

Como Eu Faço Strain 3D do Ventrículo Esquerdo

My Approach to 3-Dimensional Left Ventricular Strain

Rafael Bonafim Piveta,^{1,2} Miguel Osman Dias Aguiar,^{1,2} Liria Lima Maria da Silva,^{1,2,3} Marcelo Luiz Campos Vieira^{1,4}

Hospital Israelita Albert Einstein,¹ São Paulo, SP – Brasil

Hospital Beneficência Portuguesa,² São Paulo, SP – Brasil

Hospital Dante Pazzanese de Cardiologia,³ São Paulo, SP – Brasil

Universidade de São Paulo, Instituto do Coração, Ecocardiografia Adultos,⁴ São Paulo, SP – Brasil

Resumo

A análise do *strain* pela técnica de ST2D tem seu papel bem documentado e representa uma importante ferramenta complementar na avaliação da mecânica cardíaca, agregando valor na identificação de injúria miocárdica incipiente e subclínica em diferentes cenários clínicos. Um expressivo avanço relacionado à ecocardiografia foi o desenvolvimento do ST3D, que tem o potencial de superar muitas limitações intrínsecas à tecnologia bidimensional, oferecendo parâmetros adicionais de deformação miocárdica (como por exemplo a *area strain*) e uma quantificação mais abrangente da geometria e função do miocárdio ventricular esquerdo, a partir de uma única aquisição de imagem. Dentre as suas principais limitações, destacam-se a baixa resolução temporal e espacial, além da dependência de imagens de boa qualidade e do operador bem treinado. Embora seja uma técnica relativamente recente, ainda em desenvolvimento, vários estudos experimentais e algumas investigações clínicas já demonstraram a reprodutibilidade e a potencial aplicabilidade do ST3D. Este artigo tem o objetivo de agregar informações para uma adequada análise do *strain* tridimensional do ventrículo esquerdo e explorar os seus principais pontos de vulnerabilidade, discutindo variáveis importantes para aumentar a acurácia e a reprodutibilidade desta tecnologia.

Introdução

A análise ecocardiográfica da deformação miocárdica (*strain*) é uma ferramenta robusta que agrega importantes informações aos parâmetros convencionais em relação a prognóstico, padrões paramétricos particulares de diversas cardiomiopatias e detecção de lesão subclínica ou incipiente em diversos cenários clínicos.

O *strain* corresponde à deformação miocárdica, que representa o percentual de encurtamento ou alongamento de

determinado segmento miocárdico em relação à sua medida inicial, na sístole ou na diástole. Atualmente, a avaliação do *strain* pela ecocardiografia é realizada principalmente pela técnica de *speckle tracking* (rastreamento dos “pontos brilhantes”) no miocárdio ventricular. Os pontos brancos e brilhantes visibilizados nas imagens em escala de cinza são marcadores acústicos naturais e representam padrões específicos do tecido no miocárdico, caracterizando a “impressão digital” daquele segmento. O *software* identifica estes *speckles* e rastreia os seus movimentos em todas as direções. O *strain* é então avaliado com base na comparação dos padrões destes *speckles* quadro a quadro durante o ciclo cardíaco.¹

A análise do *strain* pela técnica de *speckle tracking* bidimensional (ST2D) tem seu papel bem documentado e representa um marcador sensível e reprodutível de análise da mecânica cardíaca, validado em modelos *in vitro* e *in vivo*.² O seu valor na detecção subclínica de disfunção ventricular, bem como o seu papel prognóstico, têm sido demonstrado em diferentes cenários clínicos, sendo o principal parâmetro envolvido o *strain* longitudinal global calculado pelo ST2D.

O *strain* também pode ser avaliado pela técnica de *speckle tracking* tridimensional (ST3D), que, em teoria, tem maior correspondência anatômica e minimiza muitas limitações relacionadas à técnica bidimensional.³ O ST3D não depende de presunções geométricas, como ocorre com as imagens bidimensionais e o rastreamento dos *speckles* é feito por meio de uma distribuição espacial homogênea de cada componente do vetor de deslocamento miocárdico, minimizando erros relacionados a este rastreamento, fato que frequentemente ocorre com a técnica bidimensional, na qual a análise da mecânica cardíaca real fica tecnicamente limitada.⁴ Além disto, sua análise consome menos tempo (duração um terço menor que o ST2D) e calcula todos os componentes de deformação miocárdica no mesmo ciclo cardíaco e sob a mesma condição hemodinâmica.⁵ A técnica tridimensional permite a avaliação de todos os parâmetros relacionados à mecânica ventricular apenas com a obtenção de uma imagem no plano apical 4 câmaras, no mesmo momento do ciclo cardíaco, diferentemente da obtenção de imagens com a técnica bidimensional, na qual são necessárias múltiplas aquisições de imagens, em momentos diferentes. Como as fibras miocárdicas do ventrículo esquerdo têm uma orientação espacial complexa e se contraem simultaneamente em diferentes direções, a mecânica ventricular é por natureza um fenômeno tridimensional e, portanto, sua avaliação requer um método de imagem 3D.⁶ A análise do ST3D foi comparada ao ST2D em relação aos parâmetros de referência da ressonância magnética cardíaca e demonstrou

Palavras-chave

Ecocardiografia; Imageamento Tridimensional; Ventrículos do Coração

Correspondência: Rafael Bonafim Piveta •

Hospital Israelita Albert Einstein. Av. Albert Einstein, 627/701. CEP: 05652-900. Morumbi, São Paulo, SP – Brasil

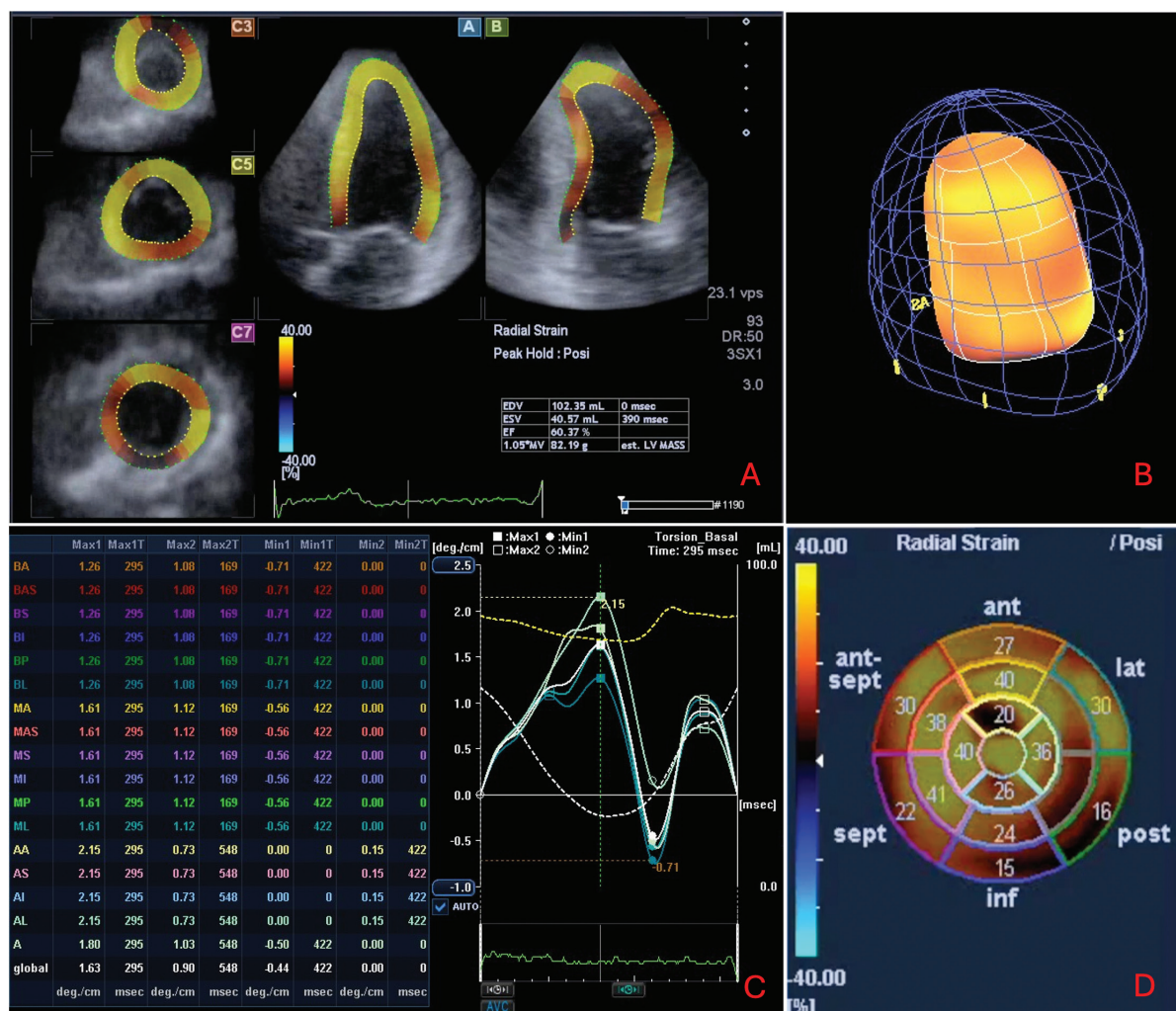
E-mail: rbpiveta@hotmail.com

Artigo recebido em 06/04/2024; revisado em 08/04/2024; aceito em 09/04/2024.

Editor responsável pela revisão: Marcelo Dantas Tavares de Melo

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20240028>

Figura Central: Como Eu Faço Strain 3D do Ventrículo Esquerdo



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2024;37(2):e20240028

Exemplo de sequência na análise do strain do ventrículo esquerdo utilizando a técnica de speckle tracking tridimensional. A: Imagem multiplanar pós aquisição tridimensional, demonstrando o tracking no miocárdio ventricular esquerdo. B: Imagem ilustrativa demonstrando a avaliação do full volume ventricular esquerdo. C: Curvas e tabela com os valores do strain 3D de todos os segmentos miocárdico, no caso, exemplo do cálculo da torção basal do ventrículo esquerdo. D: Bull's Eye com os valores do strain 3D de todos os segmentos miocárdicos, no caso, exemplo da deformação radial do ventrículo esquerdo.

ser mais acurada e reproduzível em pacientes com diferentes morfologias do ventrículo esquerdo (distintos tamanhos, função sistólica normal e anormal).⁷ O ST3D é, portanto, potencialmente mais acurado e eficiente que o ST2D para a análise da mecânica ventricular.⁸

Importantes limitações relacionadas à técnica tridimensional são sua baixa resolução espacial e temporal, menor disponibilidade e maior custo, dependência de imagens de boa qualidade e exigência de examinadores bem treinados na técnica, além de não ser sempre factível a aquisição acurada em múltiplos ciclos, como exigido por exemplo, na presença de arritmia.

A análise da mecânica ventricular esquerda através do ST3D permite o cálculo do *strain* longitudinal, *strain* radial, *strain* circunferencial, rotação (apical ou basal), *twist*, torção, *untwist* e *area strain*. A *area strain* é um índice mais recente e que tem se demonstrado promissor em diversos cenários, representando o cálculo da mudança relativa da área da superfície endocárdica de um determinado segmento em relação à sua área original (integrando a análise de fibras miocárdicas em sentidos longitudinal e circunferencial).⁹

O objetivo deste artigo é orientar um passo a passo para uma adequada análise do *strain* tridimensional do ventrículo esquerdo e explorar os principais pontos de vulnerabilidade

desta técnica, discutindo ferramentas que devem ser consideradas para aumentar a acurácia e a reprodutibilidade desta tecnologia.

Cálculo do *strain* tridimensional do ventrículo esquerdo

Aquisição da imagem em plano apical de 4 câmaras

O *strain* calculado pelo ST3D tem sua análise baseada na técnica do *full volume* tridimensional. Independente do *software* utilizado, o primeiro e principal passo para uma avaliação acurada é a adequada aquisição da imagem ecocardiográfica em incidência apical de 4 câmaras (pelo menos 3 ciclos cardíacos). O paciente deve estar sob monitorização eletrocardiográfica satisfatória e, se possível, deve-se tentar apneia expiratória, evitando os movimentos de translação do coração com as incursões respiratórias. Com relação aos ajustes do aparelho, o foco, a profundidade, a largura do ângulo do setor e o ganho devem ser ajustados, a fim de incluir adequadamente o ventrículo esquerdo dentro do volume piramidal. Os ajustes também são direcionados para se obter uma adequada resolução temporal (pelo menos 20 a 30 volumes por segundo).

Alguns cuidados devem especialmente ser tomados no momento da aquisição. Deve-se evitar ao máximo o encurtamento da cavidade ventricular esquerda (*foreshortening*), pois isto pode levar a uma superestimativa do cálculo do *strain* longitudinal. Cuidado para incluir toda a borda endocárdica da parede anterolateral, frequentemente adquirida de forma inadequada, levando a subestimativa de valores de *strain* por erro de rastreamento. Artefatos, reverberações e principalmente a visibilização limitada do miocárdio podem fazer com que os *speckles* sejam rastreados inadequadamente, gerando resultados incorretos. As imagens devem ser adquiridas com recurso de harmônica, a fim de otimizar sua qualidade ao máximo.

Tracing – Definição da região de interesse (ROI)

Após a aquisição da imagem em plano apical de 4 câmaras, são expostas visões em cinco planos com orientação em eixo padrão, sendo duas longitudinais orientadas ortogonalmente e três transversais. A ROI (do inglês *region of interest*), que é o miocárdio ventricular esquerdo, será então definido para a análise do *full volume* e do *strain*. Esta definição se inicia a partir da marcação de três pontos no miocárdio do ventrículo esquerdo nas duas visões ortogonais, sendo dois pontos nas extremidades do anel valvar mitral e um ponto no ápice do ventrículo esquerdo (Figura 1). Dependendo do *software* utilizado para a análise, esta forma de apresentação pode variar.

Em seguida, o traçado endocárdico do ventrículo esquerdo, no caso, a ROI é gerado de forma semiautomática pelo *Wall Motion Tracking software*. Neste momento, ajustes manuais, se necessários, podem ser realizados para incorporar toda a espessura da parede em análise, deixando seu formato e sua largura os mais próximos possíveis da anatomia miocárdica. Deve-se evitar angulações da ROI, bem como não incluir o pericárdio, o anel mitral (especialmente quando calcificado)

e os espaços extracardíacos, pois estas variáveis podem subestimar o valor do *strain*. O modelo de segmentação do ventrículo esquerdo pode variar entre os *softwares*, podendo ser o de 16, 17 ou 18 segmentos, sendo o de 17 segmentos geralmente mais utilizado na ecocardiografia e em outras modalidades diagnósticas, pois reflete o território de perfusão miocárdica. Atualmente, a maioria dos aparelhos identificam automaticamente os momentos do ciclo cardíaco. Os *softwares* atuais comumente usam o pico do complexo QRS para definir a diástole final, fazendo essa marcação de forma automática, sem interferência do examinador. Entretanto, é possível utilizar os marcadores de eventos para manualmente definir o início (diástole final) e o fim (sístole final) da contração miocárdica no ciclo cardíaco.

Avaliar a qualidade do tracking

Após adequada definição da ROI o *software* automaticamente gera os cálculos dos volumes, da fração de ejeção tridimensional e do *strain* com todos os índices mecânicos do ventrículo esquerdo (Figuras 2 e 3).

Neste momento, o *tracking* (ou rastreamento) dos *speckles* deve ser criteriosamente analisado a fim de definir sua acurácia. Esta análise é essencialmente subjetiva, sendo importante um adequado treinamento e curva de aprendizado para a reprodutibilidade dos resultados. Caso, a partir de uma análise subjetiva, seja identificado erros no rastreamento a análise deve ser corrigida, reiniciada ou não utilizada. 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. De forma geral, quando mais de dois segmentos miocárdicos, especialmente quando contíguos, não forem bem visibilizados, a análise não deve ser utilizada.

Dependendo do *software* utilizado, a ROI pode englobar toda a parede miocárdica ou se dividir em camadas endocárdica, mesocárdica e epicárdica, podendo cada contorno ser selecionado de forma automática ou manualmente. Usualmente, quando não ocorre seleção de alguma camada específica, os resultados correspondem a toda a espessura da parede.

Interpretação dos resultados

A análise da deformação miocárdica do ventrículo esquerdo pela técnica tridimensional permite o cálculo dos seguintes índices mecânicos:

- *Strain* longitudinal global: representa o encurtamento sistólico da fibra miocárdica no sentido longitudinal, com valores negativos e expressos em porcentagem.
- *Strain* radial global: representa o espessamento sistólico radial da fibra miocárdica, com valores positivos e expressos em porcentagem.
- *Strain* circunferencial global: representa o encurtamento sistólico da fibra miocárdica no sentido circunferencial, com valores negativos e expressos em porcentagem.
- Rotação: representa o cálculo da rotação apical ou basal com valores expressos em graus.

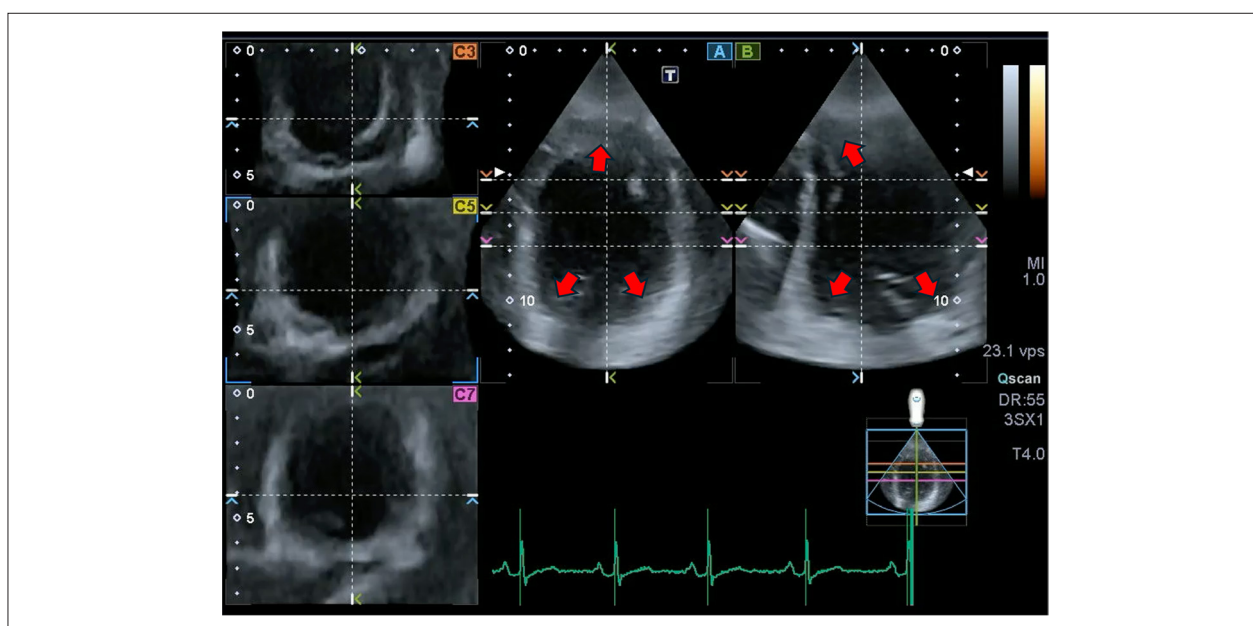


Figura 1 – Imagem ecocardiográfica após aquisição tridimensional, para ajustes técnicos e análise do ST3D. São expostos cinco planos, sendo três transversais de referência e dois longitudinais. Neste momento ajustes como alinhamento, ganho e escolha do ciclo cardíaco podem ser realizados. A definição da região de interesse ocorre a partir da marcação de três pontos no miocárdio do ventrículo esquerdo, sendo dois pontos nas extremidades do anel valvar mitral e um ponto no ápice do ventrículo esquerdo (indicado pelas setas).

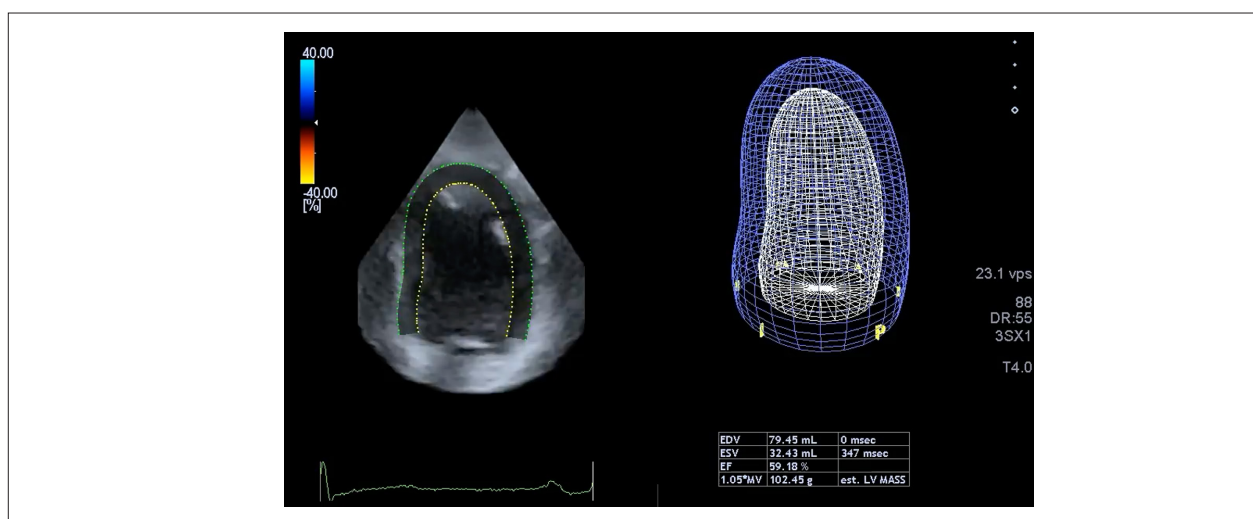


Figura 2 – Exemplo de estudo ecocardiográfico tridimensional apresentando análise do full volume, com estimativa dos volumes e da fração de ejeção do ventrículo esquerdo.

- *Twist*: representa a diferença entre as rotações apical e basal, durante a sístole, expresso em graus.
- *Torção*: representa a diferença entre as rotações apical e basal, indexada pelo comprimento longitudinal do ventrículo esquerdo, com valor expresso em graus por centímetro.
- *Untwist*: representa a diferença entre as rotações reversas apical e basal, durante a diástole (recolhimento elástico), com valor expresso em graus.

- *Area strain* global: representa o cálculo da mudança relativa da área da superfície endocárdica de um determinado segmento em relação à sua área original.

É importante destacar que, apesar de muitos índices mecânicos serem expressos em valores negativos, alguns autores preferem utilizar valores absolutos a fim de evitar erros de interpretação.

Os resultados da análise do *strain* são apresentados em curvas referentes a cada segmento avaliado e, dependendo do *software*, também são apresentados em uma tabela

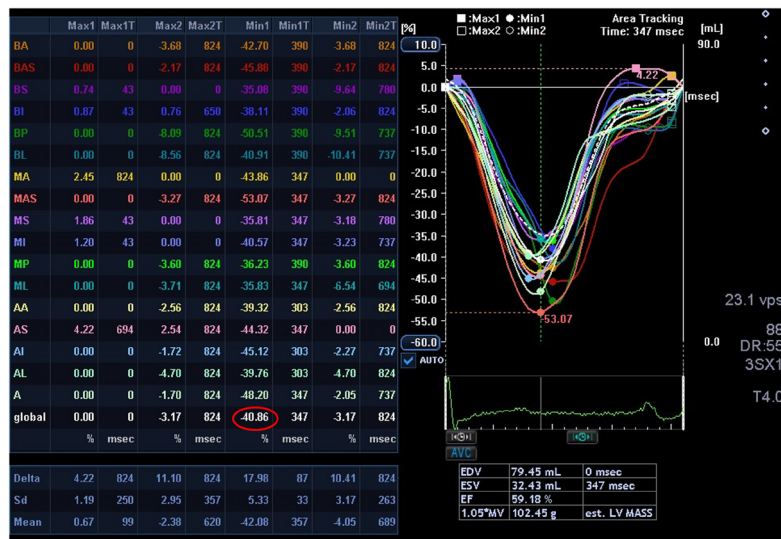


Figura 3 – ST3D para a análise do strain. Exemplo do cálculo da área strain tridimensional, com tabela com os valores encontrados em cada segmento miocárdico, bem como a média representando o valor global (círculo vermelho: -40,86%), além das curvas referentes a cada segmento miocárdico avaliado.

com os valores de *strain* de cada segmento, bem como o valor do *strain* global. Todos os índices mecânicos podem ser calculados a partir da aquisição única em incidência apical 4 câmaras (Figura 4). Além disto, os cálculos são apresentados em um mapa polar (mais conhecido como *bull's eye*) que é uma representação gráfica dos valores de *strain* de cada segmento, permitindo também uma análise paramétrica subjetiva do padrão da deformação miocárdica, que muitas vezes é peculiar e correspondente a determinadas cardiomiopatias (Figura 5).

É de extrema importância compreender e interpretar adequadamente a morfologia e os valores das curvas de *strain*, levando também em consideração o momento em que ocorrem no ciclo cardíaco. Neste contexto, diversos parâmetros podem ser analisados, especialmente considerando os índices relacionados à função sistólica, tais como o *strain* sistólico final, que representa a deformação no momento do fechamento da valva aórtica. Esse é o parâmetro padrão para descrever o valor do *strain* sistólico. O *strain* de pico sistólico representa o maior valor de deformação negativa durante a sístole. O *strain* de pico sistólico positivo, que ocorre no final da diástole, representa um alongamento miocárdico significativo ou possivelmente uma alteração relevante em situações de disfunção regional. O *strain* pós-sistólico (ou encurtamento pós-sistólico), que é o valor máximo de deformação que pode surgir após o fechamento da valva aórtica, reflete a deformação de segmentos que se contraem após o fechamento da valva aórtica e não contribuem para a ejeção ventricular, estando frequentemente associado a doença miocárdica isquêmica.¹⁰

Assim como ocorre com o ST2D, uma importante limitação relacionada ao ST3D é a variabilidade de medidas do *strain* obtidas entre diferentes fabricantes de aparelhos e softwares, com evidência de divergências significativas. Assim, é sugerido que conste no laudo do exame em qual aparelho/software a

análise foi realizada, a fim de adequar o direcionamento e a interpretação em avaliações evolutivas. Além disto, os valores de *strain* tridimensional também são influenciados por idade, sexo e condições hemodinâmicas como frequência cardíaca, pressão arterial e situações associadas a alterações de pré e pós-carga.¹¹

O cálculo do *strain* é realizado para cada segmento do ventrículo e a média desses valores representa o *strain* global, refletindo a função global do ventrículo esquerdo. Vários estudos demonstram a boa reprodutibilidade do método e os intervalos de normalidade para os principais índices mecânicos derivados do ST3D, considerando os principais softwares utilizados, estão bem estabelecidos para uso clínico (Tabela 1).¹² Vale destacar a importância de interpretar os resultados da análise do ST3D considerando o contexto clínico do paciente, individualizando caso a caso.

A aplicação do ST3D tem sido demonstrada em diferentes cenários clínicos, como na cardiotoxicidade induzida por quimioterápicos, na miocardiopatia isquêmica, na doença cardíaca hipertensiva, na insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada, no prognóstico e identificação de rejeição aguda em pacientes transplantados, nas cardiomiopatias hipertrófica, dilatada e infiltrativa, nas valvopatias e após procedimentos como implante percutâneo de prótese valvar aórtica e correção percutânea de insuficiência mitral com MitraClip®.¹³⁻¹⁹

A análise da mecânica ventricular esquerda pelo ST3D permite o cálculo da *área strain* tridimensional. Este índice representa um parâmetro semiautomático e relativamente novo, que tem se demonstrado muito promissor em diferentes condições clínicas, além de apresentar ótima reprodutibilidade, sendo, portanto, consistente e confiável.¹² Conceitualmente representa a mudança fracional da área de superfície miocárdica durante a sístole e integra a avaliação das fibras circunferenciais e longitudinais nas camadas endocárdica



Figura 4 – Exemplo do twist calculado pelo ST3D demonstrado pelas curvas e tabela com os valores encontrados em cada segmento miocárdico.

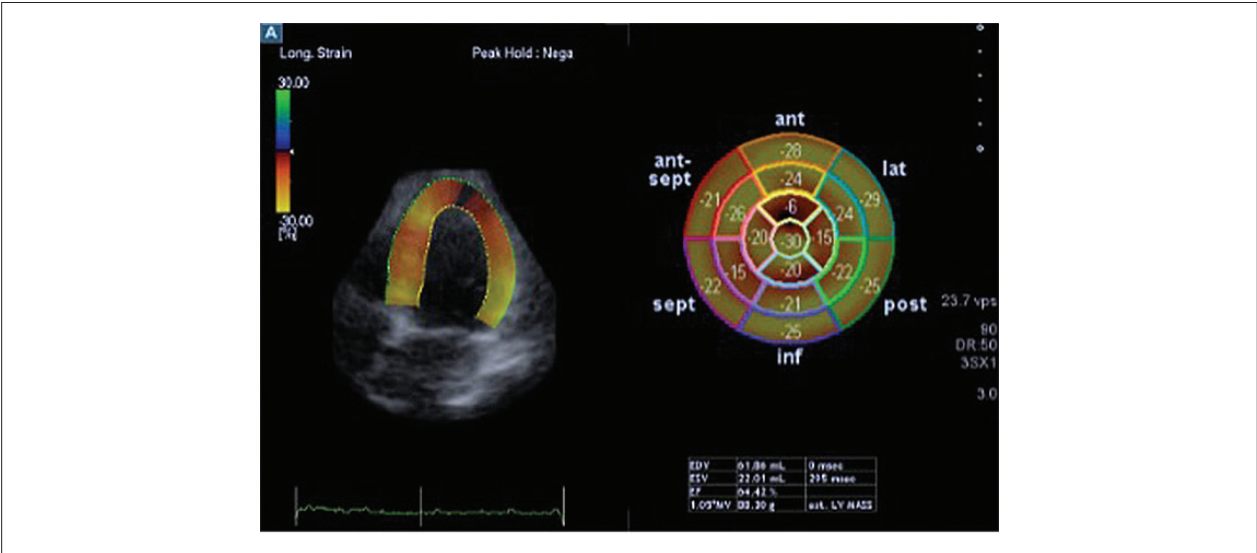


Figura 5 – Exemplo de mapa polar ou bull's eye do strain longitudinal do ventrículo esquerdo calculado pelo ST3D.

e subendocárdica.⁹ Em diferentes contextos clínicos, especialmente naqueles envolvendo o estresse oxidativo celular como um dos mecanismos de injúria miocárdica, como por exemplo na cardiotoxicidade induzida por quimioterápicos, estudos sugerem que a *area strain* tridimensional alterada seja um marcador mais sensível de disfunção ventricular e possa representar dano muito precoce dos cardiomiócitos, com potencial impacto prognóstico nestes cenários.¹⁹

Apesar de inúmeros estudos demonstrarem o potencial impacto da tecnologia tridimensional para a análise da mecânica ventricular, trabalhos maiores, mais robustos e com maior poder científico, são necessários para estabelecer o uso rotineiro do ST3D na prática nos laboratórios de

ecocardiografia. Além disto, avanços tecnológicos com melhoria na resolução espacial e temporal e uma metodologia padronizada para obter medidas de *strain* tridimensional independentes do fabricante são esperados no futuro para uma aplicação ampla do ST3D não somente em ambientes de pesquisa como também em cenários clínicos específicos (Figura Central).

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa e revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Piveta RB; redação do manuscrito: Piveta RB, Aguiar MOD, Silva LLM, Vieira MLC.

Artigo de Revisão

Tabela 1 – Valores de referência (%) para o strain do ventrículo esquerdo calculado pelo ST3D de acordo com os principais fabricantes e softwares

	TomTec	EchoPAC	3DWM tracking software	Philips	General Electric	Toshiba Medical Systems
Strain longitudinal	−19,84 (−21,21 a −18,48)	−19,40 (−20,06 a −18,74)	−17,04 (−17,91 a −16,17)	−19,67 (−21,27 a −18,08)	−19,40 (−20,06 a −18,74)	−17,04 (−17,91 a −16,17)
Strain circunferencial	23,30 (28,33 a 18,26)	−19,47 (−20,49 a −18,45)	−28,79 (−32,90 a 24,78)	−22,13 (−26,73 a −17,52)	−19,47 (−21,49 a −18,45)	−28,79 (−32,90 a 24,78)
Strain radial	55,99 (44,73 a 67,25)	50,41 (47,96 a −52,87)	33,17 (24,38 a 41,97)	59,24 (41,91 a 76,56)	50,41 (47,96 a 52,87)	33,17 (−24,38 a 41,97)
Area strain	−34,14 (−37,21 a −31,07)	−32,50 (−33,87 a −31,14)	−42,07 (−46,28 a −39,86)	−33,54 (−37,29 a −29,79)	−32,50 (−33,87 a −31,14)	−43,07 (−46,28 a −39,86)

(Intervalo de confiança de 95%). 3DWM: tridimensional wall motion.

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

- Arias-Godínez JA, Guadalajara-Boo JF, Patel AR, Pandian NG. Function and Mechanics of the Left Ventricle: From Tissue Doppler Imaging to Three Dimensional Speckle Tracking. Arch Cardiol Mex. 2011;81(2):114-25.
- 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.
- Sorrentino R, Esposito R, Pezzullo E, Galderisi M. Real-time Three-dimensional Speckle Tracking Echocardiography: Technical Aspects and Clinical Applications. Res Reports Clin Cardiol. 2016;7:147-58. doi: 10.2147/RRCC.S107374.
- Isla LP, Balcones DV, Zamorano J. Three-dimensional Speckle Tracking. Curr Cardiovasc Imaging Rep. 2008;1(1):25-9.
- Isla LP, Balcones DV, Fernández-Golfín C, Marcos-Alberca P, Almería C, Rodrigo JL, et al. Three-dimensional-wall Motion Tracking: A New and Faster Tool for Myocardial Strain Assessment: Comparison with Two-dimensional-wall Motion Tracking. J Am Soc Echocardiogr. 2009;22(4):325-30. doi: 10.1016/j.echo.2009.01.001.
- Muraru D, Niero A, Rodriguez-Zanella H, Cherata D, Badano L. Three-dimensional Speckle-tracking Echocardiography: Benefits and Limitations of Integrating Myocardial Mechanics with Three-dimensional Imaging. Cardiovasc Diagn Ther. 2018;8(1):101-17. doi: 10.21037/cdt.2017.06.01.
- Nesser HJ, Mor-Avi V, Gorissen W, Weinert L, Steringer-Mascherbauer R, Niel J, et al. Quantification of Left Ventricular Volumes Using Three-dimensional Echocardiographic Speckle Tracking: Comparison with MRI. Eur Heart J. 2009;30(13):1565-73. doi: 10.1093/eurheartj/ehp187.
- Kleijn SA, Aly MF, Terwee CB, van Rossum AC, Kamp O. Reliability of Left Ventricular Volumes and Function Measurements Using Three-dimensional Speckle Tracking Echocardiography. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2012;13(2):159-68. doi: 10.1093/ejchocard/jer174.
- Kleijn SA, Aly MF, Terwee CB, van Rossum AC, Kamp O. Three-dimensional Speckle Tracking Echocardiography for Automatic Assessment of Global and Regional Left Ventricular Function Based on Area Strain. J Am Soc Echocardiogr. 2011;24(3):314-21. doi: 10.1016/j.echo.2011.01.014.
- 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. Eur J Echocardiogr. 2011;12(3):167-205. doi: 10.1093/ejchocard/jer021.
- Kleijn SA, Pandian NG, Thomas JD, Isla LP, Kamp O, Zuber M, et al. Normal Reference Values of Left Ventricular Strain Using Three-dimensional Speckle Tracking Echocardiography: Results from a Multicentre Study. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2015;16(4):410-6. doi: 10.1093/ehjci/jeu213.
- Truong VT, Phan HT, Pham KNP, 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. doi: 10.1016/j.echo.2019.07.012.
- Du GQ, Hsiung MC, Wu Y, Qu SH, Wei J, Yin WH, et al. Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiographic Monitoring of Acute Rejection in Heart Transplant Recipients. J Ultrasound Med. 2016;35(6):1167-76. doi: 10.7863/ultra.15.07013.
- Matsumoto K, Tanaka H, Kaneko A, Ryo K, Fukuda Y, Tatsumi K, et al. Contractile Reserve Assessed by Three-dimensional Global Circumferential Strain as a Predictor of Cardiovascular Events in Patients with Idiopathic Dilated Cardiomyopathy. J Am Soc Echocardiogr. 2012;25(12):1299-308. doi: 10.1016/j.echo.2012.09.018.
- Li CM, Li C, Bai WJ, Zhang XL, Tang H, Qing Z, et al. Value of Three-dimensional Speckle-tracking in Detecting Left Ventricular Dysfunction in Patients with Aortic Valvular Diseases. J Am Soc Echocardiogr. 2013;26(11):1245-52. doi: 10.1016/j.echo.2013.07.018.

16. Schueler R, Sinning JM, Momcilovic D, Weber M, Ghanem A, Werner N, et al. Three-dimensional Speckle-tracking Analysis of Left Ventricular Function After Transcatheter Aortic Valve Implantation. *J Am Soc Echocardiogr.* 2012;25(8):827-34. doi: 10.1016/j.echo.2012.04.023.
17. Vitarelli A, Mangieri E, Capotosto L, Tanzilli G, D'Angeli I, Viceconte N, et al. Assessment of Biventricular Function by Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Secondary Mitral Regurgitation after Repair with the MitraClip System. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(9):1070-82. doi: 10.1016/j.echo.2015.04.005.
18. Monte IP, Mangiafico S, Buccheri S, Bottari VE, Lavanco V, Arcidiacono AA, et al. Myocardial Deformational Adaptations to Different Forms of Training: A Real-time Three-dimensional Speckle Tracking Echocardiographic Study. *Heart Vessels.* 2015;30(3):386-95. doi: 10.1007/s00380-014-0520-9.
19. Piveta RB, Rodrigues ACT, Vieira MLC, Fischer CH, Afonso TR, Daminello E, et al. Early Change in Area Strain Detected by 3D Speckle Tracking Is Associated With Subsequent Cardiotoxicity in Patients Treated With Low Doses of Anthracyclines. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:842532. doi: 10.3389/fcvm.2022.842532.



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