

Como eu Faço para Otimizar meu Equipamento para o Uso dos Agentes de Realce Ultrassonográfico

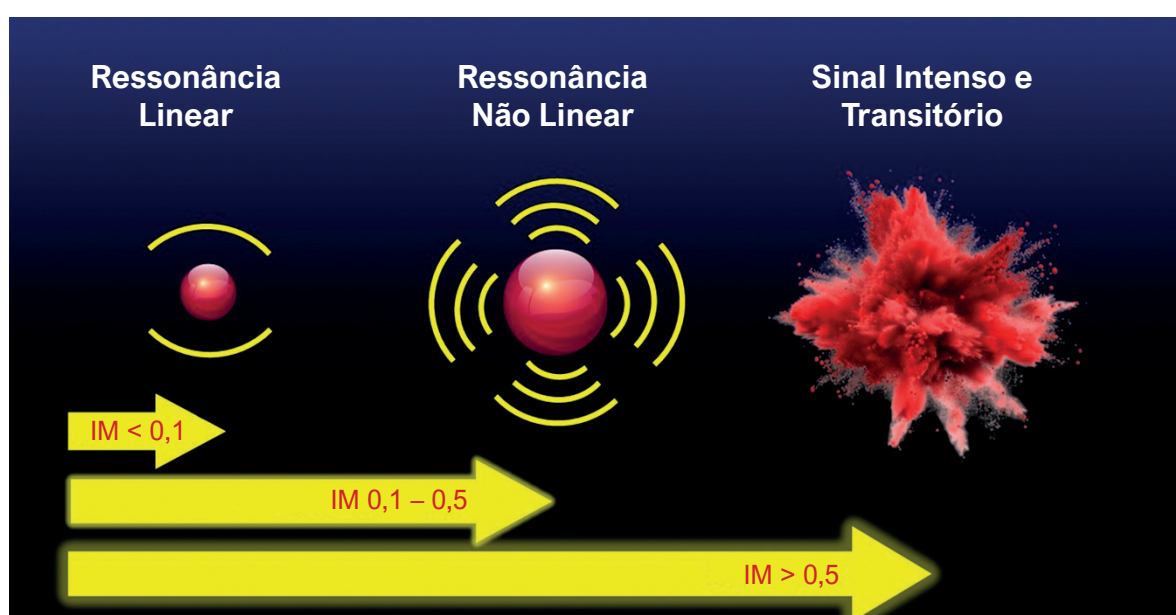
My approach to optimize my equipment for the use of ultrasound contrast agents

Marcio S. M. Lima^{1,2} 

Instituto do Coração (InCor), Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo,¹ São Paulo, SP – Brasil

Grupo Fleury,² São Paulo, SP – Brasil

Figura Central: Como eu Faço para Otimizar meu Equipamento para o Uso dos Agentes de Realce Ultrassonográfico



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2025;38(3):e20250061

Ressonância das microbolhas em resposta à energia transmitida pelo transdutor do equipamento de ecocardiograma. IM: índice mecânico.

Resumo

A ecocardiografia contrastada, fundamentada nos agentes de realce ultrassonográfico à base de microbolhas, tem sido cada vez mais incorporada aos serviços de ecocardiografia.

Palavras-chave

Ecocardiografia Contrastada; Agentes de Reace Ultrassonográfico

Correspondência: Marcio S. M. Lima •

Instituto do Coração (InCor) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP). Av. Dr. Eneas de Carvalho Aguiar, 44. CEP: 05403-000, São Paulo, SP – Brasil
E-mail: marcio.lima@incor.usp.br

Artigo recebido em 17/08/2025; revisado em 29/08/2025;
aceito em 29/08/2025

Editor responsável pela revisão: Marcelo Tavares

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20250061>

Essa técnica consiste na infusão de compostos que realçam as diversas estruturas cardíacas e vasculares. Os múltiplos ajustes necessários geralmente fazem parte de pacotes pré-configurados (*presets*) instalados nos equipamentos pelos fabricantes. Contudo, é possível, e às vezes necessário, realizar modificações para otimizar a geração das imagens e, conforme o objetivo do estudo ecocardiográfico, obter o máximo desempenho que essa técnica pode oferecer.

Introdução

A Ecocardiografia Contrastada (EC) baseia-se no uso de agentes de realce ultrassonográfico (ARUs), ou contraste ecocardiográfico, para fins de opacificação de estruturas. Trata-se de uma técnica segura, custo-efetiva, que auxilia de forma significativa o processo diagnóstico e, em consequência, a condução do tratamento, melhorando a evolução dos pacientes nos diversos cenários clínicos.¹⁻⁴

Nesta técnica avançada da ecocardiografia, são utilizados compostos a base de microbolhas, que se tratam de microesferas constituídas por gás de alto peso molecular (perfluorocarbono ou hexafluoreto de enxofre) encapsuladas por um invólucro de albumina ou lipídio. Além das microbolhas possuírem um tamanho inferior em comparação às hemácias, essa composição lhe confere alguns aspectos peculiares. Por exemplo, uma menor solubilidade e difusibilidade no sangue, ou seja, maior estabilidade do composto, o que permite atravessar a barreira capilar pulmonar.⁵ Um outro aspecto muito importante é a reologia da microbolha quando em interação com as ondas de ultrassom (USG). A depender da quantidade de energia transmitida, haverá desde oscilação radial linear, não linear, até a destruição da microbolha. Desta forma, este ajuste é crucial na EC (Figura Central).

A opacificação das estruturas ocorre pela interação das ondas de USG com as microbolhas, gerando um potente sinal refletido (de aproximadamente 135 vezes) a ser captado pelo equipamento de ecocardiograma. Neste ponto, com a finalidade de se obter o máximo desta técnica, é de suma importância um ajuste otimizado do aparelho utilizado. Os múltiplos ajustes necessários geralmente fazem parte de pacotes já montados pelos fabricantes (*presets*), e a principal variável é a energia transmitida, medida pelo chamado Índice Mecânico (IM). Esse ajuste deve ser balizado principalmente pelo objetivo do exame ecocardiográfico que está sendo realizado.

Agentes de realce ultrassonográfico e ecocardiografia contrastada

As principais e mais frequentes indicações para o uso dos ARUs são:

- Imagem acústica com qualidade ruim. O uso dos ARUs pode “salvar” exames que teoricamente poderiam levar a novas solicitações de outros métodos mais complexos e onerosos (Figura 1);⁶⁻⁸

- Quantificação de volumes e avaliação da função sistólica do Ventrículo Esquerdo (VE). Esta estimativa tem excelente correlação com a ressonância magnética cardíaca, aumentando a reprodutibilidade interobservador (Figura 2);^{9,10}
- Otimização do sinal Doppler para avaliação de gradientes valvares e estimativa da pressão sistólica na artéria pulmonar;
- Ecocardiografia sob estresse: otimiza a análise da motilidade segmentar e permite avaliar a perfusão miocárdica (Figura 3);
- Pesquisa de trombos e avaliação de massas cardíacas;
- Pesquisa de rotura do VE;
- Delimitação de área na alcoolização septal da cardiomiopatia hipertrófica.

São muitos os benefícios do uso dos ARUs no exame ecocardiográfico. Seguem alguns listados abaixo:

- São seguros e custo-efetivos;
- Têm administração relativamente simples e rápida;
- Não são nefrotóxicos;
- Não depositam nos diversos tecidos;
- Estão associados a uma melhor definição diagnóstica em múltiplos cenários e a melhor evolução em pacientes críticos.

Embora relativamente simples, alguns passos são essenciais para a administração dos ARUs. Os principais são aqui mencionados:

1. Deve ser obtido um acesso venoso periférico de preferência na fossa antecubital, com calibre de pelo menos 20G, associado à instalação de uma torneira de três vias. Esse acesso deve ter a sua patência testada para garantir uma boa infusão;

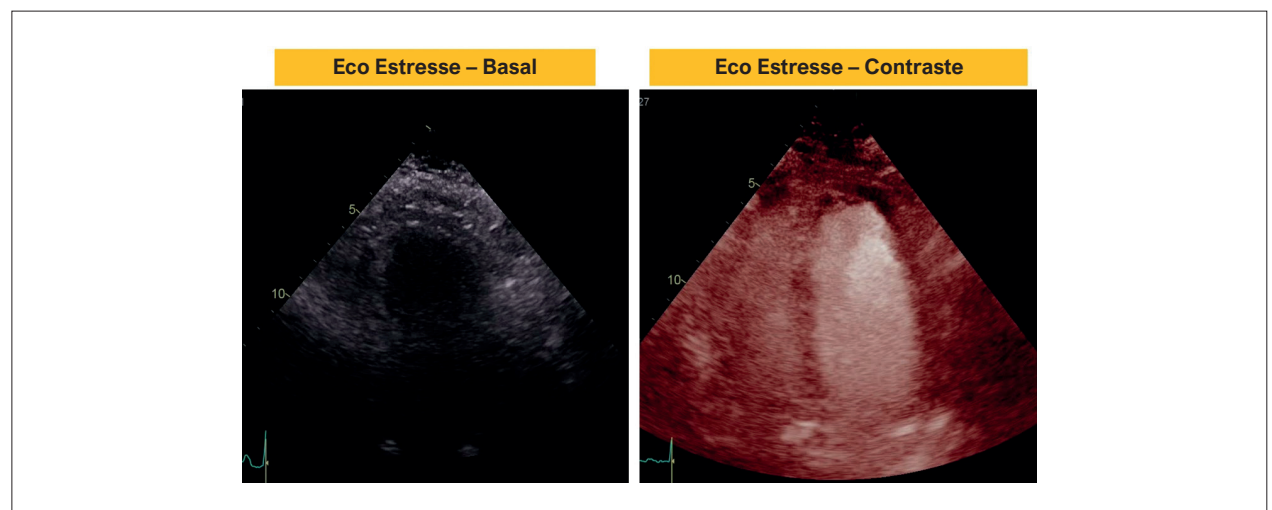


Figura 1 – Paciente portador de doença pulmonar obstrutiva crônica e obesidade com solicitação de ecocardiograma farmacológico sob estresse pela dobutamina. Imagem basal com qualidade reduzida. Houve melhora com o uso do agente de realce de ultrassom possibilitando a realização do exame.

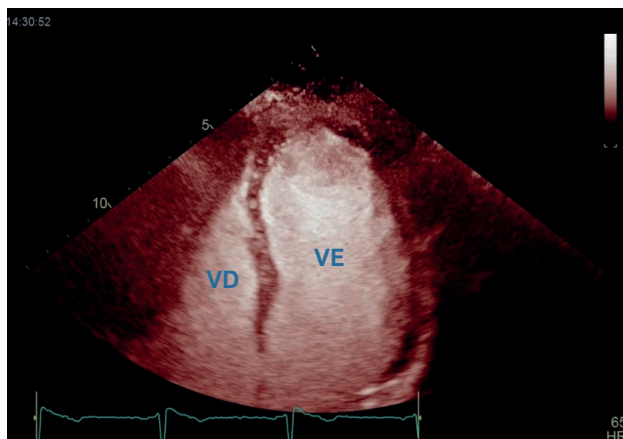


Figura 2 – A visualização mais nítida dos bordos possibilita uma medida mais acurada dos volumes do ventrículo esquerdo e cálculo da fração de ejeção, reduzindo a variabilidade interobservador. VE: ventrículo esquerdo; VD: ventrículo direito.

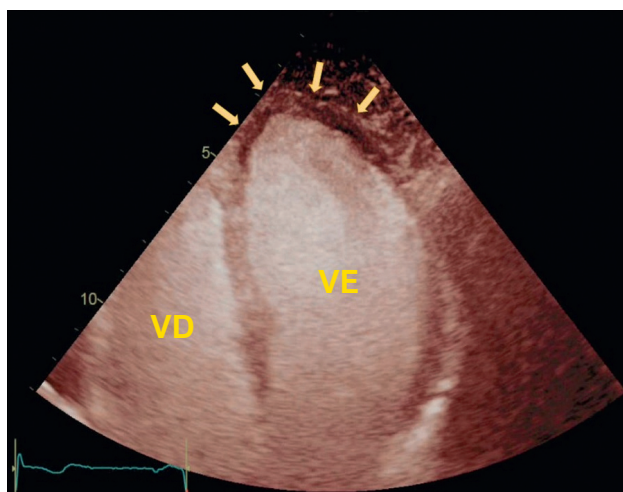


Figura 3 – Mulher de 60 anos submetida à ecocardiografia contrastada sob estresse farmacológico pela dobutamina. Apresentou desconforto torácico e infradesnívelamento do segmento ST em derivações precordiais no traçado eletrocardiográfico. Observou-se área com déficit de perfusão miocárdica no ápice do ventrículo esquerdo associada à hipocinesia local (setas). Teste positivo para presença de isquemia miocárdica. VE: ventrículo esquerdo; VD: ventrículo direito.

2. Preparo do ARU conforme especificação do fabricante. O Sonovue, agente aprovado pela ANVISA e liberado para uso rotineiro no Brasil, consiste em um kit contendo basicamente um frasco-ampola com as microbolhas liofilizadas de hexafluoreto de enxofre numa concentração de 8 μ L/mL e uma seringa com diluente de solução de cloreto de sódio a 0,9%. Após a diluição, o composto deve ser homogeneizado manualmente e de forma suave;
3. O Sonovue pode ser usado em pequenos bolus ou, muito menos frequentemente, em infusão contínua. Os bolus de infusão do Sonovue variam entre 0,5 e 1,0 mL,

seguidos de um *flush* de 5 mL de SF 0,9% infundido em 5 a 10 segundos, ou pela elevação do membro. Recomenda-se usar o menor bolus possível que garanta uma boa opacificação, assim economizando para realização de todo o estudo ecocardiográfico. Um contraste ótimo do VE seria uma adequada opacificação da cavidade com nítida determinação da interface endocárdio-cavidade (bordo endocárdico). O uso de uma dose excessiva do ARU pode levar à formação do artefato de “*blooming*”, um grande brilho apical com distorção das estruturas adjacentes, e de sombra acústica com atenuação da imagem nos segmentos basais.

Já a infusão de uma dose menor pode ocasionar um contraste inferior da porção apical, com aspecto “em redemoinho” (*swirling*), além de atenuação miocárdica que pode ser generalizada ou segmentar, mimetizando déficits de perfusão.

Otimizando o meu equipamento para a ecocardiografia contrastada

A reologia das microbolhas e a elevada capacidade refletiva das ondas de USG são o cerne da técnica de opacificação de imagem na EC. A composição estrutural da microesfera leva a diferentes comportamentos da bolha quando em interação com feixes de USG com diferentes níveis de energia transmitida.

O IM é uma medida que expressa a energia transmitida aos tecidos, ou seja, a potência acústica. Conceitualmente, corresponde à pressão negativa máxima da onda de USG dividida pela raiz quadrada da frequência central ($P_-/\sqrt{f}$), sendo superior a 0,8 na maioria das imagens sem contraste. Este é o principal parâmetro a ser ajustado na EC. Um IM muito baixo ($< 0,2$) ocasiona uma oscilação radial assimétrica e não linear das microbolhas, caracterizada por uma expansão na fase de rarefação da onda de USG superior à compressão no pico de pressão acústica. Isso é muito importante na EC, pois além de refletir a frequência fundamental do feixe de USG transmitida pelo transdutor, gera múltiplas frequências harmônicas, em especial a segunda harmônica.⁵ O sinal gerado é intenso, sendo a base da opacificação da EC. Ao mesmo tempo, os equipamentos na EC são dotados de algoritmos específicos de cancelamento de imagem, que filtram os sinais recebidos. Duas das tecnologias mais usadas para esse fim são a modulação de amplitude de pulso e a inversão de pulso, exemplificada na Figura 4.

Outro ponto relevante é que, com a baixa quantidade de energia transmitida, ocorre pouca destruição das microbolhas dentro da microvascularização miocárdica. Isso permite, além de realçar a cavidade do VE, avaliar a perfusão miocárdica (PM). Seguindo a recomendação de usar a imagem no modo fundamental (embora o modo harmônico também possa ser usado), com IM muito baixo ($< 0,2$), obtém-se uma ótima relação sinal-ruído do contraste, com excelente delineamento da interface entre o miocárdio e a cavidade do VE (bordos endocárdicos), além da possibilidade de avaliar a PM. Assim, o ajuste para um IM muito baixo ($< 0,20$) associado à tecnologia de algoritmos de cancelamento de imagem, são os parâmetros ótimos para se avaliar volumes, fração de ejeção, contração segmentar e PM, inclusive em tempo real, tanto no repouso quanto sob estresse.^{4,11-13}

Especificamente para a avaliação da PM recomenda-se o uso de “*flashes*” de pulsos de alta energia (IM: 0,8-1,2; 5-15 quadros) com a finalidade de destruir as microbolhas no interior do miocárdio (preservando a opacificação dentro da cavidade cardíaca) e observar o tempo de preenchimento que deve ser inferior a cinco segundos no repouso e a dois segundos no estresse. Normalmente, esse comando já está inserido no *preset* do equipamento, sendo facilmente acionado.

Níveis intermediários de IM (0,2-0,5) podem ser utilizados. Com isso, obtém-se maior resolução de imagem, porém à custa de maior destruição das microbolhas. Valores de IM acima de 0,5 não devem ser usados na EC. Exemplos de situações em esse nível de energia pode ser empregado são: pesquisa de trombos e massas, e no diagnóstico da miocardiopatia não compactada.

Com relação à tecnologia de geração de imagens, embora atualmente seja possível utilizar a harmônica nos transdutores durante a ecocardiografia contrastada (EC), recomenda-se o uso da frequência fundamental não linear. Essa abordagem garante uma melhor relação sinal-ruído do contraste na imagem, com a taxa de enquadramento (*frame rate*) ajustada para aproximadamente 25-35 Hz e frequência de transmissão do transdutor inferior a 2,0 MHz.

Em pacientes com maior superfície corpórea, pode ser necessário ajustar para uma frequência de transmissão ainda menor, a fim de permitir maior penetração do feixe de ultrassom nos tecidos. É possível utilizar tanto a imagem em escala de cinza quanto aplicar coloração (“*croma*”), como o vermelho rubi, nas imagens geradas.

A profundidade deve ser ajustada de acordo com o objetivo do exame. Caso o foco seja a opacificação do VE para quantificar volumes e avaliar a função sistólica e o delineamento de bordas endocárdicas para análise de contração segmentar, deve-se ajustar a profundidade da imagem para se visualizar a valva mitral e cerca de 1 a 2 cm do átrio esquerdo.

A atenuação da imagem nos segmentos basais do VE pode ocorrer, sobretudo quando se usa uma quantidade de ARU acima do necessário. Isso pode levar a um diagnóstico errôneo de déficit de perfusão nesses locais. Algumas estratégias podem ser adotadas para melhorar essa definição, como centralizar os segmentos basais na imagem — já que a resolução axial é superior à lateral no campo ultrassonográfico —, posicionar o foco no nível da valva mitral e aumentar o ganho nessa área por meio do ajuste do ganho setorial. Um exemplo desses ajustes está ilustrado na Figura 5.

Por outro lado, se o objetivo for a pesquisa de um possível trombo apical, miocardiopatia não compactada ou avaliação de aneurisma apical (Figura 6), é necessário reduzir a profundidade da imagem e ajustar o foco para essa região específica. O ajuste do Índice Mecânico (IM) para um nível intermediário (2,0-3,0) pode contribuir para melhorar a resolução espacial, embora isso ocorra à custa de maior destruição das microbolhas.

Atenuação também pode ocorrer no miocárdio da região apical do VE, devido à maior potência acústica nessa área e, eventualmente, à maior taxa de enquadramento, o que leva à destruição acentuada das microbolhas. Ajustes recomendados para otimizar a imagem nesses casos incluem a redução da taxa de enquadramento e o ajuste do ganho local.⁴

Por fim, é possível se usar os ARUs para auxiliar na estimativa de gradientes valvares e da pressão sistólica na artéria pulmonar. Neste caso, o sinal (e ruído) gerado pode ser intenso. A recomendação é reduzir o ganho até que se obtenha obter curvas espectrais com envelopes nítidos.⁴

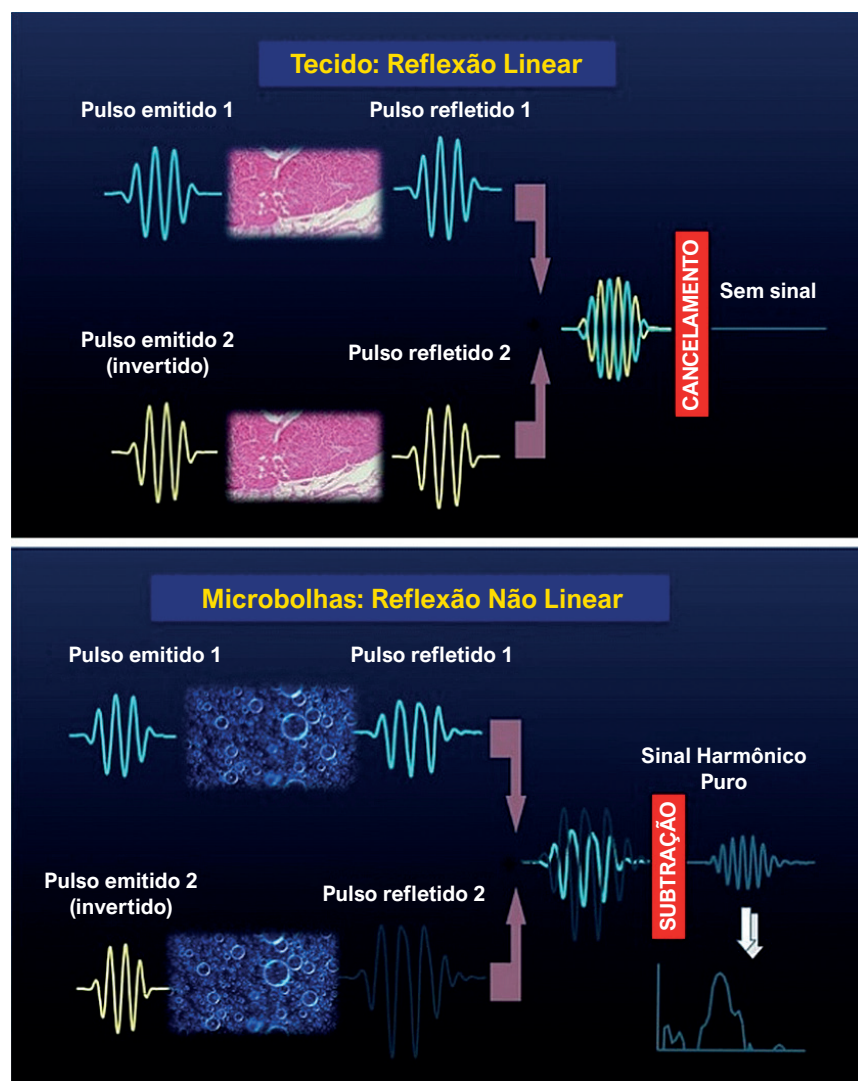


Figura 4 – Algoritmo de pulso invertido para cancelamento de imagem. Dois pulsos de ultrassom são emitidos na frequência fundamental, um normal e outro invertido. Acima: nos tecidos eles serão refletidos de forma semelhante (reflexão linear). A subtração destes pulsos recebidos tem a resultante nula (sem sinal), levando ao cancelamento (imagem com menor brilho no setor). Abaixo: os pulsos são refletidos pelas microbolhas na frequência fundamental e em harmônicas. A subtração destes pulsos refletidos levará a “retirada da frequência fundamental” tendo como resultante um sinal harmônico “puro”, disposto na intensidade brilhante na imagem.

Conclusão

A EC, fundamentada na opacificação das estruturas cardíacas por meio do uso dos ARU por microbolhas, tem sido cada vez mais incorporada nos diversos serviços de ecocardiografia. São muitos os benefícios desse procedimento, mas para se obter o máximo que essa técnica pode oferecer, alguns ajustes do equipamento são necessários. Habitualmente, os pacotes (presets) de ajustes já vêm montados e instalados pelos fabricantes nos equipamentos, sendo recomendado utilizá-los. O principal ajuste é o nível de energia transmitida pelo transdutor, representado pelo IM, importante para reduzir a destruição das microbolhas. Isto

possibilita uma adequada opacificação do VE e a avaliação da PM. Outros ajustes incluem o posicionamento do foco para o nível da valva mitral, a modificação do ganho geral e/ou setorial para melhorar a visualização dos segmentos apicais e basais, a redução da taxa de enquadramento, o ajuste da profundidade do feixe de ultrassom e o uso do modo fundamental ou harmônico para geração da imagem.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa; Obtenção de dados; Análise e interpretação dos dados; Análise estatística; Redação

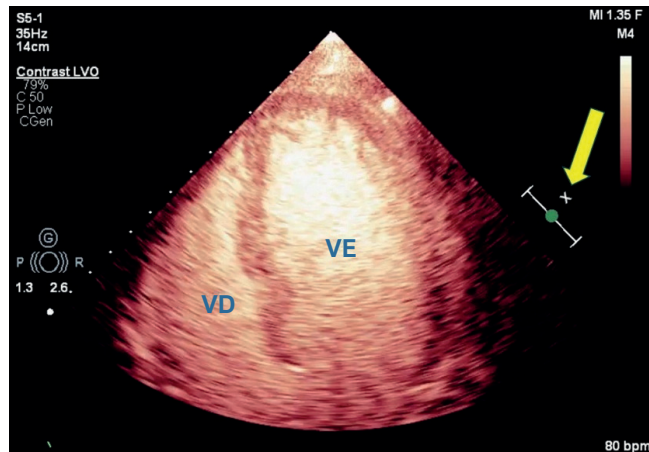


Figura 5 – Ecocardiograma contrastado. Ajustes recomendados para otimizar essa imagem: posicionamento do foco (seta amarela) no nível da valva mitral para melhor resolução acústica dos segmentos basais e redução do ganho para melhor delimitação das bordas endocárdicas. VE: ventrículo esquerdo; VD: ventrículo direito.

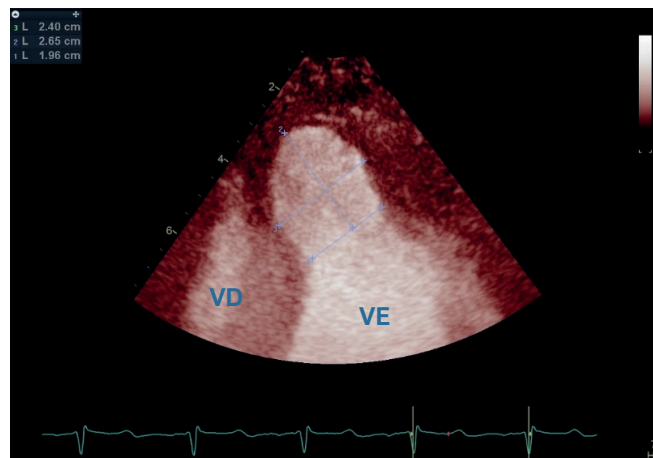


Figura 6 – Imagem de aneurisma apical melhor visualizado com o uso do agente de realce ultrassonográfico, permitindo nítida definição dos bordos endocárdicos e mensuração mais acurada. VE: ventrículo esquerdo; VD: ventrículo direito.

do manuscrito; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Lima MSM.

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.

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Porter TR, Mulvagh SL, Abdelmoneim SS, Becher H, Belcik JT, Bierig M, et al. Clinical Applications of Ultrasonic Enhancing Agents in Echocardiography: 2018 American Society of Echocardiography Guidelines Update. *J Am Soc Echocardiogr*. 2018;31(3):241-74. doi: 10.1016/j.echo.2017.11.013.
2. Porter TR, Feinstein SB, Senior R, Mulvagh SL, Nihoyannopoulos P, Strom JB, et al. CEUS Cardiac Exam Protocols International Contrast Ultrasound Society (ICUS) Recommendations. *Echo Res Pract*. 2022;9(1):7. doi: 10.1186/s44156-022-00008-3.
3. Senior R, Becher H, Monaghan M, Agati L, Zamorano J, Vanoverschelde JL, et al. Clinical Practice of Contrast Echocardiography: Recommendation by the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) 2017. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2017;18(11):1205-1205af. doi: 10.1093/ehjci/jex182.
4. Porter TR, Abdelmoneim S, Belcik JT, McCulloch ML, Mulvagh SL, Olson JJ, et al. Guidelines for the Cardiac Sonographer in the Performance of Contrast Echocardiography: A Focused Update from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(8):797-810. doi: 10.1016/j.echo.2014.05.011.
5. Burns PN. Harmonic Imaging with Ultrasound Contrast Agents. *Clin Radiol*. 1996;51(Suppl 1):50-5.
6. Costa JM, Tsutsui JM, Nozawa E, Morhy SS, Andrade JL, Ramires JF, et al. Contrast Echocardiography Can Save Nondiagnostic Exams in Mechanically Ventilated Patients. *Echocardiography*. 2005;22(5):389-94. doi: 10.1111/j.1540-8175.2005.03176.x.
7. Makaryus AN, Zubrow ME, Gillam LD, Michelakis N, Phillips L, Ahmed S, et al. Contrast Echocardiography Improves the Diagnostic Yield of Transthoracic Studies Performed in the Intensive Care setting by Novice Sonographers. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18(5):475-80. doi: 10.1016/j.echo.2004.10.004.
8. Kurt M, Shaikh KA, Peterson L, Kurrelmeyer KM, Shah C, Nagueh SF, et al. Impact of Contrast Echocardiography on Evaluation of Ventricular Function and Clinical Management in a Large Prospective Cohort. *J Am Coll Cardiol*. 2009;53(9):802-10. doi: 10.1016/j.jacc.2009.01.005.
9. Saloux E, Labombarda F, Pellissier A, Anthune B, Dugué AE, Provost N, et al. Diagnostic Value of Three-Dimensional Contrast-Enhanced Echocardiography for Left Ventricular Volume and Ejection Fraction Measurement in Patients with Poor Acoustic Windows: A Comparison of Echocardiography and Magnetic Resonance Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(10):1029-40. doi: 10.1016/j.echo.2014.06.006.
10. Hoffmann R, von Bardeleben S, ten Cate F, Borges AC, Kasprzak J, Firsche C, et al. Assessment of Systolic Left Ventricular Function: A Multi-Centre Comparison of Cineventriculography, Cardiac Magnetic Resonance Imaging, Unenhanced and Contrast-Enhanced Echocardiography. *Eur Heart J*. 2005;26(6):607-16. doi: 10.1093/eurheartj/ehi083.
11. Sieswerda GT, Yang L, Boo MB, Kamp O. Real-Time Perfusion Imaging: A New Echocardiographic Technique for Simultaneous Evaluation of Myocardial Perfusion and Contraction. *Echocardiography*. 2003;20(6):545-55. doi: 10.1046/j.1540-8175.2003.03093.x.
12. Muskula PR, Main ML. Safety with Echocardiographic Contrast Agents. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017;10(4):e005459. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005459.
13. Kaufmann BA, Wei K, Lindner JR. Contrast Echocardiography. *Curr Probl Cardiol*. 2007;32(2):51-96. doi: 10.1016/j.cpcardiol.2006.10.004.



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