

Como Fazer a Avaliação do Strain do Ventrículo Direito

My Approach to Assessing Right Ventricular Strain

Marcela Momesso^{1,2,3}, Cintia Galhardo Tressino^{1,2}, Rodrigo Bellio de Mattos Barretto^{1,2}, David Le Bihan^{1,2,4}

Grupo DASA,¹ São Paulo, SP; Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia,² São Paulo, SP; Hospital Sírio Libanês,³ São Paulo, SP; Hospital do Rim e Hipertensão, Universidade Federal de São Paulo,⁴ São Paulo, SP, Brasil.

A disfunção sistólica do Ventrículo Direito (VD) é um preditor independente de morbimortalidade em pacientes com hipertensão pulmonar,¹ insuficiência cardíaca² e doença arterial coronariana.³ Por esse motivo, a análise da função ventricular direita é de fundamental importância para a prática clínica.

O ecocardiograma é um método de fácil acesso, não invasivo, rápido e capaz de realizar análise da função ventricular direita com precisão. Apesar das limitações relacionadas à geometria complexa dessa cavidade, novos parâmetros surgiram nesse contexto, como tentativa de melhorar a acurácia diagnóstica.

A Excursão Sistólica do Plano do Anel Tricúspide (TAPSE) e a velocidade de excursão sistólica do anel lateral da tricúspide (S') são rotineiramente utilizadas para a avaliação da função sistólica do VD, devido à sua simplicidade, à reprodutibilidade e ao valor prognóstico em populações com insuficiência cardíaca e outras doenças cardiovasculares. Porém, esses métodos apresentam limitações, como sofrem variações de acordo com carga pressórica e volumétrica, avaliam apenas um segmento do VD (não levando em consideração as diferenças regionais da função) e são ângulo-dependentes.⁴ Outras técnicas de análise, incluindo a Fração de Encurtamento da Área (FAC) e índice de Tei, têm valor prognóstico estabelecido na literatura. No entanto, a FAC apresenta pouca reprodutibilidade interobservador, e o índice de Tei não pode ser utilizado em situações de aumento de pressão do átrio direito.⁴

O *strain* do VD supera algumas dessas limitações. A deformação longitudinal sistólica bidimensional, calculada usando ecocardiograma com rastreamento de pontos (*speckle tracking*), surgiu como medida viável e reprodutível da função sistólica do VD. O *strain* fornece um método de avaliação da função contrátil que corrige erros de translação, sendo menos dependente do ângulo do plano de imagem.⁵ Diversos trabalhos na literatura consolidam seu uso tanto para diagnóstico quanto prognóstico, principalmente em pacientes com insuficiência cardíaca,⁶⁻⁸ hipertensão pulmonar,⁹⁻¹² cardiopatia isquêmica,¹³ cardiopatias infiltrativas^{14,15} e nas valvopatias.^{16,17}

Para realização do *strain* do VD pelo método bidimensional,

é necessário adquirir uma janela apical quatro câmaras direcionada para o VD, otimizando ganho e profundidade, com taxas de quadros por segundo elevada (entre 40 e 80 quadros/segundo) e filmes com pelo menos três batimentos cardíacos. Os pacientes devem estar preferencialmente em apneia e com bom traçado de eletrocardiograma.¹⁸

A janela apical direcionada para o VD é obtida por meio do deslocamento lateral do transdutor da posição apical convencional, juntamente da rotação do transdutor (Figura 1A), a fim de posicionar o ápice do ventrículo esquerdo no centro do setor (evitando seu encurtamento) e exibir simultaneamente o maior diâmetro basal, eixo longo e toda a parede livre do VD (Figura 1B).

Estudo publicado por Genovese et al. demonstrou que os parâmetros do *strain* do VD realizados pela janela apical quatro câmaras direcionada foram mais reprodutíveis do que os encontrados pela janela apical quatro câmaras convencional e reforçam seu uso na prática clínica.¹⁹

Os *softwares* utilizados para medida do *strain* do VD foram criados originalmente para avaliação da função sistólica do ventrículo esquerdo e, posteriormente, adaptados para o VD. Atualmente, empresas vêm desenvolvendo *softwares* específicos. A análise geralmente é realizada na estação de trabalho, de forma *off-line*.

De forma semelhante ao ventrículo esquerdo, a Região de Interesse (ROI) do VD é definida pelas bordas endocárdica (contorno interno do miocárdio) e a epicárdica (contorno externo do miocárdio) ou, no caso do septo interventricular, o contorno endocárdico do lado esquerdo do septo. O traçado deve ser iniciado marcando-se o anel tricúspide lateral, o anel medial e o ápice. A ROI é gerada automaticamente após essas marcações e pode ser ajustada pelo examinador. O usuário deve observar se a movimentação da ROI acompanha o movimento da parede. Cuidado deve ser tomado para evitar a inclusão do pericárdio e de pontos de referência abaixo do anel tricúspide ou no interior do átrio direito, pois resultarão em subestimação dos valores de *strain*.^{5,20} Devido à parede fina do VD, recomenda-se que a ROI tenha uma largura padrão de 5 mm.²⁰ Além de observar o rastreamento dos pontos, a fim de verificar sua qualidade, devem-se analisar também as curvas derivadas do mesmo (Figura 2).

Com taxa de quadros adequada (ovoide vermelho) e marcar o tempo de fechamento da valva pulmonar (PVC, figura B). Posteriormente, marcam-se pontos no anel tricúspide septal e lateral, bem como no ápice do ventrículo direito, observando o tamanho adequado da região de interesse e se há o acompanhamento do movimento ventricular, indicando rastreamento adequado (C e D). Por fim, excluem-se as curvas septais, para análise apenas do SLG-PL (E e F).

Palavras-chave

Disfunção Ventricular Direita; *Strain*; Ecocardiografia.

Correspondência: David Le Bihan •

Avenida Doutor Dante Pazzanese, 500 – Vila Mariana – CEP: 04012-909 – São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: davidbihan@uol.com.br

Artigo recebido em 12/7/2020; revisado em 15/7/2020; aceito em 20/7/2020

DOI: 10.47593/2675-312X/20203304ecom14



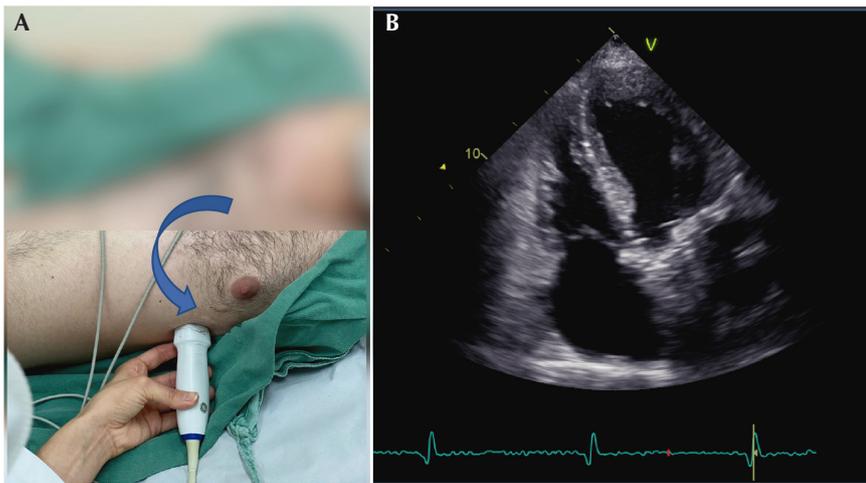


Figura 1 – Deslocamento lateral do transdutor da posição apical convencional. (B) Exemplo de imagem na janela apical direcionada para o ventrículo direito (incluindo o maior diâmetro basal, eixo longo e toda a parede livre do ventrículo direito).

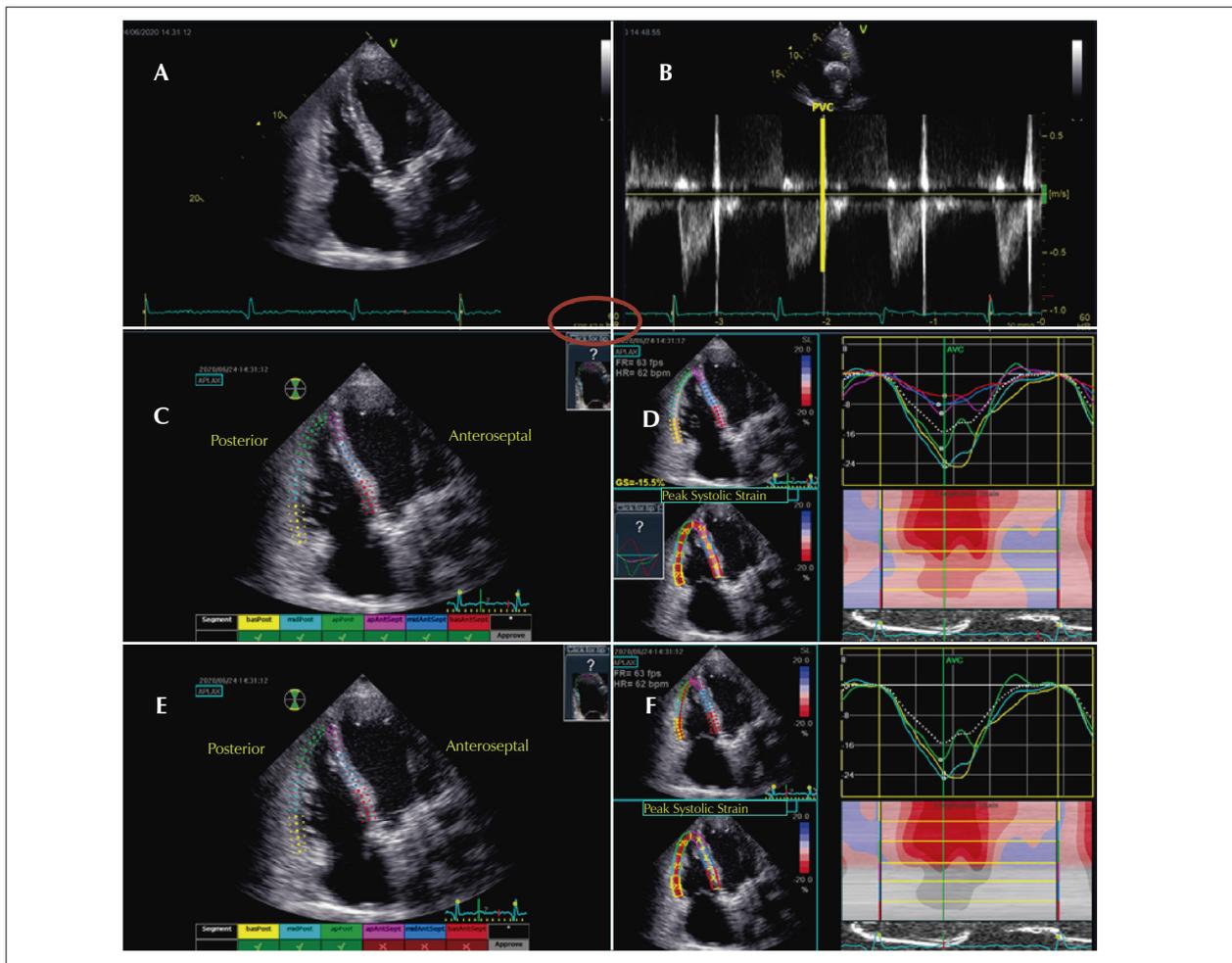


Figura 2 – Para obtenção do strain do ventrículo direito, o primeiro passo é adquirir uma imagem apical direcionada (A), com taxa de quadros adequada (ovoide vermelho) e marcar o tempo de fechamento da valva pulmonar (PVC, figura B). Posteriormente, marcam-se pontos no anel tricúspide septal e lateral, bem como no ápice do ventrículo direito, observando o tamanho adequado da região de interesse e se há o acompanhamento do movimento ventricular, indicando rastreamento adequado (C e D). Por fim, excluem-se as curvas septais, para análise apenas do SLG-PL (E e F).

A maioria dos estudos que avaliaram o *strain* do VD utilizou o *strain* longitudinal, definido como *strain* na direção tangencial à borda endocárdica do VD na janela apical. O *strain* radial do VD não é muito acurado, devido à parede fina encontrada neste ventrículo, e seu uso não é recomendado na literatura.²⁰

Para o cálculo do *strain* do VD, podem-se analisar os seis segmentos, incluindo o septo interventricular, obtendo o chamado *Strain* Global Longitudinal (SGL-VD), ou fazer uma média aritmética dos valores de *strain* dos três segmentos da parede livre (segmentos basal, médio e apical) e obter o *Strain* Longitudinal da Parede Livre do VD (SLPL-VD). Os valores absolutos do SGL-VD são menores que o SPL-VD.^{21,22} O septo interventricular é constituído principalmente por fibras do ventrículo esquerdo, embora também contribua para o desempenho sistólico do VD em menor magnitude.²¹ Nesse sentido, a maioria dos estudos mostraram valor prognóstico mais robusto do SPL-VD.^{23,24} A fim de melhor padronização, a literatura recomenda a utilização desse método, embora o *strain* global longitudinal também possa ser uma opção.²⁰ Como os dois métodos trazem resultados diferentes, faz-se necessário colocar no laudo qual o parâmetro foi utilizado. Mesmo quando o objetivo é a obtenção apenas do SPL-VD, recomendam-se rastrear inicialmente os seis segmentos (parede livre e septo interventricular), uma vez que os algoritmos reconhecem melhor o verdadeiro segmento apical do VD dessa forma.⁵

Da mesma forma que para o cálculo do *strain* do ventrículo esquerdo, as curvas do *strain* do VD podem gerar quatro valores, mas apenas o *strain* de pico sistólico (ou seja, o maior valor de deformação durante a sístole) foi estudado e tem seu uso recomendado. Para ajuste do ciclo cardíaco, admite-se que a diástole final deve ser definida pelo fechamento da valva tricúspide; já a sístole final pelo fechamento da valva pulmonar, sendo ambos obtidos pelo traçado Doppler dessas válvulas.²⁰

Os valores de referência variam de acordo com a marca do aparelho e o *software* utilizado.⁴ Revisão sistemática publicada por Fine et al.,²⁵ realizada com pacientes saudáveis, sem doença cardiopulmonar, encontrou valores de normalidade do SPL-VD estimados em $-27\% \pm 2\%$ (Intervalo de Confiança de 95% - IC95% 29%-24%).²⁵ Já estudo realizado por Muraru et al.²¹ encontrou valores de $-29,3 \pm 3,4\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-22,5\%$) para homens e $-31,6 \pm 4,0\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-23,3\%$) para mulheres. Ainda nesse mesmo estudo, os valores encontrados como normalidade para o SGL-VD foram: $-24,7 \pm 2,6\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-20,0\%$) para homens e $-26,7 \pm 3,1\%$ ($-20,3\%$ como valor limite inferior da normalidade de) para mulheres.²¹ Ambos os estudos utilizaram aparelhos do mesmo fabricante (General Electric). Estudo recente realizado com 1.457 voluntários saudáveis analisou 1.143 pacientes com o *software* EchoPAC (GE) e foram encontrados valores para SPL-VD de $-28,5 \pm 4,8\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-20,2\%$) e para o SGL-VD de $-22,3 \pm 2,4\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-17,4\%$). Em contraponto, 186 pacientes foram avaliados pelo *software* Syngo VVI (Siemens), por meio do qual foram obtidos valores de $-21,7 \pm 4,2\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-13,4\%$) para SPL-VD e $-20,4 \pm 3,2\%$ (valor limite inferior da normalidade de $-14,1\%$) para o SGL-VD.²⁶ A diretriz de recomendações para quantificação de

câmaras cardíacas, publicada em 2015 pela *American Society of Echocardiography* (ASE), sugere que valores absolutos do SPL-VD menores que 20% sejam provavelmente anormais. No entanto, recomenda que grandes estudos adicionais, envolvendo equipamentos de vários fabricantes, são necessários para se obterem valores de referência definitivos.⁴

Poucos estudos na literatura compararam valores de *strain* longitudinal do VD entre diferentes fabricantes, sendo essa uma de suas limitações. No entanto, estudos^{2,27} relatam baixa variação inter e intraobservador em um mesmo fabricante, o que confere boa confiabilidade ao método.²⁸

Park et al.²⁹ realizaram estudo que incluiu a comparação do *strain* longitudinal do VD realizado pelos *softwares* da GE e Siemens e notaram menor variabilidade intraobservador ao utilizar o *software* da primeira e variação interobservador semelhante nos dois fabricantes.²⁹

Por fim, vale ressaltar que o *strain* do VD tem grande papel na prática clínica. No entanto, o método tem uma série de limitações que devem ser levadas em consideração, como o *software* usado foi criado originalmente para a avaliação do ventrículo esquerdo e, posteriormente, adaptado para o VD. Porém, a anatomia do VD é mais complexa do que a do ventrículo esquerdo. *Softwares* específicos de VD têm sido desenvolvidos e utilizados recentemente, a fim de vencer essa limitação.²⁸ Uma boa qualidade de imagem é imprescindível para melhorar o rastreamento dos pontos. Pequenos erros aleatórios na detecção dos pontos, como ocorre em janelas acústicas limitadas, podem levar a resultados imprecisos e maior variabilidade inter e intraobservador. Assim, pacientes obesos e portadores de doenças pulmonares, por exemplo, podem apresentar limitações para realização deste método.³⁰ A avaliação do VD é feita em apenas uma janela (apical quatro câmaras), já a do ventrículo esquerdo é realizada por três janelas (apical quatro, duas e três câmaras), fato que limita a análise de uma parte das paredes do VD e, portanto, de sua função sistólica. Ao contrário do ventrículo esquerdo que apresenta estudos comparativos entre diferentes fabricantes,³¹ o *strain* do VD necessita de estudos adicionais nesse sentido, para que os dados entre as marcas sejam comparáveis entre si. Devido às dificuldades técnicas para a correta avaliação do *strain* do VD, seu uso deve ser restrito apenas a ecocardiografistas treinados e experientes, diferentemente do *strain* do ventrículo esquerdo, que pode ser realizado por profissionais menos experientes, devido à menor interferência no resultado. Estudos sobre curva de aprendizado relataram que são necessários no mínimo cem estudos de análise de SPL-VD para que um iniciante possa atingir o nível de competência de um especialista.^{26,32}

Dentre as perspectivas, deve-se mencionar o *strain* do VD realizado pelo método tridimensional. Este pode ser uma ferramenta interessante, uma vez que fornece dados tanto da função longitudinal quanto das funções circunferencial e radial dessa cavidade.³³ Contudo, é um método que também apresenta suas limitações. A técnica de *strain* é baseada na análise de rastreio de pontos. Sendo assim, uma alta resolução temporal, a boa qualidade de imagem e o ritmo cardíaco regular são primordiais para que isso seja factível. Porém, uma das principais limitações do método tridimensional é sua resolução temporal relativamente baixa. Além disso, estudos adicionais são necessários a respeito de protocolos e valores

de referência para padronização desse método.²⁸ Assim, tais fatos reduzem seu uso na prática clínica atualmente.

crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: BRBM e BD.

Contribuições dos autores

Redação do manuscrito: PMM e TCG; revisão

Conflito de interesses

Os autores declaram não terem conflitos de interesse.

Referências

1. Motoji Y, Tanaka H, Fukuda Y, Ryo K, Emoto N, Kawai H, et al. Efficacy of right ventricular free-wall longitudinal speckle-tracking strain for predicting long-term outcome in patients with pulmonary hypertension. *Circ J*. 2013;77(3):756-63. doi: <https://doi.org/10.1253/circj.cj-12-1083>
2. Vizzardi E, Bonadei I, Sciatti E, Pezzali N, Farina D, D'Aloia A, et al. Quantitative analysis of right ventricular (RV) function with echocardiography in chronic heart failure with no or mild RV dysfunction: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Ultrasound Med*. 2015;34(2):247-55. doi: <https://doi.org/10.7863/ultra.34.2.247>
3. Pfeffer MA, Braunwald E, Moye LA, Basta L, Brown EJ Jr., Cuddy TE, et al. Effect of captopril on mortality and morbidity in patients with left ventricular dysfunction after myocardial infarction. Results of the survival and ventricular enlargement trial. The SAVE Investigators. *N Engl J Med*. 1992;327(10):669-77. <https://doi.org/10.1056/NEJM199209033271001>
4. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afzalalo 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
5. Ayach B, Fine NM, Rudski L. Right Ventricular Strain: Measurement and Clinical Application. *Curr Opin Cardiol*. 2018;33(5):486-92. doi: <https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000540>
6. Motoki H, Borowski AG, Shrestha K, Hu B, Kusunose K, Troughton RW, et al. Right ventricular global longitudinal strain provides prognostic value incremental to left ventricular ejection fraction in patients with heart failure. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(7):726-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.02.007>
7. Sade LE, Özin B, Atar I, Demir Ö, Demirtaş S, Müderrisoğlu H. Right ventricular function is a determinant of long-term survival after cardiac resynchronization therapy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26(7):706-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2013.03.013>
8. Morris DA, Krisper M, Nakatani S, Köhncke C, Otsuji Y, Belyavskiy E, et al. Normal range and usefulness of right ventricular systolic strain to detect subtle right ventricular systolic abnormalities in patients with heart failure: a multicentre study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2017;18(2):212-23. doi: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev011>
9. D'Andrea A, Stanzola A, D'Alto M, Di Palma E, Martino M, Scarafilo R, et al. Right ventricular strain: an independent predictor of survival in idiopathic pulmonary fibrosis. *Int J Cardiol*. 2016;222:908-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.07.288>
10. Mukherjee M, Mercurio V, Tedford RJ, Shah AA, Hsu S, Mullin CJ, et al. Right ventricular longitudinal strain is diminished in systemic sclerosis compared with idiopathic pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir J*. 2017;50(5):1701436. doi: <https://doi.org/10.1183/13993003.01436-2017>
11. Platz E, Hassanein AH, Shah A, Goldhaber SZ, Solomon SD. Regional right ventricular strain pattern in patients with acute pulmonary embolism. *Echocardiography*. 2012;29(4):464-70. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-8175.2011.01617.x>
12. Fine NM, Chen L, Bastiansen PM, Frantz RP, Pellikka PA, Oh JK, et al. Outcome prediction by quantitative right ventricular function assessment in 575 subjects evaluated for pulmonary hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2013;6(5):711-21. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.113.000640>
13. Chang WT, Liu YW, Liu PY, Chen JY, Lee CH, Li YH, et al. Association of decreased right ventricular strain with worse survival in non-acute coronary syndrome angina. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(4):350-358.e4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.11.015>
14. Cappelli F, Porciani MC, Bergesio F, Perlini S, Attanà P, Moggi Pignone A, et al. Right ventricular function in AL amyloidosis: characteristics and prognostic implication. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012;13(5):416-22. doi: <https://doi.org/10.1093/ejehocard/fer289>
15. Joyce E, Kamperidis V, Ninaber MK, Katsanos S, Debonnaire P, Schallig MJ, et al. Prevalence and Correlates of Early Right Ventricular Dysfunction in Sarcoidosis and Its Association with Outcome. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(9):871-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.06.001>
16. Kusunose K, Popović ZB, Motoki H, Marwick TH. Prognostic significance of exercise-induced right ventricular dysfunction in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2013;6(2):167-76. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.112.000162>
17. Hyllén S, Nozohoor S, Ingvarsson A, Meurling C, Wierup P, Sjögren J. Right ventricular performance after valve repair for chronic degenerative mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg*. 2014;98(6):2023-30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.07.075>
18. Rudski LG, Lai WW, Afzalalo 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; quiz 786-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010>
19. Genovese D, Mor-Avi V, Palermo C, Muraru D, Volpato V, Kruse E, et al. Comparison Between Four-Chamber and Right Ventricular-Focused Views for the Quantitative Evaluation of Right Ventricular Size and Function. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(4):484-494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.11.014>
20. Badano LP, Koliaş TJ, Muraru D, Abraham TP, Aurigemma G, Edvardsen T, D'Hooge J, Donal E, Fraser AG, Marwick T, Mertens L, Popescu BA, Sengupta PP, Lancellotti P, Thomas JD, Voigt JU; Industry representatives; Reviewers: This document was reviewed by members of the 2016-2018 EACVI Scientific Documents Committee. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(6):591-600. doi: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev042>. Erratum in: *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(7):830-833.
21. Muraru D, Onciul S, Peluso D, Soriani N, Cucchini U, Aruta P, et al. Sex- and method-specific reference values for right ventricular strain by 2-dimensional speckle-tracking echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2016;9(2):e003866. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.003866>
22. Sanz-de la Garza M, Giraldeau G, Marin J, Imre Sarvari S, Guasch E, Gabrielli L, et al. Should the Septum Be Included in the Assessment of Right Ventricular Longitudinal Strain? An Ultrasound Two-Dimensional Speckle-

- Tracking Stress Study. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019;35(10):1853-1860. doi: <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01633-6>
23. Antoni ML, Scherptong RW, Atary JZ, Boersma E, Holman ER, Van der Wall EE, et al. Prognostic value of right ventricular function in patients after acute myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2010;3(3):264-71. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.109.914366>
24. Carluccio E, Biagioli P, Lauciello R, Zuchi C, Mengoni A, Bardelli G, et al. Superior prognostic value of right ventricular free wall compared to global longitudinal strain in patients with heart failure. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(7):836-844.e1. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.02.011>
25. Fine NM, Chen L, Bastiansen PM, Frantz RP, Pellikka PA, Oh JK, et al. Reference values for right ventricular strain in patients without cardiopulmonary disease: a prospective evaluation and meta-analysis. *Echocardiography*. 2015;32(5):787-96. doi: <https://doi.org/10.1111/echo.12806>
26. Badano LP, Muraru D, Parati G, Haugaa K, Voigt JU. How to do right ventricular strain. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2020;21(8):825-7. doi: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa126>
27. Focardi M, Cameli M, Carbone SF, Massoni A, De Vito R, Lisi M, et al. Traditional and innovative echocardiographic parameters for the analysis of right ventricular performance in comparison with cardiac magnetic resonance. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(1):47-52. doi: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu156>
28. Longobardo L, Suma V, Jain R, Carerj S, Zito C, Zwicke DL, et al. Role of Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography Strain in the Assessment of Right Ventricular Systolic Function and Comparison with Conventional Parameters. *J Am Soc Echocardiogr*. 2017;30(10):937-946.e6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.06.016>
29. Park JH, Kusunose K, Motoki H, Kwon DH, Grimm RA, Griffin BP, et al. Assessment of right ventricular longitudinal strain in patients with ischemic cardiomyopathy: head-to-head comparison between two-dimensional speckle-based strain and velocity vector imaging using volumetric assessment by cardiac magnetic resonance as a "gold standard". *Echocardiography*. 2015;32(6):956-65. doi: <https://doi.org/10.1111/echo.12740>
30. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle H, Baumann R, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(1):1-11. doi: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>
31. Yang H, Marwick TH, Fukuda N, Oe H, Saito M, Thomas JD, et al. Improvement in strain concordance between two major vendors after the strain standardization initiative. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(6):642-8.e7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.12.009>
32. Chamberlain R, Scalia GM, Wee Y, Hlaing S, Lee A, Hotham I, et al. The Learning Curve for Competency in Right Ventricular Longitudinal Strain Analysis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(4):512-514. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.12.011>
33. Smith BC, Dobson G, Dawson D, Charalampopoulos A, Grapsa J, Nihoyannopoulos P. Three-dimensional speckle tracking of the right ventricle: toward optimal quantification of right ventricular dysfunction in pulmonary hypertension. *J Am Coll Cardiol*. 2014;64(1):41-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.084>