

Strain do Ventrículo Esquerdo na ICFeP: Uma Visão Prática dos Aspectos Diagnósticos, Resposta ao Exercício e ao Desafio de Pós-carga

Left Ventricular Strain in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: A Fast Dive into Diagnosis, Response to Exercise and Afterload Challenge

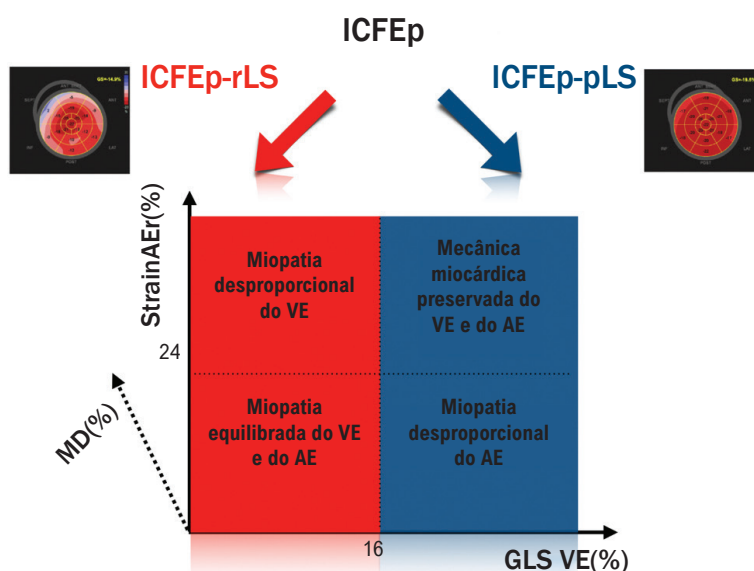
Renato A. Hortegal,^{1,2} David Le Bihan,^{1,2} Mariana Mendes Mathias,³ Rodrigo Barretto,¹ Wilson Mathias Jr^{1,2}

Universidade de São Paulo, Instituto do Coração,¹ São Paulo, SP – Brasil

Grupo Fleury,² São Paulo, SP – Brasil

Hospital das Clínicas FMUSP,³ São Paulo, SP – Brasil

Figura Central: Strain do Ventrículo Esquerdo na ICFeP: Uma Visão Prática dos Aspectos Diagnósticos, Resposta ao Exercício e ao Desafio de Pós-carga



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2024;37(4):e20240104

Estratégia de fenotipagem para ICFeP. Com base na deformação ventricular esquerda, existem dois fenótipos distintos de ICFeP: ICFeP com função sistólica longitudinal reduzida (ICFeP-rLS) e ICFeP com função sistólica longitudinal preservada (ICFeP-pLS). A integração da fase de reservatório do strain esquerdo (StrainAEr) é sugerida para introduzir uma dimensão abrangente que aborde deficiências tanto no VE quanto no AE. Além disso, a inclusão potencial de MD poderia refinar ainda mais a estratificação. ICFeP: Insuficiência Cardíaca com Fração de Ejeção Preservada; VE: ventrículo esquerdo; AE: átrio esquerdo; StrainAEr: reservatório de deformação do átrio esquerdo; MD: dispersão mecânica; GLS: Deformação Longitudinal Global; ICFeP-rLS: ICFeP com função sistólica longitudinal reduzida.

Palavras-chave

Insuficiência Cardíaca; Ecocardiografia; Exercício Físico

Correspondência: David Le Bihan •

Instituto do Coração (InCor), Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP. Av. Dr. Enéas Carvalho de Aguiar, 44. CEP: 05403-900. Cerqueira César, São Paulo, SP – Brasil

E-mail: david.bihan@hc.fm.usp.br

Artigo recebido em 24/10/2024; revisado em 28/10/2024; aceito em 28/10/2024

Editor responsável pela revisão: Marcelo Tavares

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20240104>

Resumo

A Insuficiência Cardíaca com Fração de Ejeção Preservada (ICFeP) é um desafio crescente na cardiologia, marcada por anormalidades na função sistólica e/ou diastólica. Pacientes com ICFeP frequentemente apresentam intolerância ao exercício, mas o diagnóstico é muitas vezes dificultado devido sobreposição de comorbidades, como obesidade e hipertensão. A Deformação Longitudinal Global (GLS) do ventrículo esquerdo (VE) permite a detecção de disfunções sistólicas sutis, em que estudos apontam uma correlação mais forte entre o GLS e a capacidade

de realização do exercício do que a fração de ejeção (FE). Na ecocardiografia de exercício, o GLS exibe um padrão bimodal característico devido a adaptações hemodinâmicas, com desvios sugerindo ICfEp. Em caso de inviabilidade do teste de exercício ou quando a avaliação específica do acoplamento ventricular-arterial é desejada, um desafio de pós-carga oferece uma alternativa controlada ao aumentar a resistência sistêmica. Além do GLS, a dispersão mecânica (MD) mede a heterogeneidade contrátil, enquanto a deformação atrial esquerda (StrainAE) se mostrou promissora na identificação de disfunção atrial ligada à ICfEp. Esses parâmetros, avaliados juntamente com as razões E/e' e a pressão sistólica pulmonar durante o exercício, melhoram o diagnóstico de ICfEp, oferecem uma visão mais abrangente da fisiopatologia da síndrome e garantem informações valiosas para fundamentar a decisão de tratamento.

Introdução

A insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada (ICfEp) é uma doença prioritária em saúde pública, contabilizando pelo menos 50% de todos os pacientes com insuficiência cardíaca, e com uma prevalência crescente.¹ Essa condição representa uma grande necessidade não atendida em cardiologia, e com lacunas consideráveis de conhecimento sobre sua fisiopatologia, história natural, diagnóstico e tratamento.¹

A principal queixa dos pacientes com ICfEp é a intolerância ao exercício. No entanto, avaliar esse sintoma com precisão, com base apenas na anamnese, pode ser um desafio. O fenótipo típico de ICfEp, frequentemente chamado de ICfEp "Garden Variety" (um termo em inglês que descreve algo comum ou padrão, sem características excepcionais), habitualmente inclui pelo menos quatro comorbidades, como obesidade, hipertensão, fibrilação atrial e doença renal. Essas comorbidades complicam o diagnóstico diferencial, dificultando a distinção entre a capacidade reduzida de exercício causada pelas comorbidades e a síndrome de insuficiência cardíaca propriamente dita.^{2,3} Além disso, muitos pacientes têm apresentações clínicas sem sinais de hipervolemia ao exame físico, limitando a sensibilidade dos critérios dos clássicos de Framingham.²⁻⁴

Nesse contexto, a ecocardiografia desempenha um papel crucial na avaliação de pacientes com suspeita de ICfEp, e a imagem da deformação pode, de fato, oferecer informações críticas para melhorar o desempenho diagnóstico.^{5,6} A ICfEp tem sido tradicionalmente associada à disfunção diastólica grave, levando à "insuficiência cardíaca retrógrada" e congestão pulmonar, o que limita a capacidade de exercício.⁷

Embora a disfunção diastólica seja inegavelmente fundamental na fisiopatologia da ICfEp, outras anormalidades, incluindo disfunção sistólica sutil, apesar da fração de ejeção (FE) preservada, também desempenham um papel importante.^{1,8,9} O uso da Deformação Longitudinal Global (GLS) do ventrículo esquerdo (VE) nos permite avaliar tais anormalidades da função sistólica.²

GLS do VE como um critério diagnóstico para ICfEp

Os requisitos técnicos para obter um GLS de alta qualidade foram detalhados nas diretrizes.^{5,10} A faixa normal de GLS é entre 18% e 22% (valores modulares), com valores entre 16%

e 18% considerados limítrofes. Valores de GLS abaixo de 16% são indicativos de disfunção sistólica.¹¹

O escore proposto pela Sociedade Europeia de Cardiologia (HFA-PEFF)¹² inclui o GLS como uma característica no domínio funcional, juntamente com outras métricas dos domínios estrutural (domínio morfológico) e de biomarcadores (peptídeos natriuréticos) (Figura 1). Essa abordagem é importante, pois orienta o médico a interpretar o GLS no contexto dessas outras características para o diagnóstico da ICfEp.

Avaliar o GLS em conjunto com outras características é fundamental, pois um GLS anormal tem sido associado a diversas condições clínicas conhecidas por prejudicar o miocárdio, como hipertensão, diabetes mellitus, estenose aórtica e amiloidose. Essas condições podem atuar como fatores de risco ou mimetizadores de ICfEp.^{1,13}

Anormalidades no GLS, sem outros comprometimentos fisiopatológicos, podem não preencher todas as condições para aumentar as pressões de enchimento e causar a síndrome ICfEp. De fato, há evidências de que o GLS tem uma correlação apenas moderada com a pressão de enchimento do ventrículo esquerdo.¹⁴ Em contrapartida, outros estudos apontam que a ICfEp franca pode ocorrer sem alterações significativas no GLS em repouso, indicando que o uso isolado deste índice tem uma sensibilidade limitada.¹¹

No entanto, existem evidências de que o GLS pode ter um papel significativo nas adaptações fisiológicas cardiocirculatórias que determinam a capacidade de exercício. Uma meta-análise recente de 25 estudos, compreendendo 2136 pacientes com FE preservada e reduzida, demonstrou que tanto o GLS quanto o FE têm uma relação linear com o pico de consumo de oxigênio (VO_2). No entanto, a correlação entre VO_2 e GLS foi duas vezes mais forte que a correlação entre VO_2 e FE.⁹ Essas descobertas destacam a relevância dos recursos de imagem de deformação na avaliação dos componentes cardiocirculatórios da intolerância ao exercício.

GLS do VE na ecocardiografia de exercício

Pacientes com ICfEp podem apresentar anormalidades funcionais, especialmente durante a sobrecarga hemodinâmica. O teste de exercício utilizando um cicloergômetro é a modalidade de escolha para induzir tal estresse.^{12,15-17} Avaliar o GLS durante o exercício é, portanto, lógico e tem potencial significativo para aumentar a precisão diagnóstica em ICfEp.

Reconhecer que o GLS é um parâmetro sensível à carga^{4,5,10} é essencial, e seu comportamento durante o exercício deve ser interpretado no contexto das adaptações fisiológicas que ocorrem em diferentes fases do esforço. No estágio inicial do exercício, o débito cardíaco aumenta em função dos incrementos de pré-carga e da contratilidade cardíaca, resultando em um maior volume sistólico. Nesta fase, o GLS normalmente aumenta em comparação às condições de repouso. Na fase subsequente, aproximadamente após o primeiro limiar ventilatório, o volume sistólico tende a estabilizar, e o incremento adicional no débito cardíaco ocorre pelo aumento da frequência cardíaca, o que reduz a pré-carga e, conseqüentemente, diminui o GLS.^{18,19} Assim, o

Artigo de Revisão

Pontuação de HFA-PEFF			
Domínio Funcional	Domínio Morfológico	Domínio do PN (SR)	Domínio do PN (AF)
Maior: $e'septal < 7$ ou $e'lateral < 10\text{cm/s}^*$ $E/e' \geq 15$ Velocidade TR $> 2,8\text{m/s}$ Menor: $E/e': 9-14$ $GLS < 16\%$	Maior: $IVAE > 34\text{mL/m}^2$ $IMVE \geq 149$ e/ou $ERP > 0,42$ Menor: $IVAE: 29-34\text{mL/m}^2$ $IMVE \geq 115$ ou 95g/m^2 $ERP > 0,42$ Espessura parietal do VE $\geq 12\text{mm}$	Maior: $NT\text{-Pro-BNP} > 220\text{pg/mL}$ $BNP > 80\text{pg/mL}$ Menor: $NT\text{-Pro-BNP}: 125-220\text{pg/mL}$ $BNP: 35-80\text{pg/mL}$	Maior: $NT\text{-Pro-BNP} > 660\text{pg/mL}$ $BNP > 240\text{pg/mL}$ Menor: $NT\text{-Pro-BNP}: 365-660\text{pg/mL}$ $BNP: 105-240\text{pg/mL}$
Maior: 2 pontos; Menor: 1 ponto Escore HFA-PEFF $\geq 5 \Rightarrow$ ICfEp Escore HFA-PEFF: 2-4 $\Rightarrow$ Teste de estresse diastólico ou medição hemodinâmica invasiva			

Figura 1 – O escore HFA-PEFF para o diagnóstico de ICfEp. Escore HFA-PEFF para avaliar o diagnóstico de ICfEp. HFA-PEFF: PEFF da Heart Failure Association; NP: peptídeo natriurético; e': velocidade anular mitral diastólica precoce; E: velocidade de fluxo transmitral precoce; VRT: velocidade de regurgitação tricúspide; GLS: deformação longitudinal global do ventrículo esquerdo; IVAE: índice de volume atrial esquerdo; IMVE: índice de massa ventricular esquerda; ERP: espessura relativa da parede; VE: ventrículo esquerdo; RS: ritmo sinusal; NT-pro-BNP: N-terminal pró-peptídeo natriurético tipo B; BNP: peptídeo natriurético tipo B; FA: fibrilação atrial; ICfEp: Insuficiência Cardíaca com Fração de Ejeção Preservada; TR: refluxo tricúspide. *Os valores devem ser ajustados para $e' < 5\text{cm/s}$ e $e' lateral < 7\text{cm/s}$ se o paciente tiver idade > 75 anos/s.

GLS demonstra um padrão bimodal característico durante o exercício (Figura 2).

Apesar disso, há uma lacuna evidente na pesquisa sobre como desvios patológicos na ICfEp podem afetar ou alterar os padrões do GLS durante o exercício.

Compensação entre taxa de quadros e frequência cardíaca durante o exercício

Uma das principais considerações técnicas ao avaliar o GLS durante a ecocardiografia de exercício é a compensação entre a taxa de quadros (fps) e a frequência cardíaca. À medida que a frequência cardíaca aumenta durante o exercício, o ciclo cardíaco encurta, exigindo uma taxa de quadros mais alta para capturar detalhes do movimento do miocárdio ao longo do ciclo. Capturar a deformação do miocárdio com precisão, especialmente durante frequências cardíacas elevadas, é um desafio técnico significativo.²⁰

Taxas de quadros mais altas são necessárias para alcançar boa resolução temporal, mas isso frequentemente ocorre às custas da resolução espacial, o que pode comprometer a precisão das medições de deformação.^{20,21}

Otimizar a taxa de quadros durante a ecocardiografia de exercício é essencial para equilibrar a necessidade de resolução temporal detalhada e as limitações da resolução espacial. Uma taxa de quadros inadequada pode levar à subamostragem do movimento do miocárdio, resultando em medições imprecisas do GLS e potencial interpretação errônea da função miocárdica.²⁰

Na prática clínica, é essencial ajustar as configurações de ultrassom dinamicamente durante o exercício para manter as taxas de quadros ideais conforme as frequências cardíacas aumentam. Esse ajuste dinâmico ajuda a garantir que as medições de GLS permaneçam confiáveis e reflitam o verdadeiro desempenho do miocárdio sob condições de exercício. Para uma avaliação precisa do pico de deformação longitudinal e circunferencial de pico, recomenda-se uma proporção de 30 quadros por ciclo cardíaco. Isso significa que a taxa de quadros mínima deve ser ajustada para garantir que pelo menos 30 quadros sejam capturados durante cada ciclo cardíaco para garantir medições de deformação confiáveis. Por

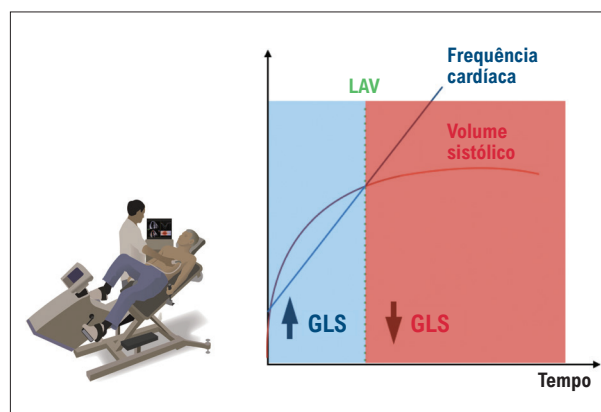


Figura 2 – Comportamento bimodal do GLS durante o exercício. GLS: Deformação longitudinal global; LAV: Limiar anaeróbico ventilatório.

exemplo, para uma frequência cardíaca de 80 bpm, a taxa de quadros mínima seria > 40 fps, enquanto para uma frequência cardíaca de 160 bpm, a taxa de quadros mínima seria > 85 fps. Do ponto de vista prático, deve-se buscar manter uma taxa de quadros acima de 70% da frequência cardíaca. Vale ressaltar que isso não se aplica à avaliação das fases isovolumétricas, em que taxas de quadros tão altas quanto 500 fps seriam necessárias, sendo uma área ainda a ser explorada com os novos algoritmos de *speckle tracking* com alta resolução temporal.

GLS do VE no desafio de pós-carga

Em determinados cenários clínicos ou devido a limitações técnicas, a realização dos protocolos convencionais de exercício pode não ser viável. Nesses casos, modalidades alternativas de estresse, como desafio de pré ou pós-carga, podem fornecer informações valiosas sobre a função miocárdica.² Um desafio de pós-carga consiste em induzir sobrecarga de pressão para avaliar o desempenho miocárdico em condições de resistência sistêmica aumentada. Isso pode ser obtido por meio de vários métodos, incluindo:

- **Handgrip:** O paciente aperta um dinamômetro de preensão manual, que gera contrações musculares isométricas sustentadas. Este método induz aumento da resistência vascular sistêmica.
- **Constricção de membros:** Envolve aplicar pressão externa aos membros usando manguitos ou faixas para criar uma resistência controlada contra o fluxo sanguíneo. O aumento resultante na resistência sistêmica oferece um desafio de pós-carga mensurável.

Esses métodos podem ser usados individualmente ou combinados. O desafio de pós-carga pode oferecer vantagens distintas sobre o exercício dinâmico padrão, uma vez que induz uma sobrecarga hemodinâmica controlada sem aumentar

significativamente as frequências cardíaca e respiratória. Isso leva a menos ruído nos sinais ecocardiográficos, aumentando assim a precisão da imagem de deformação avançada.

No entanto, é importante reconhecer as diferenças fundamentais entre o exercício dinâmico padrão e o desafio pós-carga. O exercício dinâmico padrão induz principalmente uma “perturbação hemodinâmica anterógrada”, que aumenta sequencialmente a pressão venosa central, a pressão da artéria pulmonar em cunha, a pré-carga atrial esquerda e o gradiente átrio esquerdo-ventrículo esquerdo (AE-VE), aumentando a onda E mitral. Esse tipo de estresse desafia o VE a aumentar a velocidade de relaxamento (e'), avaliando, assim, a reserva diastólica.

Em contrapartida, um desafio de pós-carga cria uma “uma perturbação hemodinâmica retrógrada”, aumentando a resistência sistêmica, o que reduz a velocidade de relaxamento do VE. Isso resulta em velocidades e' mais baixas e um gradiente AE-VE diminuído (onda E mitral mais baixa). Consequentemente, características ecocardiográficas como a razão E/e' exibem comportamento diferente sob esse tipo de estresse, geralmente sem um aumento significativo. A resposta ventricular normal ao aumento da pós-carga geralmente envolve uma redução na velocidade e na extensão da contração ventricular, levando a um aumento compensatório na pré-carga e à ativação do mecanismo de Frank-Starling para contração cardíaca. Notavelmente, a função longitudinal do VE, avaliada por meio de imagens de deformação, parece particularmente sensível a essas alterações de contração.⁴

Estudos que investigam o GLS durante o estresse hemodinâmico induzido pelo desafio de pós-carga podem oferecer informações valiosas.^{4,22-24} Dados recentes destacaram a disfunção miocárdica induzida pelo aumento da pós-carga em pacientes com ICfEp, apesar de apresentar GLS em repouso preservado (Figura 3).^{1,4}

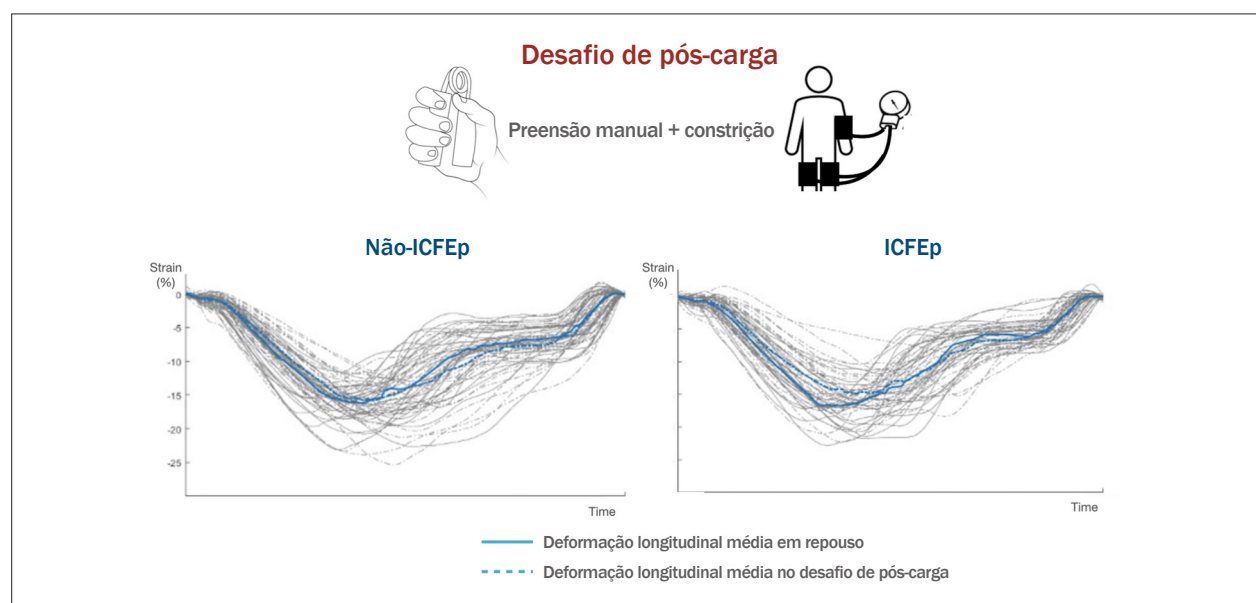


Figura 3 – O comportamento do GLS durante o desafio de pós-carga e o aumento da disfunção sistólica mediada por pós-carga. ICfEp: Insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada.

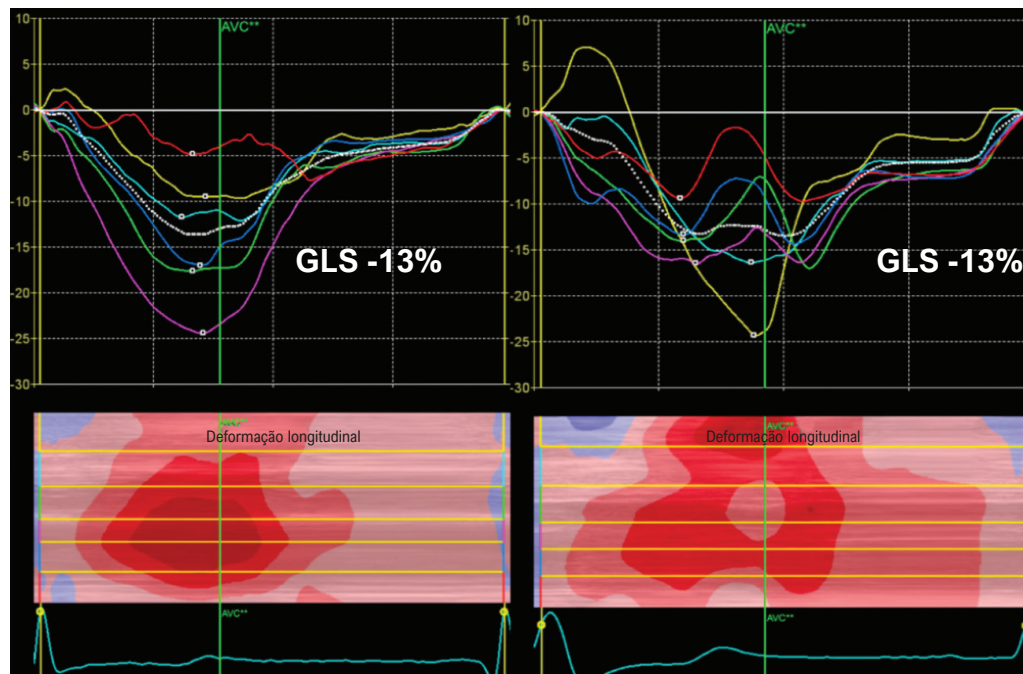


Figura 4 – O papel da MD. À esquerda, o paciente tem um GLS anormal e baixa MD. À direita, um paciente com o mesmo valor de GLS, mas exibindo uma alta MD. GLS: deformação longitudinal global.

Portanto, o desafio de pós-carga apresenta características que o configuram como modalidade de escolha para estudar as alterações da deformação miocárdica e do acoplamento ventrículo arterial durante o estresse.

Deformação ventricular esquerda além do GLS: o papel da dispersão mecânica

O GLS mede a quantidade média de contração longitudinal realizada pelo VE desde o início da contração isovolumétrica até o final da ejeção ventricular. Consequentemente, informações valiosas sobre outras fases do ciclo cardíaco, como relaxamento isovolumétrico, não são capturadas pelo GLS.^{20,21} Embora o GLS ofereça uma quantificação precisa da contração ventricular, ela não explica qualitativamente como a contração é realizada.

A dispersão mecânica (MD) é uma característica de deformação que expressa o grau de heterogeneidade temporal da contração, servindo como um indicador de dissincronia mecânica (Figura 4).²⁵ A dissincronia foi estabelecida como uma característica importante da contração miocárdica anormal no contexto de condições como insuficiência cardíaca com FE reduzida,²⁶ doença arterial coronária,²⁷ hipertrofia e ICFEp.^{28,29}

A justificativa para usar esse índice em ICFEp é que, teoricamente, uma contração cardíaca heterogênea, conforme constatada por uma MD alta, leva a contrações regionais que não encontram a força recíproca das paredes cardíacas opostas. Assim, parte da deformação cardíaca não será traduzida em uma força efetiva para expelir sangue

em direção à aorta. Além disso, a dissincronia afetará o acoplamento atrio-ventricular e ventrículo-arterial. Esse duplo impacto no desempenho do VE torna o coração mais propenso a maiores aumentos na pressão do átrio esquerdo (AE) durante adaptações ao exercício, como aumento da pré-carga e taquicardia. Assim, no contexto de um GLS relativamente preservado, informações sobre a sincronidade da contração podem ajudar a explicar os comprometimentos sutis observados em um subconjunto de pacientes com ICFEp.

Dados recentes sugerem que a MD está mais associada à capacidade de exercício em pacientes com pré-ICFEp e ICFEp quando comparada ao GLS e outros componentes do escore HFA-PEFF, além de ser capaz de fornecer novas informações sobre como o coração pode ser mais propenso ao aumento acentuado nas pressões de enchimento durante o exercício que caracteriza essa síndrome.²⁵

Atualmente, não existe um ponto de corte preciso para MD, mas dados recentes indicam que valores maiores que 65 ms têm alta especificidade para identificar indivíduos com alta probabilidade de ICFEp.²⁵

Imagem de deformação para fenotipagem da síndrome da ICFEp

Os padrões de diferentes índices de imagem de deformação podem ajudar a identificar fenótipos específicos dentro da ICFEp.^{11,30} Pacientes com ICFEp e GLS reduzido (ICFEp-rLS) apresentam disfunção contrátil, bem como anormalidades fazer miocárdio ventricular.

Por outro lado, 18-48% dos pacientes com ICfEp mantêm o GLS preservado (ICfEp-pLS), mas apresentam outros problemas fisiopatológicos, como disfunção atrial e doença vascular pulmonar.³⁰ Neste grupo, a deformação atrial esquerda (StrainAE) é um biomarcador promissor para ICfEp e miopatia do AE, melhorando as informações diagnósticas e prognósticas.³¹ Um StrainAE reduzido em pacientes com ICfEp-pLS indica comprometimento significativo do AE devido à cardiomiopatia atrial, desafiando a noção tradicional que vincula a doença do AE somente à disfunção diastólica do VE. A combinação de GLS e StrainAE para fenotipagem de ICfEp oferece uma compreensão mais abrangente dos comprometimentos cardíacos nesses pacientes¹¹ (Figura Central).

Considerações finais

Apesar da FE preservada, o comprometimento da função sistólica, conforme observado pelas anormalidades de GLS e MD, e o comprometimento da função do reservatório atrial, demonstrado por uma redução na StrainAE, seja isolado ou em associação, corroboram o diagnóstico de ICfEp. Da mesma forma, a ausência de aumento do GLS durante o esforço físico pode ser um sinal de ICfEp. Além disso, é importante interpretar essas medidas em conjunto com outros dados ecocardiográficos. Um aumento em E/e' acima de 15, isolado ou em combinação com um aumento na pressão sistólica da artéria pulmonar acima de 60 mmHg durante o exercício no cicloergômetro, são fortes indicadores de aumento das pressões de enchimento do VE com o esforço.¹² Apesar disso, ainda há uma escassez de conhecimento sobre como as informações hemodinâmicas fornecidas pelo Doppler devem ser interpretadas juntamente com as medidas de deformação.

Finalmente, ainda é preciso compreender melhor como interpretar esses achados em conjunto com as muitas variáveis clínicas e laboratoriais que podem ser modificadas em pacientes com ICfEp. Desenvolver escores que integrem todas essas variáveis em diferentes fenótipos de ICfEp seria clinicamente relevante.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa: Hortegal RA, Le Bihan D, Mathias Jr W; obtenção de dados: Hortegal RA, Le Bihan D; redação do manuscrito: Hortegal RA, Le Bihan D, Mathias MM; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Le Bihan D, Barretto R, Mathias Jr W.

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

- Kittleson MM, Panjath GS, Amancherla K, Davis LL, Deswal A, Dixon DL, et al. 2023 ACC Expert Consensus Decision Pathway on Management of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J Am Coll Cardiol*. 2023;81(18):1835-78. doi: 10.1016/j.jacc.2023.03.393.
- Shah SJ, Borlaug BA, Kitzman DW, McCulloch AD, Blaxall BC, Agarwal R, et al. Research Priorities for Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: National Heart, Lung, and Blood Institute Working Group Summary. *Circulation*. 2020;141(12):1001-26. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041886.
- Hortegal RA. Decoding the Diagnostic Dilemmas of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: Applying the Universal Definition for Enhanced Diagnosis Standardization. *Arq Bras Cardiol: Imagem Cardiovasc*. 2023;36(3):e20230074. doi: 10.36660/abcimg.20230074.
- Hortegal RA, Valeri R, Grizante M, Cancellier R, Uemoto V, Gun C, et al. Afterload Increase Challenge Unmasks Systolic Abnormalities in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Int J Cardiol*. 2023;380:20-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2023.03.042.
- Almeida ALC, Melo MDT, Bihan DCSL, Vieira MLC, Pena JLB, Del Castillo JM, et al. Position Statement on the Use of Myocardial Strain in Cardiology Routines by the Brazilian Society of Cardiology's Department Of Cardiovascular Imaging - 2023. *Arq Bras Cardiol*. 2023;120(12):e20230646. doi: 10.36660/abc.20230646.
- Barberato SH, Romano MMD, Beck ALS, Rodrigues ACT, Almeida ALC, Assunção BMBL, et al. Position Statement on Indications of Echocardiography in Adults - 2019. *Arq Bras Cardiol*. 2019;113(1):135-81. doi: 10.5935/abc.20190129.
- How to Diagnose Diastolic Heart Failure. European Study Group on Diastolic Heart Failure. *Eur Heart J*. 1998;19(7):990-1003. doi: 10.1053/euhj.1998.1057.
- Hortegal R, Abensur H. Strain Echocardiography in Patients with Diastolic Dysfunction and Preserved Ejection Fraction: Are we Ready? *Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc*. 2017;30(4):132-9. doi: 10.5935/2318-8219.20170034.
- D'Ávila LBO, Lima ACGB, Milani M, Milani JGPO, Cipriano GFB, Le Bihan DCS, et al. Left Ventricular Global Longitudinal Strain and Cardiorespiratory Fitness in Patients with Heart Failure: Systematic Review and Meta-Analysis. *Hellenic J Cardiol*. 2024;79:58-69. doi: 10.1016/j.hjc.2023.09.010.
- 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. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(2):183-93. doi: 10.1016/j.echo.2014.11.003.
- Shinzato MH, Santos N, Nishida G, Moriya H, Assef J, Feres F, et al. Left Ventricular and Atrial Myocardial Strain in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: The Evidence so far and Prospects for Phenotyping

Artigo de Revisão

- Strategy. *Cardiovasc Ultrasound*. 2024;22(1):4. doi: 10.1186/s12947-024-00323-1.
12. Pieske B, Tschöpe C, Boer RA, Fraser AG, Anker SD, Donal E, et al. How to Diagnose Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: The HFA-PEFF Diagnostic Algorithm: A Consensus Recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2019;40(40):3297-317. doi: 10.1093/eurheartj/ehz641.
13. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022;145(18):876-94. doi: 10.1161/CIR.0000000000001062.
14. Tan TS, Serifer NT, Demirtola AI, Akbulut IM, Ozyuncu N, Vurgun VK, et al. Invasive Validation of the Left Ventricular Global Longitudinal Strain for Estimating Left Ventricular Filling Pressure. *Echocardiography*. 2021;38(7):1133-40. doi: 10.1111/echo.15127.
15. Miranda WR, Borlaug BA, Jain CC, Anderson JH, Hagler DJ, Connolly HM, et al. Exercise-induced Changes in Pulmonary Artery Wedge Pressure in Adults Post-Fontan versus Heart Failure with Preserved Ejection Fraction and Non-cardiac Dyspnoea. *Eur J Heart Fail*. 2023;25(1):17-25. doi: 10.1002/ehfj.2706.
16. Borlaug BA, Nishimura RA, Sorajja P, Lam CS, Redfield MM. Exercise Hemodynamics Enhance Diagnosis of Early Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Circ Heart Fail*. 2010;3(5):588-95. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.109.930701.
17. Oh JK, Miranda WR, Kane GC. Diagnosis of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction Relies on Detection of Increased Diastolic Filling Pressure, But How? *J Am Heart Assoc*. 2023;12(6):e028867. doi: 10.1161/JAHA.122.028867.
18. Davidavicius G, Kowalski M, Williams RI, D'hooge J, Di Salvo G, Pierre-Justin G, et al. Can Regional Strain and Strain Rate Measurement be Performed During Both Dobutamine and Exercise Echocardiography, and do Regional Deformation Responses Differ with Different Forms of Stress Testing? *J Am Soc Echocardiogr*. 2003;16(4):299-308. doi: 10.1016/s0894-7317(02)74428-3.
19. Poliner LR, Dehmer GJ, Lewis SE, Parkey RW, Blomqvist CG, Willerson JT. Left Ventricular Performance in Normal Subjects: A Comparison of the Responses to Exercise in the Upright and Supine Positions. *Circulation*. 1980;62(3):528-34. doi: 10.1161/01.cir.62.3.528.
20. Loizou CP, Pattichis CS, D'Hooge J, editor. *Handbook of Speckle Filtering and Tracking in Cardiovascular Ultrasound Imaging and Video*. Hertfordshire: Institution of Engineering and Technology; 2018.
21. Sousa RD, Regis CDM, Silva IDS, Szewierenko P, Hortegal RA, Abensur H. Software for Post-processing Analysis of Strain Curves: The D-Station. *Arq Bras Cardiol*. 2020;114(3):496-506. doi: 10.36660/abc.20180403.
22. Blum M, Hashemi D, Motzkus LA, Neye M, Dordevic A, Zieschang V, et al. Variability of Myocardial Strain During Isometric Exercise in Subjects with and Without Heart Failure. *Front Cardiovasc Med*. 2020;7:111. doi: 10.3389/fcvm.2020.00111.
23. Murai D, Yamada S, Hayashi T, Okada K, Nishino H, Nakabachi M, et al. Relationships of Left Ventricular Strain and Strain Rate to Wall Stress and their Afterload Dependency. *Heart Vessels*. 2017;32(5):574-83. doi: 10.1007/s00380-016-0900-4.
24. Weiner RB, Weyman AE, Kim JH, Wang TJ, Picard MH, Baggish AL. The Impact of Isometric Handgrip Testing on Left Ventricular Twist Mechanics. *J Physiol*. 2012;590(20):5141-50. doi: 10.1113/jphysiol.2012.236166.
25. Hortegal RA, Hossri C, Giolo L, Cancellier R, Gun C, Assef J, et al. Mechanical Dispersion is a Superior Echocardiographic Feature to Predict Exercise Capacity in Preclinical and Overt Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2023;39(7):1239-50. doi: 10.1007/s10554-023-02830-0.
26. Aalen J, Storsten P, Remme EW, Sirnes PA, Gjesdal O, Larsen CK, et al. Afterload Hypersensitivity in Patients with Left Bundle Branch Block. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(6):967-77. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.11.025.
27. Ishigaki T, Asanuma T, Yagi N, Izumi H, Shimizu S, Fujisawa Y, et al. Incremental Value of Early Systolic Lengthening and Postsystolic Shortening in Detecting Left Anterior Descending Artery Stenosis Using Nonstress Speckle-tracking Echocardiography. *Sci Rep*. 2021;11(1):19359. doi: 10.1038/s41598-021-98900-1.
28. De Sutter J, Van de Veire NR, Muyldermans L, De Backer T, Hoffer E, Vaerenberg M, et al. Prevalence of Mechanical Dyssynchrony in Patients with Heart Failure and Preserved Left Ventricular Function (A Report from the Belgian Multicenter Registry on Dyssynchrony). *Am J Cardiol*. 2005;96(11):1543-8. doi: 10.1016/j.amjcard.2005.07.062.
29. Morris DA, Pérez AV, Blaschke F, Eichstädt H, Özcelik C, Haverkamp W. Myocardial Systolic and Diastolic Consequences of Left Ventricular Mechanical Dyssynchrony in Heart Failure with Normal Left Ventricular Ejection Fraction. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012;13(7):556-67. doi: 10.1093/ehjci/jes042.
30. Argulian E, Chandrasekhar Y, Shah SJ, Huttin O, Pitt B, Zannad F, et al. Teasing Apart Heart Failure with Preserved Ejection Fraction Phenotypes with Echocardiographic Imaging: Potential Approach to Research and Clinical Practice. *Circ Res*. 2018;122(1):23-5. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.117.312180.
31. Donal E, Behagel A, Feneon D. Value of Left Atrial Strain: A Highly Promising Field of Investigation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(4):356-7. doi: 10.1093/ehjci/jeu230.

