

Quantificação Semiautomática da Fração de Ejeção e Volumes do Ventrículo Esquerdo ao Ecocardiograma Bidimensional: Comparação com o Ecocardiograma Tridimensional Automático

Semiautomatic Quantification of Left Ventricular Ejection Fraction and Volumes by Two-Dimensional Echocardiography: Comparison with Automatic Three-Dimensional Echocardiography

Rafael Borsoi¹, Miguel Morita Fernandes da Silva¹, Silvio Henrique Barberato¹

Quanta Diagnóstico e Terapia¹ – Curitiba, PR, Brasil.

Resumo

Fundamento: A fração de ejeção do ventrículo esquerdo é um dos parâmetros ecocardiográficos mais utilizados na prática clínica. Sua estimativa pelo método bidimensional manual (método de Simpson) tem reprodutibilidade e acurácia limitadas, e métodos semiautomáticos têm sido propostos. Torna-se necessário comparar o método bidimensional semiautomático com métodos mais acurados de avaliação da fração de ejeção do ventrículo esquerdo, como a medida pela ecocardiografia tridimensional automática.

Objetivo: Comparar as estimativas da fração de ejeção do ventrículo esquerdo e dos volumes diastólico final e sistólico final do ventrículo esquerdo pelo método bidimensional semiautomático com as obtidas pelo método tridimensional automático.

Método: Estudo observacional transversal, com pacientes em ritmo sinusal, fração de ejeção do ventrículo esquerdo >50% e sem cardiopatia estrutural significativa, submetidos ao ecocardiograma transtorácico. Teste *t* de Student, coeficiente de Pearson e análise de Bland-Altman foram usados na análise estatística.

Resultados: Foram incluídos 40 pacientes, sendo: 53% mulheres, 35% hipertensos, 25% dislipidêmicos, 10% diabéticos, 10% tabagistas e 13% com angioplastia prévia. Os valores médios da fração de ejeção do ventrículo esquerdo aos métodos tri e bidimensionais foram $62,1 \pm 5,8\%$ e $61,7 \pm 5,9\%$ ($p = 0,50$), respectivamente. Houve forte correlação da fração de ejeção do ventrículo esquerdo determinada pelos métodos bi e tridimensional ($r = 0,74$; $p < 0,001$), assim como com o volume diastólico final ($r = 0,75$; $p < 0,001$) e o sistólico final ($r = 0,76$; $p < 0,001$). Houve boa concordância entre a fração de ejeção do ventrículo esquerdo bi e tridimensional (diferença média: $-0,39$; intervalo de confiança 95% $-1,7-0,9$).

Conclusão: A fração de ejeção do ventrículo esquerdo estimada pelo método bidimensional semiautomático mostrou boa concordância com o método tridimensional automático. Os achados sugerem que o método bidimensional semiautomático represente uma alternativa confiável para avaliação dos volumes e fração de ejeção do ventrículo esquerdo.

Palavra-chave: Ecocardiografia Doppler; Ecocardiografia Tridimensional; Volume Sistólico; Função Ventricular Esquerda.

Abstract

Background: Left ventricular ejection fraction is one of the most used echocardiographic parameters in clinical practice. Its estimation by two-dimensional manual method (Simpson method) has limited reproducibility and accuracy, and semi-automatic methods have been proposed. It becomes necessary to compare the semiautomatic two-dimensional method with more accurate methods of assessing left ventricular ejection fraction, such as measurement by automatic three-dimensional echocardiography.

Objective: To compare the left ventricular ejection fraction, and left ventricular end-diastolic and end-systolic volumes estimates by the semi-automatic two-dimensional method with those obtained using the automatic three-dimensional method.

Method: Observational cross-sectional study, including patients in sinus rhythm, left ventricular ejection fraction > 50% and without significant structural heart disease, submitted to transthoracic echocardiography. Student's *t* test, Pearson's coefficient and Bland-Altman analysis were

Correspondência: Rafael Borsoi •

R. Alm. Tamandaré, 1000 - Alto da XV, Curitiba - PR, 80045-170

E-mail: rafaelborsoi@yahoo.com.br

Artigo recebido em 9/3/2020; revisado em 26/3/2020; aceito em 17/4/2020

DOI: 10.47593/2675-312X/20203304eabc98



used in the statistical analysis.

Results: Forty patients were included, 53% women, 35% with arterial hypertension, 25% with dyslipidemia, 10% diabetic, 10% smokers and 13% with previous angioplasty. The mean values of left ventricular ejection fraction by three-dimensional and two-dimensional were $62.1 \pm 5.8\%$ and $61.7 \pm 5.9\%$ ($p = 0.50$), respectively. There was a strong correlation between left ventricular ejection fraction determined by two-dimensional and three-dimensional ($r = 0.75$; $p < 0.001$), as well as with left ventricular end-diastolic ($r = 0.75$; $p < 0.001$) and end-systolic ($r = 0.76$; $p < 0.001$). There was good agreement between two-dimensional and three-dimensional left ventricular ejection fraction (mean difference: -0.39 ; 95% confidence interval $-1.7-0.9$).

Conclusion: Left ventricular ejection fraction estimated by the two-dimensional semi-automatic method showed good agreement with the automatic three-dimensional method. The findings suggest the two-dimensional semi-automatic method as a reliable alternative for assessing volumes and left ventricular ejection fraction.

Keywords: Echocardiography, Doppler; Echocardiography, Three-Dimensional; Stroke Volume; Ventricular Function, Left.

Introdução

A avaliação dos volumes e da Fração de Ejeção do Ventrículo Esquerdo (FEVE) é uma das principais utilidades do ecocardiograma transtorácico, sendo fundamental que sejam estimados de forma precisa e reproduzível.¹⁻³ A ecocardiografia Bidimensional (2D), tradicionalmente empregada para esse fim, tem importantes limitações, como a ampla variabilidade intra e interobservador e a obtenção dos volumes ventriculares, por meio de presunções geométricas.^{4,5} A ecocardiografia Tridimensional (3D) permite análises volumétricas e funcionais mais confiáveis do Ventrículo Esquerdo (VE), com maior reprodutibilidade do que o ecocardiograma 2D manual (método de Simpson) e precisão comparável à Ressonância Magnética Cardíaca (RMC).⁶⁻¹¹ Sabe-se que o ecocardiograma 3D se aproxima dos volumes obtidos pela RMC, considerada o padrão-ouro, enquanto o ecocardiograma 2D manual subestima significativamente as medidas do VE.⁷⁻⁹ Nos primeiros anos de utilização do método, as dificuldades para aquisição da imagem e a demora para análise limitaram o uso rotineiro do eco 3D e reduziram a disseminação desse método.¹²⁻¹⁴ Recentemente, melhorias nos métodos de quantificação tornaram sua aplicação mais rápida e simples, facilitando seu uso na prática diária.¹⁵⁻¹⁸ Atualmente, está disponível comercialmente *software* 3D automático HeartModel Philips, capaz de obter os volumes das câmaras cardíacas e a FEVE em aproximadamente 30 segundos, com mínimo treinamento do operador e mantendo forte correlação com a RMC.¹⁹⁻²² Da mesma forma, também evoluíram os métodos de quantificação pelo ecocardiograma 2D, fornecendo de maneira semiautomática os volumes e FEVE, além de outras informações relevantes para prática clínica, como o *strain* longitudinal global (SLG). Entretanto, não encontramos na literatura estudos comparando *softwares* semiautomáticos de quantificação 2D da FEVE com o método ecocardiográfico de maior acurácia comprovada, o 3D.

Este estudo teve como objetivo comparar as estimativas da FEVE e dos Volumes Diastólico (VDF) e Sistólico Finais (VSF) do VE entre o método 2D semiautomático e o método 3D automático.

Métodos

O estudo caracteriza-se por ser observacional e transversal, com população de indivíduos ambulatoriais

encaminhados para realização de ecocardiograma transtorácico por indicação do médico assistente. Foram incluídos no estudo pacientes em ritmo sinusal, com FEVE $> 50\%$, sem cardiopatias estruturais significativas (insuficiência aórtica, mitral ou tricúspide moderada a grave; qualquer grau de estenose valvar; cardiopatia congênita com qualquer grau de repercussão hemodinâmica; derrame pericárdico; alterações da contratilidade segmentar do VE e hipertrofia miocárdica moderada a grave) e com janela acústica torácica de boa qualidade. Após a realização do exame ecocardiográfico padronizado completo, também foram adquiridas imagens bidimensionais e tridimensionais para análise e comparação da FEVE, do VSF e do VDF pelos métodos 3D automático e 2D semiautomático. Os exames foram realizados no equipamento EPIQ 7 (Philips), com transdutor X5. As imagens para avaliação dos volumes e FEVE pelo método 2D semiautomático foram obtidas nas janelas apicais quatro câmaras e duas câmaras. Adicionalmente, o corte apical 3 câmaras foi obtido para cálculo do SLG. Em cada uma das janelas, foram definidos os pontos de referência no anel mitral (septal e lateral, anterior e inferior) e no ápice. A partir desses pontos de referência, o *software* semiautomatizado aCMQ (Philips) detectou os bordos endocárdicos sistólicos e diastólicos do VE, fornecendo as estimativas de FEVE, VSF e VDF (Figura 1). Quando necessário, foram feitos ajustes manuais para otimizar a identificação dos bordos cardíacos.

Para a estimativa dos volumes e da FEVE pelo método 3D automático, foram obtidas imagens na janela apical 4 câmaras durante apneia controlada. Após a aquisição, as imagens foram analisadas pelo *software* HeartModel, que utiliza um algoritmo analítico adaptativo para detectar automaticamente a interface entre os bordos endocárdicos e o sangue. Ao toque de um único botão na tela do equipamento (HM), o programa calcula automaticamente os volumes e a FEVE (Figura 2). Nos casos em que foi necessário, foram feitos ajustes manuais para otimizar a identificação dos bordos endocárdicos.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* Statistical Package for Social Science, versão 22.0.0.0, considerando o valor de $p < 0,05$ para significância estatística. Os resultados são apresentados em média e desvio padrão. Teste *t* de Student (diferenças numéricas), coeficiente de Pearson (correlação) e análise de Bland-Altman (concordância) foram empregados na avaliação estatística.²³

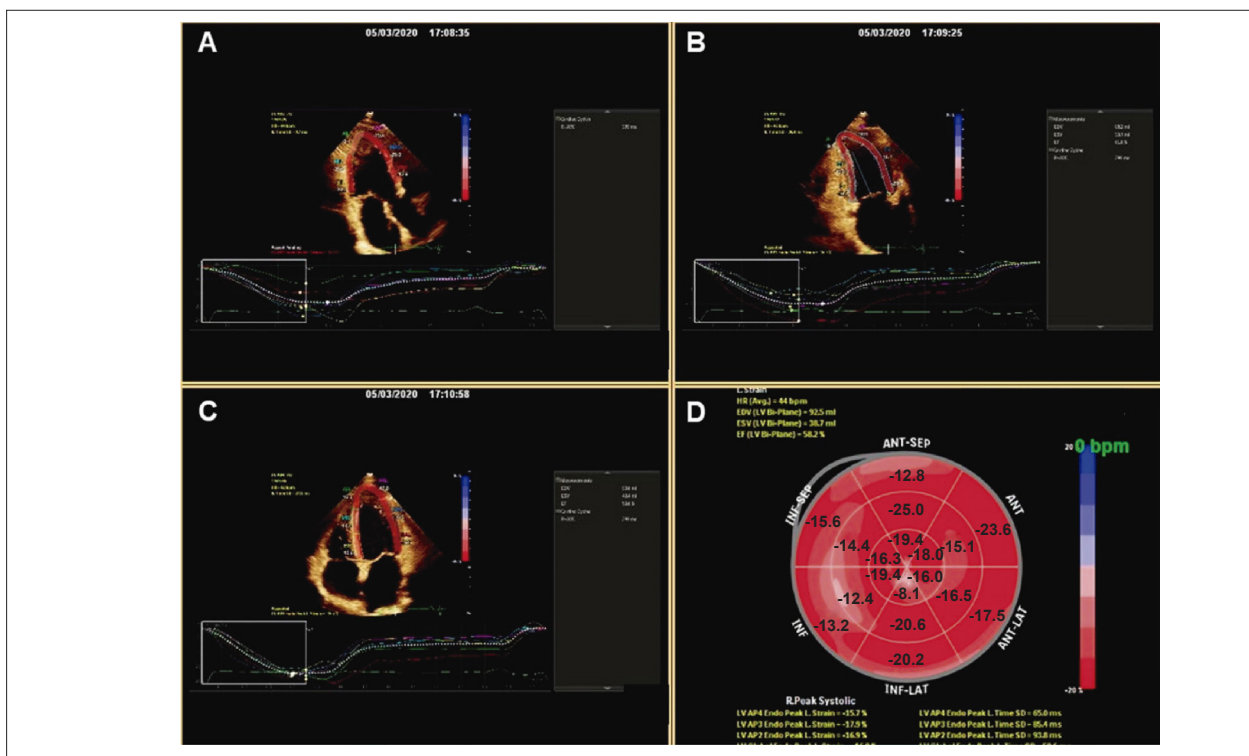
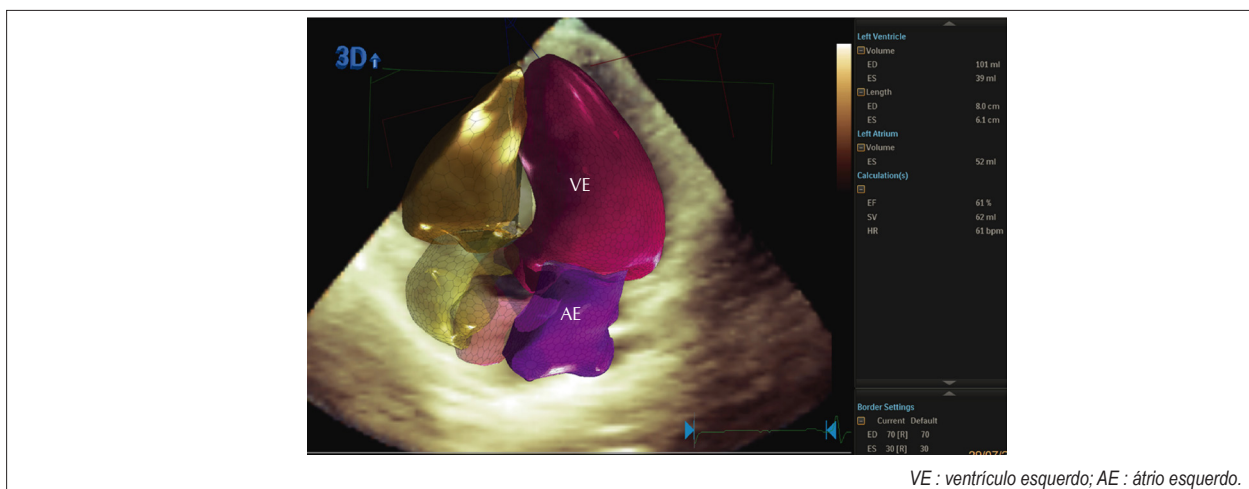


Figura 1 – Estimativa da fração de ejeção do ventrículo esquerdo pelo software aCMQ, a partir do corte apical 2 e 4 câmaras (B e C). Adicionalmente, demonstra-se o corte apical 3 câmaras (A) e o gráfico bullseye com o cálculo do strain longitudinal global (D).



VE : ventrículo esquerdo; AE : átrio esquerdo.

Figura 2 – Exemplo de reconstrução tridimensional pelo HeartModel com a representação do ventrículo esquerdo (VE) e demais câmaras cardíacas. O software calcula automaticamente fração de ejeção do ventrículo esquerdo, volume sistólico final e volume diastólico final.

Resultados

Dos 44 pacientes incluídos no estudo, quatro foram excluídos por falta de dados ou imagens ecocardiográficas inadequadas, resultando em amostra final com 40 pacientes. A idade média foi 58 ± 15 , com índice de massa corporal de 26 ± 3 , sendo 52,5% (n = 21) mulheres, 35% (n = 14) hipertensos, 25% (n = 10) dislipidêmicos, 10% (n = 4) diabéticos, 10% (n = 4) tabagistas e 12,5% (n = 5) com

angioplastia coronária prévia. Essas e outras características clínicas estão representadas na Tabela 1.

Quanto aos parâmetros ecocardiográficos da população estudada, 37,5% (n = 15) apresentavam disfunção diastólica grau I (os demais apresentavam função diastólica normal), 17,5% (n = 7) tinham hipertrofia concêntrica discreta do VE e 10% (n = 4) aumento discreto do AE. O SLG médio foi $18,1 \pm 2,7\%$ (valor absoluto). Os parâmetros ecocardiográficos estão representados na Tabela 2.

Artigo Original

Tabela 1 - Características demográficas e clínicas da população do estudo.

Característica	
Idade, anos	58 ± 15 (28-84)
Sexo feminino	21 (52,5)
IMC	26 ± 3 (19-35)
Betabloqueador	8 (20)
IECA ou BRA	11 (27,5)
ACC	3 (7,5)
Diurético	3 (7,5)
AAS	8 (20)
Estatina	7 (17,5)
HAS	14(35)
Dislipidemia	10(25)
DM	4 (10)
Sedentarismo	5 (12,5)
Tabagismo	4 (10)
História familiar de DAC	3 (7,5)
QT ou RxT	3 (7,5)
DAC prévia	6 (15)
Revascularização prévia	5 (12,5)

Resultados expressos por média ± desvio-padrão ou n (%). IMC: índice de massa corporal; IECA: inibidor da enzima conversora da angiotensina; BRA: bloqueador do receptor da angiotensina; ACC: antagonista dos canais de cálcio; AAS: ácido acetilsalicílico; HAS: hipertensão arterial sistêmica; DM: diabetes melito; DAC: doença arterial coronariana; QT: quimioterapia; RxT: radioterapia.

Tabela 2 - Características ecocardiográficas da população do estudo.

Característica	Média e desvio-padrão
Massa do VE, g/m ²	87 ± 21
Volume do AE, mL/m ²	26 ± 6
Relação E/A	1,1 ± 0,44
Onda e' septal, cm/s	7,2 ± 2,2
Onda e' lateral, cm/s	9,6 ± 2,9
Onda e' média, cm/s	8,4 ± 2,4
Relação E/e' septal	10,9 ± 3,9
Relação E/e' lateral	8,3 ± 2,9
Relação E/e' média	9,7 ± 3,8
SLG, %	18,1 ± 2,7

VE: ventrículo esquerdo; AE: átrio esquerdo; SLG: strain global longitudinal.

Os valores médios de FEVE 3D e 2D foram $62,1 \pm 5,8\%$ e $61,7 \pm 5,9\%$ ($p = 0,50$), respectivamente. Houve forte correlação da FEVE determinada pelo 2D e pelo 3D ($r = 0,74$; $p < 0,001$), assim como com o VDF ($r = 0,75$; $p < 0,001$) e o VSF ($r = 0,76$; $p < 0,001$). Pela análise de Bland-Altman (Figura 3), houve boa concordância entre a estimativa da FEVE ao 2D e ao 3D (diferença média: -0,39; intervalo de confiança de 95% -1,71-0,9; limites de concordância -8,67 a 7,89).

Discussão

A estimativa da função sistólica do VE pela FEVE é uma pedra fundamental da cardiologia moderna, de grande utilidade na prática clínica, e o ecocardiograma transtorácico é o exame

de primeira linha para essa tarefa. Embora o ecocardiograma 3D permita uma análise mais confiável, precisa e reproduzível, o ecocardiograma 2D manual (método de Simpson) ainda é a modalidade mais disponível e utilizada para a estimativa da FEVE. A avaliação do desempenho sistólico do VE pelo ecocardiograma 2D manual baseia-se no traçado dos bordos endocárdicos, tomando-se o cuidado para maximizar as áreas e evitar que os volumes do VE sejam subestimados.^{11,24} Por outro lado, na avaliação pelo ecocardiograma 3D, a redução volumétrica do VE é menos relevante, pois o método não está baseado em suposições geométricas.⁹⁻¹¹ Nos pacientes com boa qualidade de imagem, a precisão do 3D é comparável à RMC, com tendência a obter volumes ligeiramente menores.^{6,7} Em nosso estudo, a boa concordância encontrada entre o método 2D semiautomático e o método 3D automático sugere que o ecocardiograma 2D semiautomático pode representar alternativa confiável para avaliação dos volumes e FEVE. O viés calculado foi baixo na análise de Bland-Altman, ou seja, as diferenças encontradas entre os métodos parecem ser aceitáveis do ponto de vista clínico. Não encontramos na literatura estudo prévio comparando o 2D semiautomático com o 3D automático.

No que diz respeito à aplicabilidade prática e ao tempo de processamento, o ecocardiograma 2D semiautomático demonstrou bom desempenho. Em um passado recente, a ampla aplicação do ecocardiograma 3D tradicional foi limitada pelas dificuldades de aquisição das imagens e pela demora na análise,¹²⁻¹⁴ além de sua restrita disponibilidade. Embora nosso estudo não tenha avaliado especificamente o tempo de aquisição e processamento, observou-se, previamente, que a avaliação pelo método 2D semiautomático tende a ser mais rápida que a dos métodos 2D manual e 3D tradicional, o que permite que ele seja inserido na rotina do ecocardiograma padrão.^{11,13}

Do ponto de vista econômico, o ecocardiograma 2D semiautomático apresenta-se como opção mais acessível, tendo em vista que os equipamentos com tecnologia 3D, em função da maior complexidade dos seus componentes (transdutores e softwares), ainda têm custos mais elevados. Como desvantagens da utilização do 2D semiautomático, podemos citar janela ecocardiográfica inadequada ou determinados tipos de alterações cardíacas estruturais, em que pode ocorrer reconhecimento incorreto dos bordos endocárdicos e da junção atrioventricular. Ajustes manuais para otimizar a identificação dos bordos podem ser realizados, porém demandam maior tempo de análise. Da mesma forma, arritmias ou traçados eletrocardiográficos inadequados podem prejudicar a identificação dos quadros sistólico e/ou diastólico final, fornecendo estimativas imprecisas ou incorretas. Por outro lado, essas mesmas dificuldades técnicas são observadas no ecocardiograma 3D automático, sendo, portanto, limitações comuns aos dois métodos.²³ Para minimizar essas dificuldades, neste estudo foram incluídos apenas pacientes com janela acústica torácica adequada, ritmo cardíaco regular e sem alterações estruturais cardíacas significativas. As perspectivas apontam para o desenvolvimento e a otimização dos softwares e plataformas automáticas para cálculos volumétricos e funcionais das câmaras cardíacas. A evolução dessas plataformas deve permitir a realização de medidas ainda mais ágeis e precisas, inclusive nas situações em que atualmente existem limitações.

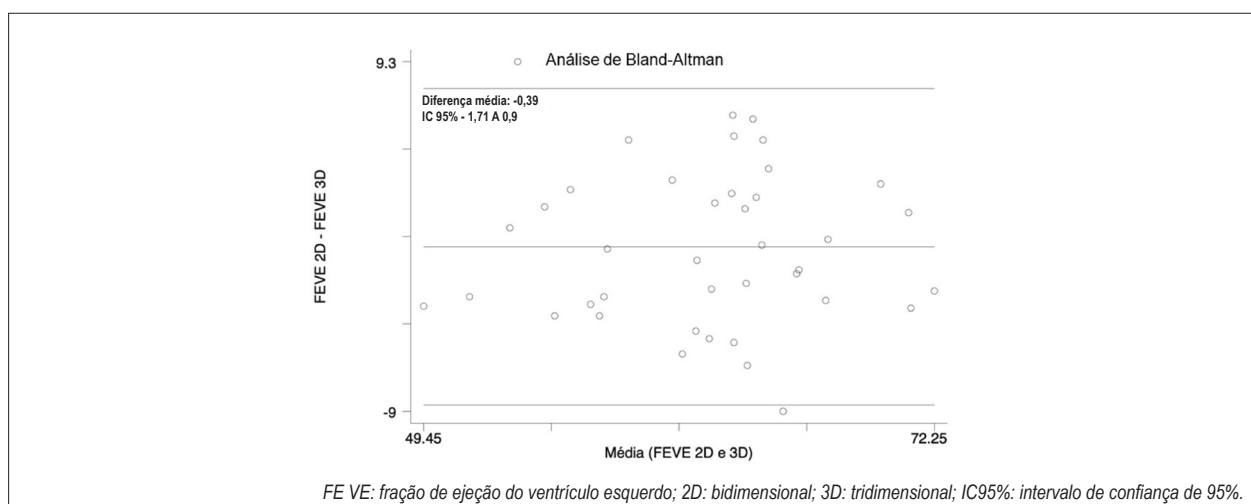


Figura 3 – Análise de Bland-Altman entre a fração de ejeção do ventrículo esquerdo do bi e tridimensional.

As limitações do nosso estudo incluem a amostra relativamente pequena, a ausência da aferição simultânea pelos métodos tradicionais não automáticos (2D manual e 3D semiautomático) e a falta de estimativa da variabilidade intra e interobservador. Além disso, os achados não podem ser estendidos para indivíduos com arritmias, disfunção sistólica do VE (FE < 50%) e/ou cardiopatias estruturais de grau moderado a grave.

Conclusão

De forma inédita, demonstramos boa concordância da fração de ejeção do ventrículo esquerdo e dos volumes ventriculares estimados pelo método bidimensional semiautomático com o método tridimensional automático em indivíduos sem arritmias e/ou cardiopatia estrutural significativa. A ecocardiografia transtorácica bidimensional

com software de quantificação automática mostrou-se confiável para medir os volumes ventriculares e a fração de ejeção do ventrículo esquerdo neste grupo de indivíduos.

Conflito de interesses

Os autores declaram não terem conflitos de interesse.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Borsoi R, Barberato SH; Obtenção de dados: Borsoi R, Barberato SH; Análise e interpretação dos dados: Borsoi R, Barberato SH, Silva MMF; Análise estatística: Barberato SH, Silva MMF; Redação do manuscrito: Borsoi R, Barberato SH, Silva MMF; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Borsoi R, Barberato SH, Silva MMF.

Referências

1. Wong M, Johnson G, Shabetai R, Hughes V, Bhat G, Lopez B, et al. Echocardiographic variables as prognostic indicators and therapeutic monitors in chronic congestive heart failure. Veterans Affairs cooperative studies V-HeFT I and II. V-HeFT VA Cooperative Studies Group. *Circulation*. 1993;87(6 Suppl):VI65-70. PMID: 8500242.
2. Kaufmann BA, Min SY, Goetschalckx K, Bernheim AM, Buser PT, Pfisterer ME, et al. How reliable are left ventricular ejection fraction cut offs assessed by echocardiography for clinical decision making in patients with heart failure? *Int J Cardiovasc Imaging*. 2013;29(3):581-8. doi: 10.1007/s10554-012-0122-5
3. Cameli M, Mondillo S, Solari M, Righini FM, Andrei V, Contaldi C, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function: from ejection fraction to torsion. *Heart Fail Rev*. 2016;21(1):77-94. doi: 10.1007/s10741-015-9521-8
4. Jacobs LD, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Bardo D, et al. Rapid online quantification of left ventricular volume from real-time threedimensional echocardiographic data. *Eur Heart J*. 2006;27(4):460-8. doi: 10.1093/eurheartj/ehi666
5. Hoffmann R, Barletta G, von Bardeleben S, Vanoverschelde JL, Kasprzak J, Greis C, et al. Analysis of left ventricular volumes and function: a multicenter comparison of cardiac magnetic resonance imaging, cine ventriculography, and unenhanced and contrast-enhanced two-dimensional and three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(3):292-301. doi: 10.1016/j.echo.2013.12.005
6. Jenkins C, Bricknell K, Hanekom L, Marwick TH. Reproducibility and accuracy of echocardiographic measurements of left ventricular parameters using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2004;44(4):878-86. doi: 10.1016/j.jacc.2004.05.050
7. Kühl HP, Schreckenber M, Rulands D, Katoh M, Schafer W, Schummers G, et al. High-resolution transthoracic real-time three-dimensional echocardiography: quantitation of cardiac volumes and function using semi-automatic border detection and comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43(11):2083-90. doi: 10.1016/j.jacc.2004.01.037
8. Caiani EG, Corsi C, Zamorano J, Sugeng L, MacEneaney P, Weinert L, et al. Improved semi-automated quantification of left ventricular volumes and ejection fraction using 3-dimensional echocardiography with a full matrix-array transducer: comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18:779-88.
9. Mor-Avi V, Jenkins C, Kuhl HP, Nesser HJ, Marwick T, Franke A, et al. Real-

- time 3-dimensional echocardiographic quantification of left ventricular volumes: multicenter study for validation with magnetic resonance imaging and investigation of sources of error. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008;1(4):413-23. doi: 10.1016/j.jcmg.2008.02.009
10. Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, Faletra FF, Franke A, Hung J, de Isla LP, Kamp O, Kasprzak JD, Lancellotti P, Marwick TH, McCulloch ML, Monaghan MJ, Nihoyannopoulos P, Pandian NG, Pellikka PA, Pepi M, Roberson DA, Shernan SK, Shirali GS, Sugeng L, Ten Cate FJ, Vannan MA, Zamorano JL, Zoghbi WA; American Society of Echocardiography; European Association of Echocardiography. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25(1):3-46. doi: 10.1016/j.echo.2011.11.010
 11. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo 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
 12. Pepi M, Tamborini G, Pontone G, Andreini D, Berna G, De Vita S, et al. Initial experience with a new on-line transthoracic three-dimensional technique: assessment of feasibility and of diagnostic potential. *Ital Heart J*. 2003;4(8):544-50.
 13. Soliman OI, Krenning BJ, Geleijnse ML, Nemes A, van Geuns RJ, Baks T, et al. A comparison between QLAB and TomTec full volume reconstruction for real time three-dimensional echocardiographic quantification of left ventricular volumes. *Echocardiography*. 2007;24(9):967-74.
 14. Tsang W, Kenny C, Adhya S, Kapetanakis S, Weinert L, Lang RM, et al. Interinstitutional measurements of left ventricular volumes, speckle tracking strain, and dyssynchrony using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26(11):1253-7. doi: 10.1016/j.echo.2013.07.023
 15. Muraru D, Badano LP, Piccoli G, Gianfagna P, Del Mestre L, Ermacora D, et al. Validation of a novel automated border-detection algorithm for rapid and accurate quantitation of left ventricular volumes based on three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 2010;11(4):359-68. doi: 10.1093/ejehocardiography/ep217
 16. Thavendiranathan P, Liu S, Verhaert D, Calleja A, Nitinunu A, Van Houten T, et al. Feasibility, accuracy, and reproducibility of real-time full-volume 3D transthoracic echocardiography to measure LV volumes and systolic function: a fully automated endocardial contouring algorithm in sinus rhythm and atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol Img*. 2012;5(3):239-51. doi: 10.1016/j.jcmg.2011.12.012
 17. Shibayama K, Watanabe H, Iguchi N, Sasaki S, Mahara K, Umemura J, et al. Evaluation of automated measurement of left ventricular volume by novel real-time 3-dimensional echocardiographic system: validation with cardiac magnetic resonance imaging and 2-dimensional echocardiography. *J Cardiol*. 2013;61(4):281-8. doi: 10.1016/j.jjcc.2012.11.005
 18. Zhang QB, Sun JP, Gao RF, Lee AP, Feng YL, Liu XR, et al. Feasibility of single-beat full-volume capture real-time three-dimensional echocardiography for quantification of right ventricular volume: validation by cardiac magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol*. 2013;168(4):3991-5. doi: 10.1016/j.ijcard.2013.06.088
 19. Tsang W, Salgo IS, Medvedofsky D, Takeuchi M, Prater D, Weinert L, et al. Transthoracic 3D echocardiographic left heart chamber quantification using an automated adaptive analytics algorithm. *J Am Coll Cardiol Img*. 2016;9(7):769-82. doi: 10.1016/j.jcmg.2015.12.020
 20. Otani K, Nakazono A, Salgo IS, Lang RM, Takeuchi M. Three-dimensional echocardiographic assessment of left heart chamber size and function with fully automated quantification software in patients with atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(10):955-65. doi: 10.1016/j.echo.2016.06.010
 21. Medvedofsky D, Mor-Avi V, Amzulescu M, Fernández-Golfín C, Hinojar R, Monaghan MJ, et al. Three-dimensional echocardiographic quantification of the left-heart chambers using an automated adaptive analytics algorithm: multicentre validation study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(1):47-58. doi: 10.1093/ehjci/jew328
 22. Tamborini G, Piazzese C, Lang RM, Muratori M, Chiorino E, Mapelli M. Feasibility and accuracy of automated software for transthoracic three-dimensional left ventricular volume and function analysis: comparisons with two-dimensional echocardiography, three-dimensional transthoracic manual method, and cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2017;30(11):1049-58. doi: 10.1016/j.echo.2017.06.026
 23. Bland JM, Altman DG. Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-10.
 24. Knackstedt C, Bekkers SC, Schummers G, Schreckenber M, Muraru D, Badano LP, et al. Fully automated versus standard tracking of left ventricular ejection fraction and longitudinal strain the FAST-EFs multicenter study. *J Am Coll Cardiol*. 2015 Sep 29;66(13):1456-66. doi: 10.1016/j.jacc.2015.07.052