

## Como eu faço a Avaliação do Strain do Ventrículo Esquerdo

### My Approach to Left Ventricular Strain Assessment

Cintia Galhardo Tressino<sup>1,2</sup>, Renato de Aguiar Hortegal<sup>2,3</sup>, Marcela Momesso<sup>1,2,4</sup>, Rodrigo Bellio de Mattos Barretto<sup>1,2</sup>, David Le Bihan<sup>1,2,5</sup>

Grupo DASA,<sup>1</sup> São Paulo, SP; Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia,<sup>2</sup> São Paulo, SP; Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo,<sup>3</sup> São Paulo, SP; Hospital Sírio-Libanês,<sup>4</sup> São Paulo, SP; Hospital do Rim e Hipertensão, Universidade Federal de São Paulo,<sup>5</sup> São Paulo, SP, Brasil.

### Introdução

*Strain* e *strain rate* são índices de deformação miocárdica regional e global que fornecem dados para detecção precoce de possíveis alterações cardíacas e permitem, assim, promover abordagens terapêuticas mais eficientes. *Strain* corresponde à deformação miocárdica, representada como o percentual de encurtamento/alongamento muscular em relação à medida inicial, e *strain rate* indica a taxa de deformação miocárdica ou, em outras palavras, a velocidade com que essa deformação ocorre. Os três principais padrões de deformação do coração durante a sístole incluem o encurtamento longitudinal, o encurtamento circunferencial e o espessamento radial. Este último ocorre por um espessamento transversal da fibra em função de sua incompressibilidade (portanto, secundário ao seu encurtamento) e pela aposição de fibras (Figura 1). Em última análise, responde pela diminuição da cavidade ventricular.<sup>1,2</sup>

O *strain* pode ser avaliado pela técnica de Doppler tecidual, a partir de cálculos matemáticos que convertem velocidade em deformação. Embora útil em alguns contextos específicos, essa técnica tem limitações significativas: baixa relação sinal-ruído, alta variabilidade intra e interobservador e dependência do ângulo de insonação, o que limita muito a avaliação das deformações radial e circunferencial.<sup>3</sup>

Em razão disso, a análise do *strain* por meio do *speckle tracking* (ST), que utiliza o modo bidimensional, é a técnica mais amplamente validada e utilizada na prática clínica. O *speckle tracking* bidimensional se baseia no rastreamento (em todos os planos) de marcadores acústicos naturais do miocárdio, presentes na imagem bidimensional em escala de cinza durante todo o ciclo cardíaco, com base na comparação dos padrões quadro a quadro. O *strain* representa a média relativa da deformação das fibras miocárdicas entre dois pontos adjacentes. Quando ocorre o encurtamento sistólico da fibra (sentidos longitudinal e circunferencial), o *strain* possui um valor negativo. Já o espessamento sistólico radial atribui ao *strain* um valor positivo. A técnica de ST é menos dependente do ângulo de insonação, permitindo a aferição da deformação

nas diferentes direções: circunferencial e radial, nos cortes de eixo curto do VE, e longitudinal, nas incidências apicais.<sup>1,2</sup>

Cada segmento miocárdico pode ter o *strain* avaliado (*strain* regional), e o *strain* global reflete a contração relativa (em percentual) de todo o miocárdio do Ventrículo Esquerdo (VE). Alguns autores acreditam que o *speckle tracking* permite a diferenciação entre deformação segmentar miocárdica ativa versus “passiva”, ou seja, aquela que ocorre por arrastamento (e não deformação) do segmento alterado, devido ao tracionamento que sofre por outro segmento adjacente de contratilidade preservada.<sup>4</sup> Sabe-se, também, que as condições de carga afetam a deformação miocárdica, sendo o *strain* um parâmetro mais vulnerável nesse aspecto, quando comparado ao *strain rate*.<sup>5</sup>

A avaliação da função sistólica ventricular é parte fundamental da ecocardiografia, sendo de suma importância para o manejo e o prognóstico dos pacientes com doenças cardíacas. Rotineiramente, em nossa prática clínica, usamos a fração de ejeção para avaliar a função sistólica dos ventrículos. No entanto, a partir da última década, o *strain* miocárdico tornou-se importante preditor de morbidade e mortalidade de várias cardiopatias, conferindo informações prognósticas adicionais em relação à fração de ejeção.<sup>6</sup>

O objetivo deste artigo é explorar os principais pontos de variabilidade de medida do *strain* pela técnica do *speckle tracking* na prática diária e discutir os métodos que devem ser considerados para aumentar a acurácia e a reprodutibilidade dos parâmetros, sobretudo do *Strain* Global Longitudinal (SGL).

### Medida do *strain* longitudinal do ventrículo esquerdo por *speckle tracking*

As fibras miocárdicas subendocárdicas têm sentido longitudinal (paralelas à parede), mudando progressivamente sua orientação, tornando-se lentamente mais perpendiculares à cavidade, de forma que as fibras subepicárdicas apresentam sentido circunferencial (Figura 1). O arranjo estrutural das fibras miocárdicas do VE e seu encurtamento nos sentidos longitudinal e circunferencial, bem como o espessamento radial, resultam nos processos mecânicos que compõem a função sistólica esquerda. Todos esses movimentos agem de forma sinérgica para culminar com a variação volumétrica da cavidade ventricular.<sup>7</sup>

O *strain* longitudinal avalia especialmente a deformação das fibras subendocárdicas, as que costumam ser mais precocemente envolvidas nas doenças miocárdicas. Já a medida do *strain* circunferencial detecta lesões miocárdicas mais significativas, pois mede especialmente a deformação

### Palavras-chave

Ecocardiografia; Disfunção Ventricular Esquerda; Parâmetros.

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/20203304ecom15



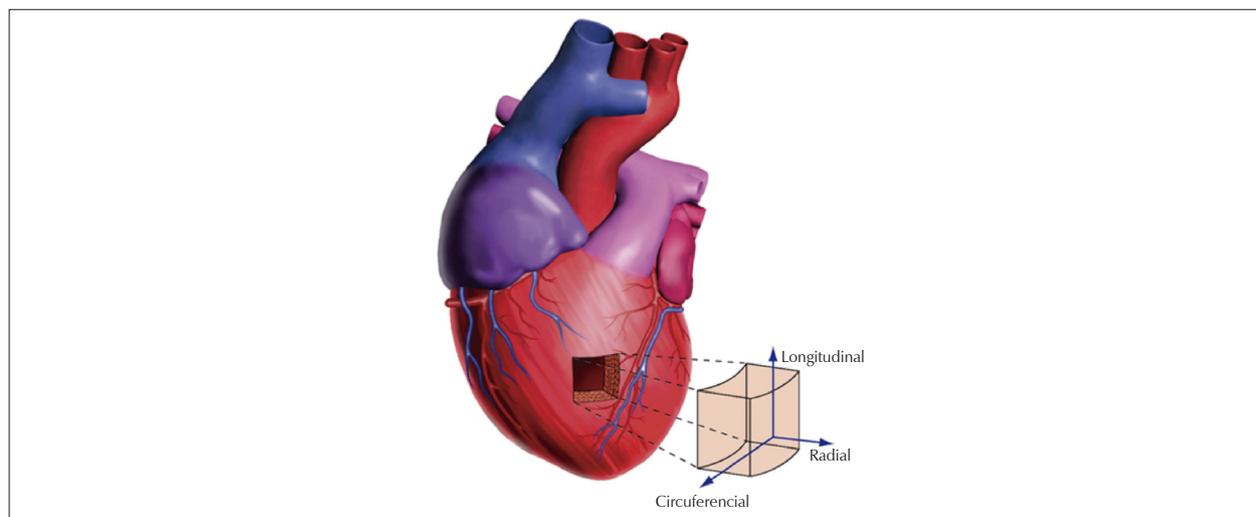


Figura 1 – Diferentes componentes da deformação do ventrículo esquerdo.

produzida pelas fibras subepicárdicas, acometidas por lesões transmuralis.<sup>6</sup> O estudo das deformações circunferencial e radial se destina mais para pesquisas científicas, em função da pequena aplicabilidade clínica e da reprodutibilidade nos serviços de ecocardiografia.<sup>4</sup> Assim, este artigo foca no SGL do VE pela técnica do *speckle tracking* bidimensional, por ser o parâmetro mais amplamente estudado e validado, além de ser aquele que se mostrou com maior utilidade para estratificação prognóstica em diversas doenças e para determinação de acometimento miocárdico incipiente.

Para a análise do SGL do VE por *speckle tracking*, cuidados relacionados à aquisição das imagens devem ser tomados, para se obter uma boa qualidade técnica para interpretação dos resultados. O paciente deve estar monitorizado, e o traçado de eletrocardiograma deve ser satisfatório. Se possível, deve-se tentar apneia expiratória, evitando-se os movimentos de translação do coração com as incursões respiratórias. Clipes das janelas acústicas apicais de quatro, duas e três câmaras devem ser adquiridos, com, no mínimo, três batimentos, excluindo-se extrassístoles. Com relação ao ajuste do aparelho, o foco deve ser posicionado adequadamente, e a profundidade e a largura do ângulo do setor devem ser ajustadas, a fim de incluir sobretudo a imagem de interesse (VE). Da mesma forma, deve-se ajustar corretamente o ganho da imagem bidimensional, e o *Frame Rate* (FR) deve ser mantido entre 40 e 80 quadros/segundo, em pacientes com frequência cardíaca normal, podendo ser maior em pacientes taquicárdicos ou naqueles submetidos a ecocardiograma de estresse (baixo FR pode resultar em perda de *speckles*, e FR muito alto reduz a resolução espacial, piorando a qualidade da imagem).<sup>4,8,9</sup>

Pelo fato do *strain* longitudinal apresentar valores maiores em direção da base para o ápice, o encurtamento da cavidade ventricular (*foreshortening*) deve ser evitado durante a aquisição das imagens.<sup>10</sup> Artefatos, reverberações e visibilização limitada do miocárdio podem fazer com que os *speckles* fora da área de interesse sejam seguidos, gerando falsos resultados. As imagens devem ser adquiridas com recurso de harmônica, a fim de otimizar sua qualidade ao máximo.<sup>9</sup>

O modelo de segmentação do VE pode ser o de 16, 17 ou 18 segmentos (sendo o de 17 segmentos geralmente usado na ecocardiografia e em outras modalidades diagnósticas) e reflete o território de perfusão miocárdica, sendo utilizado para análise dos valores regionais do *strain* longitudinal.<sup>4,11,12</sup>

A Região de Interesse (ROI, do inglês *region of interest*) deve ser ajustada para incorporar toda a espessura da parede em análise, deixando seu formato e sua largura os mais próximos possíveis da anatomia miocárdica. Cuidado especial deve ser tomado em segmentos com infarto prévio ou com aumento assimétrico da espessura. Devem-se evitar angulações da ROI, bem como evitar englobar o pericárdio e espaços extracardiácos, pois estes podem erroneamente reduzir o valor do *strain*.<sup>9,12,13</sup> Particularmente em indivíduos saudáveis, o anel mitral apresenta vigorosa movimentação sistólica em direção ao ápice, às vezes levando a um rastreamento subótimo dos *speckles* nessa região, prejudicando a análise do *strain* dos segmentos basais.<sup>13</sup>

O rastreamento dos segmentos miocárdicos é inicialmente ajustado de forma semiautomática, devendo, de acordo com a impressão visual, ser corrigido manualmente, quando considerado inadequado. Segmentos que não apresentam leitura adequada após um ajuste inicial devem ser descartados. Quanto maior o número de segmentos descartados, menor a confiabilidade no resultado do SGL.<sup>2,8,12</sup> Assim, quando mais de dois segmentos miocárdicos em um única janela não forem bem visibilizados, o cálculo do SGL deve ser evitado.<sup>14</sup> Um *software* foi recentemente desenvolvido para que, de forma totalmente automática, reconheça as janelas ecocardiográficas, posicione a ROI e forneça os resultados e curvas do *strain* a partir da técnica do ST, utilizando-se “apenas um botão”.

A ROI é traçada na diástole ou sístole final (dependendo do fabricante) e é dividida em segmentos de igual distância entre eles, conforme o modelo de segmentação adotado. A ROI pode englobar toda a parede ou se dividir em camadas endocárdica, mesocárdica e epicárdica, podendo

cada contorno ser definido automática ou manualmente. Usualmente, quando não ocorre seleção de alguma camada específica, os resultados correspondem à resultante de todas as forças, representando toda a espessura da parede. As medidas obtidas isoladamente são maiores na camada endocárdica e menores na epicárdica.<sup>9,12</sup>

Nas janelas apicais, as definições topográficas para a formação da ROI são: bases direitas e esquerdas em suas bordas endocárdicas imediatamente abaixo da valva mitral, ápice e ponto médio basal (meio entre os pontos basais direito e esquerdo).<sup>12</sup>

Os marcadores de eventos devem ser ajustados para se definirem o início (diástole final) e o fim (sístole final) da contração miocárdica no ciclo cardíaco. A diástole final é o momento caracterizado pelo fechamento da valva mitral. Outros eventos que se relacionam a essa fase do ciclo são o início do complexo QRS (pico da onda R) ou o pico positivo da curva do SGL. Deve-se ter em mente que o fechamento da valva mitral pode se dissociar dos parâmetros do eletrocardiograma em pacientes com distúrbios de condução ou disfunção regional. Assim, os *softwares* comumente usam o pico do complexo QRS para definir a diástole final, fazendo essa marcação de forma automática, sem interferência do examinador.<sup>12</sup>

O fechamento da valva aórtica corresponde à sístole final e pode ser visualizado na janela apical de três câmaras (motivo pelo qual essa janela é a primeira a ser analisada pelos *softwares*, seguida pelas janelas de 4C e 2C) ou detectado por meio do final do traçado de Doppler pulsátil do fluxo da via de saída do VE. Parâmetros substitutos podem ser o final do fluxo aórtico pelo Doppler contínuo, o nadir da curva de *strain* ou da curva de volume. A maioria dos programas pede essa marcação ao examinador, mas pode fazê-la automaticamente, quando não determinada de forma manual.<sup>12</sup>

A frequência cardíaca deve ser regular e sem grandes variações para que o *software* permita a combinação dos valores de *strain* obtidos nas três diferentes janelas apicais

(curvas coincidentes), para, assim, serem obtidos o valor do SGL e sua representação em gráfico de mapa polar (mais conhecido como *bull's eye*)<sup>9</sup> (Figura 2).

A análise do *strain* por meio da técnica do *speckle tracking* pelo método tridimensional também é possível e possui uma característica relevante, que é a aquisição de um volume total do coração em um único batimento (*full volume*).<sup>15</sup> Quando o método tridimensional foi comparado ao bidimensional, o deslocamento longitudinal não diferiu entre eles, porém o primeiro método apresentou valores maiores de deslocamento radial, indicando a limitação do método bidimensional em rastrear *speckles* que saem do plano da imagem. O método tridimensional permite o cálculo do *strain* de área (que integra dados do *strain* longitudinal e circunferencial) com a finalidade de reduzir esse erro de rastreamento.<sup>16,17</sup> A técnica do *strain* tridimensional requer treinamento para aquisição e análise das imagens, bem como diretrizes que incorporem seus valores à prática clínica. Assim, sua aplicabilidade ainda é limitada aos laboratórios de pesquisa.

Saber interpretar a morfologia e os valores relevantes das curvas de *strain* é de suma importância, devendo-se considerar a amplitude e o tempo em relação ao ciclo cardíaco em que eles aparecem. Os seguintes parâmetros podem ser avaliados: *strain* de pico sistólico positivo (ocorre na diástole final, com alongamento miocárdico, ou pode representar relevante deformação em casos de disfunção regional), *strain* de pico sistólico (o maior valor de deformação negativa durante a sístole), *strain* sistólico final (valor da deformação coincidente com o fechamento da valva aórtica) e *strain* pós-sistólico (valor máximo do *strain* que pode aparecer após o fechamento da valva aórtica).<sup>12,13</sup> O *strain* sistólico final deve ser considerado como parâmetro padrão para descrição de deformação miocárdica.<sup>12</sup> (Figura 3)

O *strain* pós-sistólico reflete a deformação de segmentos que contraem após o fechamento da valva aórtica e não contribuem para a ejeção ventricular. É achado comum em isquemia miocárdica aguda ou crônica.<sup>8,18</sup> Alguns *softwares*

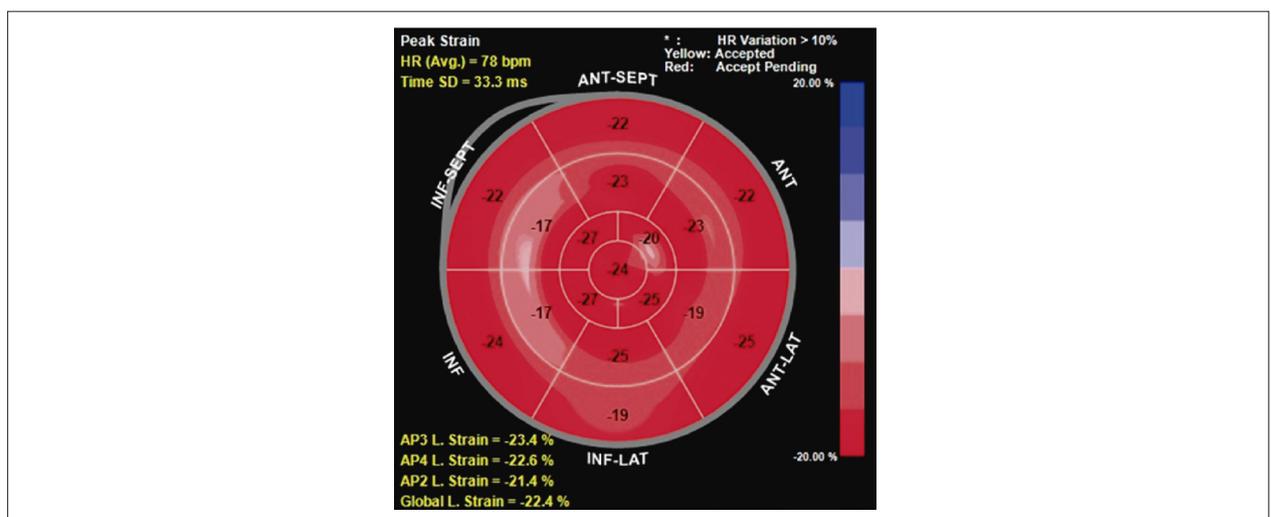


Figura 2 – Representação gráfica do tipo mapa polar do *strain* longitudinal em todos os segmentos, bem como a média global (*strain* global longitudinal) e médias obtidas nas incidências de três, quatro e duas câmaras.

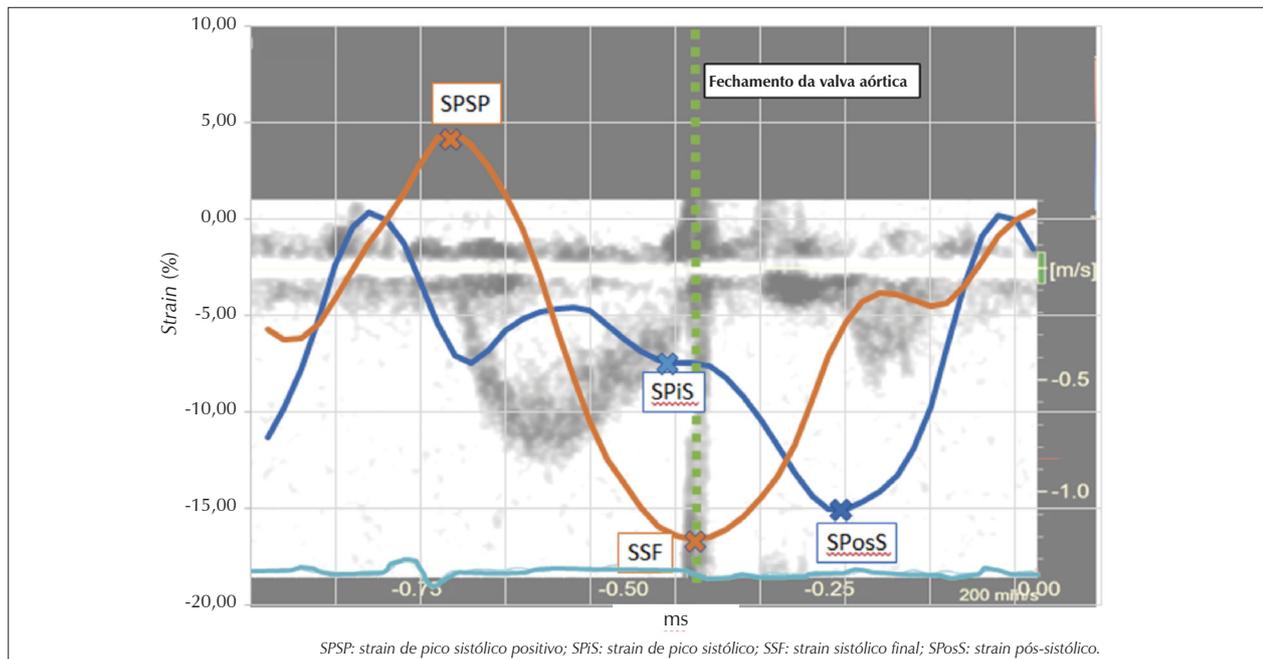


Figura 3 – Curvas do strain e suas relações com o ciclo cardíaco.

possuem filtros suavizadores para redução de ruídos, a fim de melhorar a interpretação das curvas. Suavização excessiva deve ser evitada quando pequenos eventos de tempo estão sendo investigados, como, por exemplo, o encurtamento pós-sistólico segmentar.<sup>13</sup>

O *strain* e o *strain rate* podem ser avaliados em cada segmento do ventrículo (*strain* regional), e a média desses valores passa a representar o *strain* global, refletindo a função global ventricular.<sup>19</sup> Define-se como valor de normalidade um SGL com valor em módulo maior ou igual a 20% (ou  $\leq -20\%$ , quando se considera o *strain* como negativo). Atualmente, alguns autores preferem utilizar os valores absolutos (em módulo), a fim de se evitarem erros de interpretação. Há evidências de que mulheres têm valores de *strain* pouco maiores que os homens e de que os valores de *strain* diminuem com a idade.<sup>12,14</sup>

Farsalinos et al.<sup>20</sup> observaram a variabilidade das medidas de SGL obtidas entre sete diferentes fabricantes de aparelhos e *softwares*. A maior diferença absoluta entre os fabricantes para valores de SGL foi de 3,7 unidades percentuais de *strain* ( $p < 0,001$ ; análise de variância), havendo correlação significativa e forte entre as medidas dos diferentes fabricantes e também com a medida média de todos os fabricantes. Concluiu-se que houve pequena variabilidade entre fabricantes no cálculo SGL médio e no *strain* longitudinal de 4C, porém estatisticamente significativa. Estes achados sustentam o uso do *strain* longitudinal na prática clínica, desde que os exames sejam repetidos em máquinas de um mesmo fabricante.<sup>20</sup> Estudo recente sugere que as atualizações dos *softwares* também podem impactar nos cálculos do SGL.<sup>21</sup> Por outro lado, com relação à acurácia em identificar anormalidades segmentares, os fabricantes divergem significativamente.<sup>22</sup>

Quando comparados os diferentes *softwares* disponíveis, o SGL se mostrou um parâmetro mais robusto e concordante do

que o *strain* global circunferencial ou radial para a avaliação da função miocárdica.<sup>23</sup>

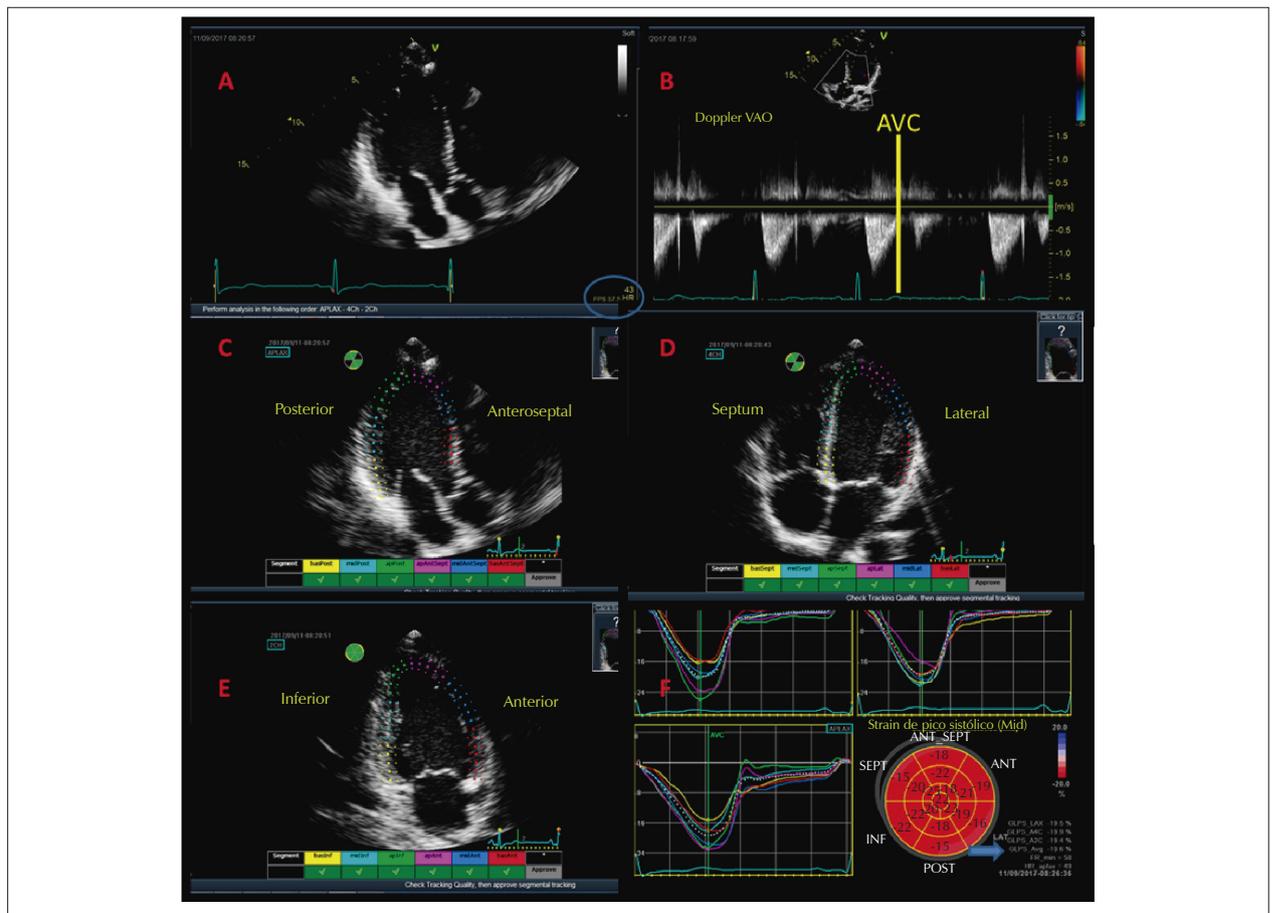
Apesar dessas ponderações, o SGL se mostrou mais reprodutível do que o cálculo da fração de ejeção para a avaliação da função sistólica, independentemente da experiência do ecocardiografista.<sup>24</sup> Outro estudo também enfatiza a reprodutibilidade intra e interobservadores do SGL médio e de 4C como superior à medida da fração de ejeção do VE e de outros parâmetros ecocardiográficos.<sup>20</sup> Esses achados dão suporte ao uso do SGL na prática diária como ferramenta de avaliação adicional nas doenças cardíacas.<sup>25</sup>

Assim, os vieses interfabricantes devem ser levados em consideração quando comparadas as medidas de SGL adquiridas em diferentes aparelhos ou quando analisadas em diferentes *softwares*. Dessa forma, o seguimento ecocardiográfico deveria, idealmente, ser realizado com o mesmo aparelho, bem como sob condições hemodinâmicas semelhantes, sobretudo em situações cuja variação do SGL pode levar a implicações terapêuticas profundas, como no contexto de avaliação de cardiotoxicidade induzida por quimioterápicos, por exemplo.

Passo a passo da medida do *strain* para a maioria dos fabricantes (Figura 4): realizar a monitorização cardíaca; obter janelas acústicas de três, quatro e duas câmaras com FR ente 40 e 80 QPS; marcar fechamento da válvula aórtica; marcar definições topográficas para definir a ROI em janelas de três, quatro e duas câmaras; aceitar ou descartar os segmentos miocárdicos rastreados em cada janela e fazer ajustes, se necessário; avaliar as curvas e interpretar resultados obtidos no mapa polar.

## Contribuições dos autores

Redação do manuscrito: Peçanha MM, Tressino CG, Ortegal



**Figura 4** – Sequência de eventos para obtenção do strain global longitudinal (F, seta azul). Inicialmente adquirem-se imagens em três, quatro e duas câmaras, com eletrocardiograma de boa qualidade e frame rate adequado (entre 40 e 80 quadros por segundo) (A, ovoide azul). Marca-se o fechamento da valva aórtica (AVC) a partir do traçado de Doppler pulsátil ou contínuo (B). Em seguida, faz-se a marcação de três pontos (dois na base e um no ápice), nas três imagens adquiridas, observando se há acompanhamento adequado pela região de interesse (C, D e E). Finalmente, observam-se as curvas, o bull's eye e os valores de strain global longitudinal (F).

RA; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Barreto RBM; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Bihan D.

## Referências

1. Abduch MC, Alencar AM, Mathias W Jr, Vieira ML. [Cardiac mechanics evaluated by speckle tracking echocardiography]. Arq Bras Cardiol [Internet]. 2014 [citado 2020 Set 30];102(4):403-12. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0066-782X2014000400011](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2014000400011). Portuguese.
2. Almeida AL, Gjesdal O, Newton N, Choi EY, Teixeira G, Yoneyama K, et al. Speckle-tracking pela ecocardiografia bidimensional: aplicações clínicas. Rev Bras Ecocardiogr Imagem Cardiovasc [Internet]. 2013 [citado 2020 Set 30];26 (1):38-49. Disponível em: <http://departamentos.cardiol.br/dic/publicacoes/revistadic/revista/2013/portugues/Revista01/09-revisao.pdf>
3. Hoit BD. Strain and strain rate echocardiography and coronary artery disease. Circ Cardiovasc Imaging. 2011;4(2):179-90. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.110.959817>
4. Collier P, Phelan D, Klein A. A test in context: myocardial strain measured by speckle-tracking echocardiography. J Am Coll Cardiol. 2017;69(8):1043-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.012>.
5. Weidemann F, Jamal F, Sutherland GR, Claus P, Kowalski M, Hatle L, et al. Myocardial function defined by strain and strain rate during alterations in inotropic states and heart rate. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2002;283(2):H792-9. doi: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00025.2002>
6. Luis SA, Chan J, Pellikka PA. Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function: an overview of contemporary techniques, including speckle-tracking echocardiography. Mayo Clinic Proceedings. 2019;94(1):125-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.07.017>
7. Kocica M, Como AF, Carreras-Costa F, Ballester-Rodes M, Moghbel MC, Cueva CN, et al. The helical ventricular myocardial band: Global, three-dimensional, functional architecture of the ventricular myocardium. Eur J Cardiothorac Surg. 2006;29:S21-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.03.011>
8. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2011;24(3):277-313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.01.015>

## Conflito de interesses

Os autores declaram não terem conflitos de interesse.

9. Sade LE. Speckle tracking strain imaging: Practical approach for application. *Turk Kardiyol Dern Ars.* 2017;45(2):197-205. doi: 10.5543/tkda.2017.24358
10. Leitman M, Lysiansky M, Lysyansky P, Friedman Z, Tyomkin V, Fuchs T, et al. Circumferential and longitudinal strain in 3 myocardial layers in normal subjects and in patients with regional left ventricular dysfunction. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23(1):64-70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.10.004>
11. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation.* 2002;105:539-42. doi: <https://doi.org/10.1161/hc0402.102975>
12. 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>
13. Mirea O, Corici OM, Berceanu M, Donoiu I, Militaru C, Istratoaie O. Variability of longitudinal strain measurements: levelling the playing field. *Acta Cardiologica.* 2019;74(3). doi: <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1480469>
14. 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: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
15. Chang SA, Lee SC, Kim EY, Hahn SH, Jang SY, Park SJ, et al. Feasibility of single-beat full-volume capture real-time three-dimensional echocardiography and auto-contouring algorithm for quantification of left ventricular volume: validation with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(8):853-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.04.015>
16. Maffessanti F, Nesser HJ, Wienert L, Steringer-Mascherbauer R, Niel J, Gorissen W, et al. Quantitative evaluation of regional left ventricular function using three-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with and without heart disease. *Am J Cardiol.* 2009;104(12):1755-62.
17. Saito K, Okura H, Watanabe N, Hayashida A, Obase K, Imai K, et al. Comprehensive evaluation of left ventricular strain using speckle tracking echocardiography in normal adults: comparison of three-dimensional and two-dimensional approaches. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009;22(9):1025-30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.05.021>
18. Kukulski T, Jamal F, Herbots L, D'hooge J, Bijmens B, Hatle L, et al. Identification of acutely ischemic myocardium using ultrasonic strain measurements. A clinical study in patients undergoing coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol.* 2003;41(5):810-9. doi: [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(02\)02934-0](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(02)02934-0)
19. Reiser SA, Lysyansky P, Agmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z. Global longitudinal strain: A novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr.* 2004;17(6):630-3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2004.02.011>
20. Farsalinos KE, Daraban AM, Ünü S, Thomas JD, Badano LP, Voigt JU. Head-to-Head Comparison of Global Longitudinal Strain Measurements among Nine Different Vendors: The EACVI/ASE Inter-Vendor Comparison Study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(10):1171-81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.06.011>
21. Nagata Y, Takeuchi M, Mizukoshi K, et al. Intervendor variability of two-dimensional strain using vendor-specific and vendor-independent software. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(6):630-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.01.021>
22. Mirea O, Pagourelas ED, Duchenne J, Bogaert J, Thomas JD, Badano LP, et al. EACVIASE- Industry Standardization Task Force. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2018;11:15-24.
23. Manovel A, Dawson D, Smith B, Nihoyannopoulos P. Assessment of left ventricular function by different speckle-tracking software. *Eur J Echocardiogr.* 2010;11(5):417-21. doi: [10.1093/ejehocard/jep226](https://doi.org/10.1093/ejehocard/jep226)
24. Karlsen S, Dahlslett T, Grenne B, Sjøli B, Smiseth O, Edvardsen T, et al. Global longitudinal strain is a more reproducible measure of left ventricular function than ejection fraction regardless of echocardiographic training. *Cardiovasc Ultrasound.* 2019;17:18. doi: [10.1186/s12947-019-0168-9](https://doi.org/10.1186/s12947-019-0168-9)
25. D'hooge J, Heimdal A, Jamal F, Kukulski T, Bijmens B, Rademakers F, et al. Regional strain and strain rate measurements by cardiac ultrasound: principles, implementation and limitations. *Eur J Echocardiogr.* 2000;1(3):154-70. doi: [10.1053/euje.2000.0031](https://doi.org/10.1053/euje.2000.0031). Erratum in: *Eur J Echocardiogr* 2000;1(4):295-9.