante a contração atrial esquerda.^{23,24} Um estudo transversal recentemente publicado, envolvendo 20 pacientes

com DC e 15 indivíduos saudáveis, teve como objetivo caracterizar tais parâmetros em pacientes com DC. Neste estudo, os pacientes com DC apresentaram fluxo sistólico máximo, fluxo de pico durante o enchimento ventricular esquerdo precoce e fluxo de pico durante a contração atrial semelhantes aos dos pacientes do grupo controle, demonstrando de maneira não invasiva que o aumento do volume diastólico final do VE é o principal mecanismo adaptativo que permite a manutenção do fluxo e do volume ejetado em pacientes com DC e disfunção sistólica ventricular esquerda acentuada.²⁵

Apesar da crescente utilização da ecocardiografia 3D para estimativa dos volumes e da FEVE em diversas patologias, não existem estudos, que sejam do nosso conhecimento, que avaliaram especificamente a superioridade da ecocardiografia 3D em relação à ecocardiografia 2D em pacientes com DC, tanto em relação à capacidade diagnóstica, de classificação em graus de disfunção sistólica ventricular esquerda ou em termos de prognóstico de desfechos cardíacos maiores como arritmias ventriculares ou mortalidade.

Avaliação da função ventricular direita pelo ecocardiograma 3D

Em pacientes com DC, o acometimento do ventrículo direito (VD) pode ocorrer de forma precoce na história natural da doença, ocorrendo em pacientes com a forma indeterminada e digestiva da DC.^{1,5,26-29}

A avaliação do VD pela ecocardiografia 2D apresenta uma série de desafios.^{13,30,31} O VD apresenta uma conformação

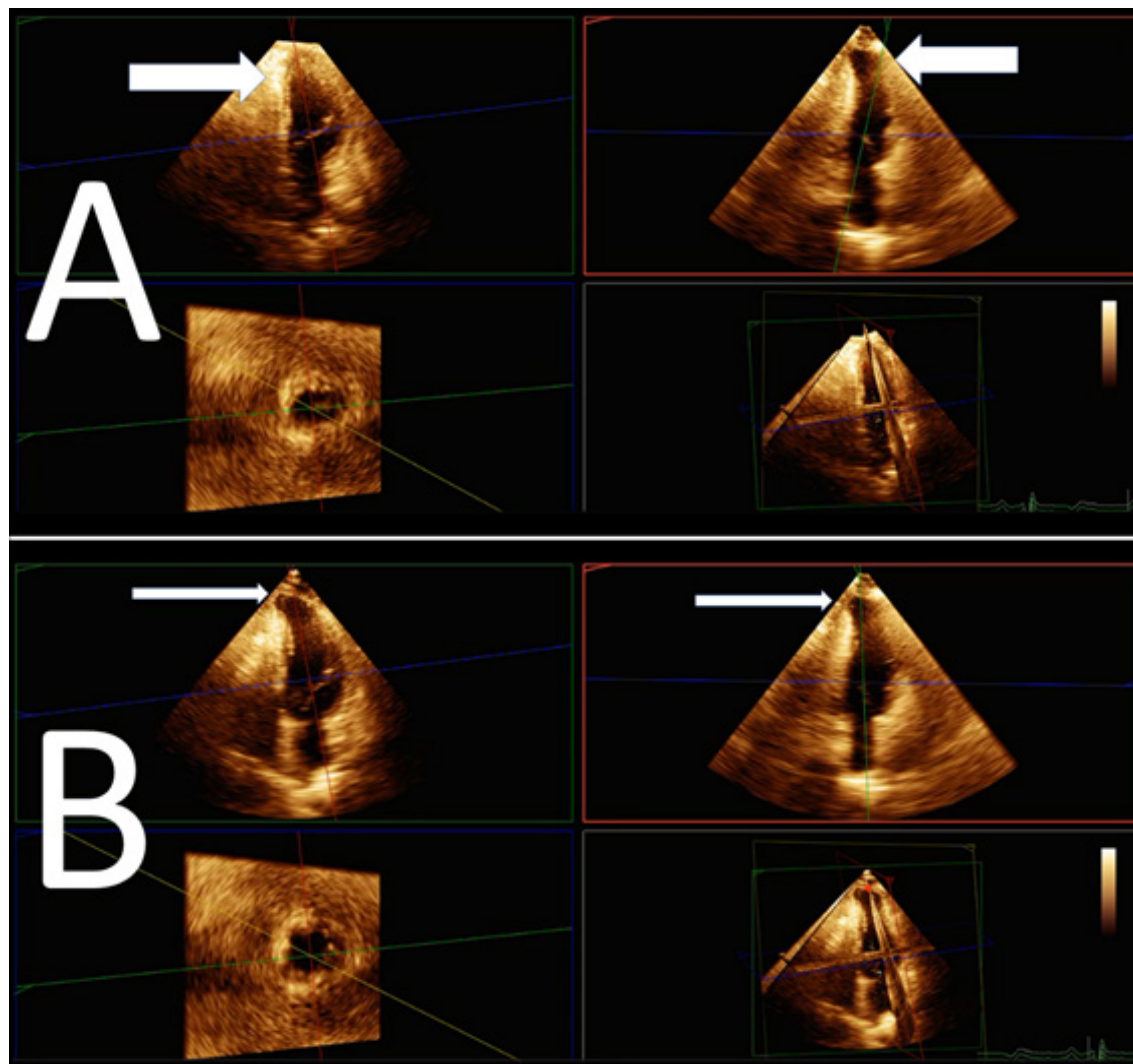


Figura 1 – Imagens multiplanares derivadas da aquisição 3D em paciente com DC. Paine A: nota-se encurtamento do ápice do VE (setas grossas). Neste caso, a avaliação dos volumes ventriculares pode ser imprecisa. Paine B: após ajuste dos planos foi possível a identificação do ápice verdadeiro com a inclusão do grande aneurisma apical na análise dos volumes ventriculares (setas finas).

geométrica mais complexa do que o VE, com pelo menos 6 regiões morfológicas distintas: via de entrada, via de saída, ápice (regiões septal e da parede livre) e corpo (regiões septal e da parede livre).³² Além disso, o VD apresenta outras características que dificultam a sua avaliação pelo método 2D, como parede miocárdica muito delgada, a presença de trabeculações proeminentes e a maior disposição de fibras endocárdicas no sentido longitudinal. Por estes motivos a análise pela ecocardiografia 2D é realizada de maneira integrada, com a obtenção de diversos parâmetros de geometria e função.^{13,30,31,33}

Desta forma, a ecocardiografia 3D tem sido cada vez mais empregada na análise da função sistólica do VD. Por meio de softwares específicos designados para avaliação do VD é possível realizar a avaliação dos volumes e da fração de ejeção

do VD (FEVD) apresentando boa correlação com a ressonância magnética cardíaca.^{12,34,35}

O ecocardiograma 3D também pode ser utilizado na caracterização da geometria ventricular direita, sendo método promissor na avaliação do remodelamento ventricular direito.³² Estudos prévios realizados com pacientes com hipertensão pulmonar e tetralogia de Fallot demonstraram diferenças no remodelamento do VD de acordo com a etiologia da sobrecarga ventricular direita.^{36,37}

Nos últimos anos, alguns estudos demonstraram valor prognóstico adicional da análise da função sistólica do VD com o emprego da ecocardiografia 2D. Nagata *et al.* encontraram elevada acurácia da ecocardiografia 3D em relação à ressonância magnética cardíaca na avaliação dos volumes e da FEVD. Também foi demonstrado que a FEVD 3D

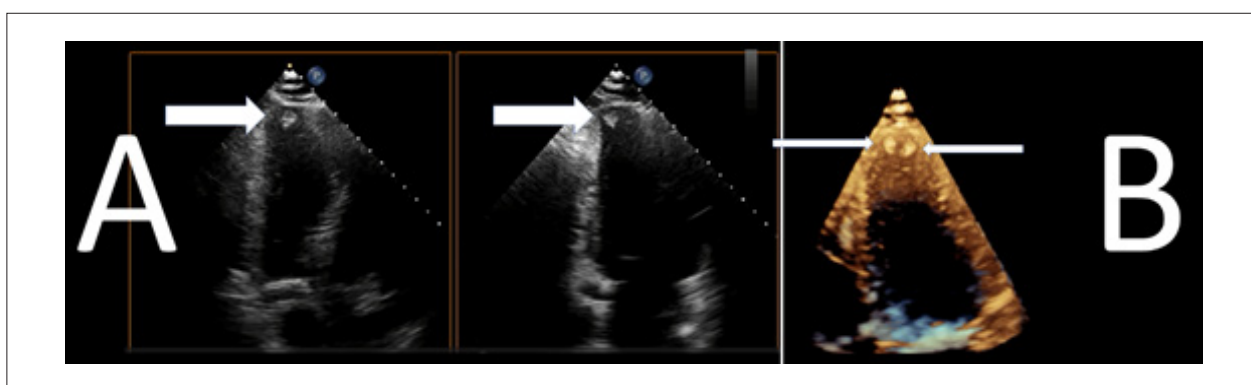


Figura 2 – Avaliação de trombos intracavitários em paciente com DC. Painel A: imagens ortogonais obtidas por meio de avaliação simultânea biplanar. Painel B: imagem 3D evidenciando 2 trombos apicais.

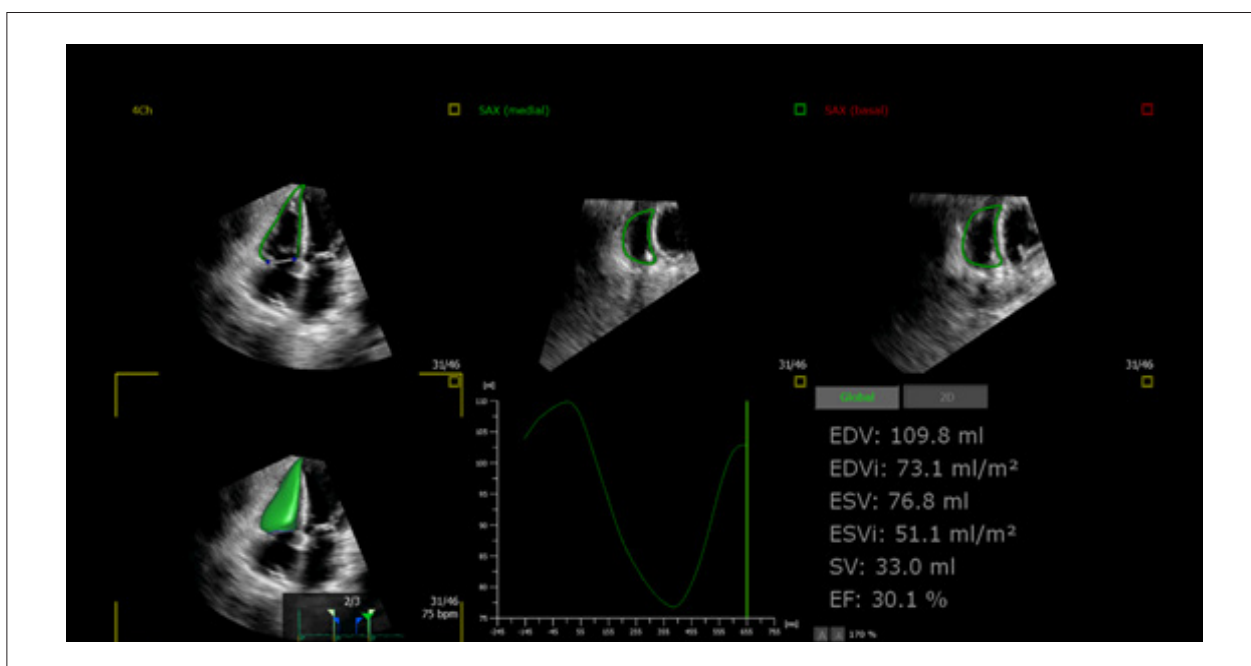


Figura 3 – Avaliação 3D da função do VD em paciente com DC. A FEVD direito foi calculada em 30%. EDV: volume diastólico final; EDVi: volume diastólico final indexado; ESV: volume sistólico final; ESVi: volume sistólico final indexado; SV: volume sistólico; EF: fração de ejeção.

foi independentemente associada com a desfechos cardíacos em diversas etiologias de disfunção ventricular direita.⁶ Surkova *et al.* demonstraram em estudo observacional com 394 pacientes com cardiopatia que a FEVD 3D está associada com mortalidade ($p < 0,0001$).³⁸ Kitano *et al.* publicaram metanálise que demonstrou que a FEVD $< 45\%$ foi associada com pior desfecho cardiovascular, tanto em indivíduos com FEVE normal quanto em indivíduos com FEVE reduzida. No mesmo estudo, a análise de subgrupos revelou que a FEVD apresentou valor prognóstico tanto em pacientes com hipertensão pulmonar quanto em pacientes com doença cardiovascular. A análise proporcional univariada de Cox revelou que a FEVD 3D foi associada tanto à morte cardíaca ($p < 0,0001$) quanto à evento cardiovascular adverso maior ($p < 0,0001$). A FEVD 3D permaneceu como um preditor independente para morte cardíaca ($p < 0,0001$) e evento

cardiovascular adverso maior ($p < 0,0001$), mesmo após análise de risco proporcional multivariada de Cox.³⁹

Apesar das evidências iniciais de valor adicional da ecocardiografia 3D em algumas condições clínicas, até o momento não existem estudos caracterizando as alterações de tamanho, geometria e função do VD por este método em pacientes com DC.

Avaliação da deformação miocárdica 3D

Nos últimos anos a avaliação da mecânica cardíaca pelo método de rastreamento de pontos tem se mostrado ferramenta promissora na avaliação de disfunção miocárdica. Existem diversos estudos demonstrando a capacidade da análise da deformação longitudinal global em prever eventos graves como mortalidade e desfechos compostos.^{40,41}

Artigo de Revisão

Embora já tenha sido demonstrado o papel do rastreamento de pontos em detectar alterações regionais em pacientes com DC mesmo em formas mais sutis, não é possível confirmar que as alterações tenham correlação com a presença de fibrose miocárdica,^{42,43} podendo ser manifestações de deformação alterada ainda antes da substituição fibrótica. Mais recentemente tem sido proposto que a análise da deformação miocárdica 3D apresentaria valor prognóstico adicional, sendo que diversos índices podem ser obtidos por meio desta ferramenta.^{41,44}

Um estudo recente com 72 pacientes com DC buscou caracterizar novas variáveis ecocardiográficas de acordo com a FEVE e avaliar seu papel na predição de desfechos clínicos em pacientes com DC.⁴⁵ Neste estudo, a exequibilidade da realização da deformação 3D do VE foi elevada (91,5% em pacientes com FEVE < 40%; 89,4% em pacientes com FEVE ≥ 40% e < 50%; 88% em pacientes com FEVE ≥ 50%), apesar de inferior à exequibilidade da realização da deformação 2D (99,3%, 98,9% e 100%, respectivamente). Após uma análise de regressão pelo modelo de Cox, os parâmetros derivados da deformação 3D que se revelaram preditores de desfechos compostos (hospitalização por insuficiência cardíaca, arritmias ventriculares complexas, transplante cardíaco e morte) foram a deformação longitudinal global 3D e a deformação da área 3D do VE.⁴⁵ Particularmente, a deformação da área 3D do VE é um índice muito promissor que quantifica a alteração da área endocárdica, integrando deformação longitudinal e circunferencial, permitindo avaliação mais detalhada dos diferentes tipos de fibras miocárdicas e possibilitando melhor compreensão da fisiopatologia das cardiomiopatias.⁴¹ Porém, em estudo recente em pacientes com miocardiopatia isquêmica e não isquêmica não foi encontrado valor incremental da deformação 3D em comparação com a análise da FEVE.⁴⁶

Conclusão

A DC é um problema de saúde pública global que apresenta elevada morbimortalidade, principalmente devido ao

envolvimento cardíaco da doença. Existem diversas vantagens teóricas no emprego do ecocardiograma 3D em pacientes com DC, devido a características intrínsecas ao método e também à patologia. No entanto, em pacientes com DC o valor adicional do ecocardiograma 3D em relação ao 2D ainda precisa ser melhor elucidado, inclusive por meio de estudos que levem em consideração a custo-efetividade do método.

Considerações adicionais

Os dados para esta revisão foram identificados por meio de buscas nas bases de dados das plataformas PubMed, Medline, Lilacs e Scielo, sendo aceitos artigos publicados nos idiomas português, inglês e espanhol.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, obtenção de dados e redação do manuscrito: Barros-Filho ACL; análise e interpretação dos dados e revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Barros-Filho ACL, Romano MMD.

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. Marin-Neto JA, Rassi A Jr, Oliveira GMM, Correia LCL, Ramos NA Jr, Luquetti AO, et al. SBC Guideline on the Diagnosis and Treatment of Patients with Cardiomyopathy of Chagas Disease - 2023. *Arq Bras Cardiol.* 2023;120(6):e20230269. doi: 10.36660/abc.20230269.
2. Nunes MCP, Beaton A, Acquatella H, Bern C, Bolger AF, Echeverría LE, et al. Chagas Cardiomyopathy: an Update of Current Clinical Knowledge and Management: a Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 2018;138(12):e169-209. doi: 10.1161/CIR.0000000000000599.
3. Echeverría LE, Marcus R, Novick G, Sosa-Estani S, Ralston K, Zaidel EJ, et al. WHF IASC Roadmap on Chagas Disease. *Glob Heart.* 2020;15(1):26. doi: 10.5334/gh.484.
4. Moreira HT, Volpe GJ, Mesquita GM, Santos MFB, Pazin-Filho A, Marin-Neto JA, et al. Association of Left Ventricular Abnormalities with Incident Cerebrovascular Events and Sources of Thromboembolism in Patients with Chronic Chagas Cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2022;24(1):52. doi: 10.1186/s12968-022-00885-x.
5. Ralston K, Zaidel E, Acquatella H, Barbosa MM, Narula J, Nakagama Y, et al. WHF Recommendations for the Use of Echocardiography in Chagas Disease. *Glob Heart.* 2023;18(1):27. doi: 10.5334/gh.1207.
6. Nunes MCP, Badano LP, Marin-Neto JA, Edvardsen T, Fernández-Golfín C, Bucciarelli-Ducci C, et al. Multimodality Imaging Evaluation of Chagas Disease: an Expert Consensus of Brazilian Cardiovascular Imaging Department (DIC) and the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI). *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2018;19(4):459-60. doi: 10.1093/ehjci/ehj154.
7. Rassi DC, Vieira ML, Arruda AL, Hotta VT, Furtado RG, Rassi DT, et al. Echocardiographic Parameters and Survival in Chagas Heart Disease with Severe Systolic Dysfunction. *Arq Bras Cardiol.* 2014;102(3):245-52. doi: 10.5935/abc.20140003.
8. Pereira CB Jr, Markman B Filho. Clinical and Echocardiographic Predictors of Mortality in Chagasic Cardiomyopathy--Systematic Review. *Arq Bras Cardiol.* 2014;102(6):602-10. doi: 10.5935/abc.20140068.
9. Amundsen BH, Helle-Valle T, Edvardsen T, Torp H, Crosby J, Lyseggen E, et al. Noninvasive Myocardial Strain Measurement by Speckle Tracking Echocardiography: Validation Against Sonomicrometry and Tagged Magnetic Resonance Imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47(4):789-93. doi: 10.1016/j.jacc.2005.10.040.

10. Qi X, Cogar B, Hsiung MC, Nanda NC, Miller AP, Yelamanchili P, et al. Live/Real Time Three-Dimensional Transthoracic Echocardiographic Assessment of Left Ventricular Volumes, Ejection Fraction, and Mass Compared with Magnetic Resonance Imaging. *Echocardiography*. 2007;24(2):166-73. doi: 10.1111/j.1540-8175.2006.00428.x.
11. Dorosz JL, Lezotte DC, Weitzenkamp DA, Allen LA, Salcedo EE. Performance of 3-Dimensional Echocardiography in Measuring Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction: a Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59(20):1799-808. doi: 10.1016/j.jacc.2012.01.037.
12. Medvedofsky D, Addetia K, Patel AR, Sedlmeier A, Baumann R, Mor-Avi V, et al. Novel Approach to Three-Dimensional Echocardiographic Quantification of Right Ventricular Volumes and Function from Focused Views. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(10):1222-31. doi: 10.1016/j.echo.2015.06.013.
13. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afalalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: an Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(1):1-39.e14. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
14. Marwick TH. Ejection Fraction Pros and Cons: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(19):2360-79. doi: 10.1016/j.jacc.2018.08.2162.
15. Pazin-Filho A, Romano MM, Almeida-Filho OC, Furuta MS, Viviani LF, Schmidt A, et al. Minor Segmental Wall Motion Abnormalities Detected in Patients with Chagas' Disease Have Adverse Prognostic Implications. *Braz J Med Biol Res*. 2006;39(4):483-7. doi: 10.1590/s0100-879x2006000400008.
16. Pazin-Filho A, Romano MM, Furtado RG, Almeida OC Filho, Schmidt A, Marin-Neto JA, et al. Left Ventricular Global Performance and Diastolic Function in Indeterminate and Cardiac Forms of Chagas' Disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20(12):1338-43. doi: 10.1016/j.echo.2007.04.029.
17. Schmidt A, Romano MMD, Marin-Neto JA, Rao-Melacini P, Rassi Jr, Mattos A, et al. Effects of Trypanocidal Treatment on Echocardiographic Parameters in Chagas Cardiomyopathy and Prognostic Value of Wall Motion Score Index: a BENEFIT Trial Echocardiographic Substudy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(2):286-95.e3. doi: 10.1016/j.echo.2018.09.006.
18. Thavendiranathan P, Grant AD, Negishi T, Plana JC, Popović ZB, Marwick TH. Reproducibility of Echocardiographic Techniques for Sequential Assessment of Left Ventricular Ejection Fraction and Volumes: Application to Patients Undergoing Cancer Chemotherapy. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61(1):77-84. doi: 10.1016/j.jacc.2012.09.035.
19. Lancellotti P, Badano LP, Lang RM, Akhaladze N, Athanassopoulos GD, Barone D, et al. Normal Reference Ranges for Echocardiography: Rationale, Study Design, and Methodology (NORRE Study). *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2013;14(4):303-8. doi: 10.1093/ehjci/et008.
20. Rodríguez-Zanella H, Muraru D, Secco E, Boccalini F, Azzolina D, Aruta P, et al. Added Value of 3- Versus 2-Dimensional Echocardiography Left Ventricular Ejection Fraction to Predict Arrhythmic Risk in Patients with Left Ventricular Dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(10):1917-26. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.07.011.
21. Muraru D, Baldea SM, Genovese D, Tomaselli M, Heilbron F, Gavazzoni M, et al. Association of Outcome with Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction Measured with Two- and Three-Dimensional Echocardiography in Patients Referred for Routine, Clinically Indicated Studies. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:1065131. doi: 10.3389/fcvm.2022.1065131.
22. Zeidan Z, Erbel R, Barkhausen J, Hunold P, Bartel T, Buck T. Analysis of Global Systolic and Diastolic Left Ventricular Performance Using Volume-Time Curves by Real-Time Three-Dimensional Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2003;16(1):29-37. doi: 10.1067/mje.2003.40.
23. Nesser HJ, Sugeng L, Corsi C, Weinert L, Niel J, Ebner C, et al. Volumetric Analysis of Regional Left Ventricular Function with Real-Time Three-Dimensional Echocardiography: Validation by Magnetic Resonance and Clinical Utility Testing. *Heart*. 2007;93(5):572-8. doi: 10.1136/hrt.2006.096040.
24. Badano LP, Muraru D, Ciambellotti F, Caravita S, Guida V, Tomaselli M, et al. Assessment of Left Ventricular Diastolic Function by Three-Dimensional Transthoracic Echocardiography. *Echocardiography*. 2020;37(11):1951-6. doi: 10.1111/echo.14782.
25. Pinto AS, Nunes MCP, Rodrigues CA, Oliveira BMR, Medrado Neto JDR, Tan TC, et al. The Volume-Time Curve by Three-Dimensional Echocardiography in Chagas Cardiomyopathy: Insights into the Mechanism of Hemodynamic Adaptations. *Arq Bras Cardiol*. 2022;118(6):1099-105. doi: 10.36660/abc.20201308.
26. Moreira HT, Volpe CJ, Marin-Neto JA, Ambale-Venkatesh B, Nwabuo CC, Trad HS, et al. Evaluation of Right Ventricular Systolic Function in Chagas Disease Using Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017;10(3):e005571. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005571.
27. Marin-Neto JA, Marzullo P, Sousa AC, Marcassa C, Maciel BC, Iazigi N, et al. Radionuclide Angiographic Evidence for Early Predominant Right Ventricular Involvement in Patients with Chagas' Disease. *Can J Cardiol*. 1988;4(5):231-6.
28. Barros MV, Machado FS, Ribeiro AL, Rocha MOC. Detection of Early Right Ventricular Dysfunction in Chagas' Disease Using Doppler Tissue Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2002;15(10 Pt 2):1197-201. doi: 10.1067/mje.2002.122966.
29. Furtado RG, Frota DC, Silva JB, Romano MM, Almeida OC Filho, Schmidt A, et al. Right Ventricular Doppler Echocardiographic Study of Indeterminate form of Chagas Disease. *Arq Bras Cardiol*. 2015;104(3):209-17. doi: 10.5935/abc.20140197.
30. Romano MMD, Moreira HT, Schmidt A, Maciel BC, Marin-Neto JA. Imaging Diagnosis of Right Ventricle Involvement in Chagas Cardiomyopathy. *Biomed Res Int*. 2017;2017:3820191. doi: 10.1155/2017/3820191.
31. Rudski LG, Lai WW, Afalalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: a Report from the American Society of Echocardiography Endorsed by the European Association of Echocardiography, a Registered Branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010;23(7):685-713. doi: 10.1016/j.echo.2010.05.010.
32. Addetia K, Maffessanti F, Muraru D, Singh A, Surkova E, Mor-Avi V, et al. Morphologic Analysis of the Normal Right Ventricle Using Three-Dimensional Echocardiography-Derived Curvature Indices. *J Am Soc Echocardiogr*. 2018;31(5):614-23. doi: 10.1016/j.echo.2017.12.009.
33. Zaidi A, Knight DS, Augustine DX, Harkness A, Oxborough D, Pearce K, et al. Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: a Practical Guideline from the British Society of Echocardiography. *Echo Res Pract*. 2020;7(1):G19-41. doi: 10.1530/ERP-19-0051.
34. Shimada YJ, Shiota M, Siegel RJ, Shiota T. Accuracy of Right Ventricular Volumes and Function Determined by Three-Dimensional Echocardiography in Comparison with Magnetic Resonance Imaging: a Meta-Analysis Study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010;23(9):943-53. doi: 10.1016/j.echo.2010.06.029.
35. Muraru D. 22nd Annual Feigenbaum Lecture: Right Heart, Right Now: the Role of Three-Dimensional Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2022;35(9):893-909. doi: 10.1016/j.echo.2022.05.011.
36. Addetia K, Maffessanti F, Yamat M, Weinert L, Narang A, Freed BH, et al. Three-Dimensional Echocardiography-Based Analysis of Right Ventricular Shape in Pulmonary Arterial Hypertension. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016;17(5):564-75. doi: 10.1093/ehjci/jev171.
37. Bidviene J, Muraru D, Maffessanti F, Ereminiene E, Kovács A, Lakatos B, et al. Regional Shape, Global Function and Mechanics in Right Ventricular Volume and Pressure Overload Conditions: a Three-Dimensional Echocardiography Study. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2021;37(4):1289-99. doi: 10.1007/s10554-020-02117-8.
38. Surkova E, Muraru D, Genovese D, Aruta P, Palermo C, Badano LP. Relative Prognostic Importance of Left and Right Ventricular Ejection Fraction in Patients with Cardiac Diseases. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(11):1407-15.e3. doi: 10.1016/j.echo.2019.06.009.

Artigo de Revisão

39. Kitano T, Nabeshima Y, Nagata Y, Takeuchi M. Prognostic Value of the Right Ventricular Ejection Fraction Using Three-Dimensional Echocardiography: Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2023;18(7):e0287924. doi: 10.1371/journal.pone.0287924.
40. Houard L, Benaets MB, Ravenstein CM, Rousseau MF, Ahn SA, Amzulescu MS, et al. Additional Prognostic Value of 2D Right Ventricular Speckle-Tracking Strain for Prediction of Survival in Heart Failure and Reduced Ejection Fraction: a Comparative Study with Cardiac Magnetic Resonance. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(12):2373-85. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.11.028.
41. Medvedofsky D, Maffessanti F, Weinert L, Tehrani DM, Narang A, Addetia K, et al. 2D and 3D Echocardiography-Derived Indices of Left Ventricular Function and Shape: Relationship with Mortality. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018;11(11):1569-79. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.08.023.
42. Macedo CT, Larocca TF, Noya-Rabelo M, Correia LCL, Moreira MIG, Caldas AC, et al. Assessment of Speckle Tracking Strain Predictive Value for Myocardial Fibrosis in Subjects with Chagas Disease. *Int J Cardiol Heart Vasc*. 2015;8:75-80. doi: 10.1016/j.ijcha.2015.05.007.
43. Romano MMD, Moreira HT, Marin-Neto JA, Baccelli PE, Alenezi F, Klem I, et al. Early Impairment of Myocardial Deformation Assessed by Regional Speckle-Tracking Echocardiography in the Indeterminate Form of Chagas Disease without Fibrosis Detected by Cardiac Magnetic Resonance. *PLoS Negl Trop Dis*. 2020;14(11):e0008795. doi: 10.1371/journal.pntd.0008795.
44. Truong VT, Phan HT, Pham KN, Duong HNH, Ngo TNM, Palmer C, et al. Normal Ranges of Left Ventricular Strain by Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Adults: a Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(12):1586-97.e5. doi: 10.1016/j.echo.2019.07.012.
45. Hotta VT, Abduch MCD, Vieira MLC, Vilela AA, Bocchi EA. Three and Two-Dimensional Cardiac Mechanics by Speckle Tracking are Predictors of Outcomes in Chagas Heart Disease. *Sci Rep*. 2022;12(1):12237. doi: 10.1038/s41598-022-16379-w.
46. Aly MFA, Kleijn SA, van Lenthe JH, Menken-Negroiu RF, Robbers LF, Beek AM, et al. Prediction of Prognosis in Patients with Left Ventricular Dysfunction Using Three-Dimensional Strain Echocardiography and Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Neth Heart J*. 2022;30(12):572-9. doi: 10.1007/s12471-022-01688-6.



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