

Deslocamento Linear Longitudinal do Ventrículo Esquerdo Comparado ao *Strain* Longitudinal Global por Ressonância Magnética Cardiovascular

Left Ventricular Longitudinal Linear Displacement Versus Global Longitudinal Strain on Cardiovascular Magnetic Resonance

Rafael Almeida Fonseca¹, Sergio Marrone Ribeiro², Clerio Francisco de Azevedo Filho³, Roney Sampaio¹, Flávio Tarasoutchi¹, Carlos Eduardo Rochitte¹

Instituto do Coração, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo,¹ São Paulo, SP; Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista,² Botucatu, SP, Brasil; Divisão de Cardiologia, Centro Médico da Universidade de Duke,³ Durham, NC, Estados Unidos.

Resumo

Introdução: A função sistodiastólica do ventrículo esquerdo é prognóstica nas doenças cardiovasculares e pode ser avaliada por *strain* longitudinal global por meio de ecocardiografia e de ressonância magnética cardíaca. O *strain* longitudinal global pela ressonância magnética cardíaca exige a utilização de *software* de alto custo. O deslocamento linear longitudinal do ventrículo esquerdo pode ser uma alternativa simples e barata ao *strain* longitudinal global, porém eles não foram ainda comparados sistematicamente.

Objetivo: Comparar o deslocamento linear longitudinal com o *strain* longitudinal global e fração de ejeção do ventrículo esquerdo em valvopatias aórticas e controles.

Métodos: Incluímos 44 participantes (26 valvopatias aórticas/19 controles). O *strain* longitudinal global utilizou *software* específico (Circle Cardiovascular Imaging 42) e o deslocamento linear longitudinal apenas medidas lineares de distância entre a base e o ápex do ventrículo esquerdo, gerando deslocamento máximo, velocidade máxima no início da diástole, velocidade na diástase e a relação entre velocidade na diástase e velocidade máxima no início da diástole.

Resultados: Deslocamento máximo e velocidade máxima no início da diástole correlacionaram-se com *strain* longitudinal global ($r=0,69$ e $r=0,65$ respectivamente) e com a fração de ejeção do ventrículo esquerdo ($r=0,47$ e $r=0,57$, $p<0,001$ para ambos). Deslocamento máximo e velocidade máxima no início da diástole apresentaram área sob a curva Característica de Operação do Receptor de 0,88 e 0,91 e, no melhor ponto de corte (-0,13 e 0,66), sensibilidade de 72,43% e 57,14% e especificidade 80,65% e 87,10%, respectivamente, quando comparados ao *strain* longitudinal global. Utilizando a fração de ejeção do ventrículo esquerdo como referência, foram obtidos 0,70 e 0,82, e, no melhor ponto de corte (-0,11 e 0,61), sensibilidade de 75,00% e 50,00% e especificidade 72,97% e 78,38%, respectivamente.

Conclusão: O deslocamento linear longitudinal foi semelhante ao *strain* longitudinal global. O deslocamento máximo derivado do deslocamento linear longitudinal foi o melhor parâmetro na sístole, enquanto a velocidade máxima no início da diástole foi o melhor na diástole, o que possibilita a avaliação da função diastólica pela ressonância magnética cardíaca na rotina clínica de forma rápida e sem custo adicional.

Palavras-chave: Ressonância Magnética; Contração Miocárdica; Estenose da Valva Aórtica; Insuficiência da Valva Aórtica; Diástole.

Abstract

Background: Left ventricular (LV) systolic diastolic function is prognostic in cardiovascular diseases and can be assessed via global longitudinal strain (GLS) on echocardiography and cardiac magnetic resonance (CMR). However, GLS by CMR requires the use of expensive software. Longitudinal linear displacement (LLD) may be a simple and inexpensive alternative to GLS, but the two have not been systematically compared.

Objective: To compare LLD with GLS and LV ejection fraction (LVEF) in aortic valve disease patients and controls.

Correspondência: Carlos Eduardo Rochitte •

Instituto do Coração, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, Avenida Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 44, Andar AB, Cerqueira César.

CEP: 05403-000 – São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: rochitte@incor.usp.br

Artigo recebido em 11/5/2022; revisado em 18/5/2022; aceito em 25/5/2022

DOI: 10.47593/2675-312X/20223502eabc304



Artigo Original

Methods: We included 44 participants (26 with aortic valve disease, 19 controls). GLS was determined using CVI42 software (Circle Cardiovascular Imaging), while the LLD linear measurements of the distance between the base/apex of the LV included maximum displacement (MD), maximum velocity in early diastole (MVED), atrioventricular junction velocity in diastasis (VDS), and VDS/MVED ratio.

Results: DM and MVED were correlated with GLS ($r=0.69$ and $r=0.65$, respectively) and LVEF ($r=0.47$ and $r=0.57$, $p<0.001$ for both). DM and MVED showed areas under the receiver operating characteristic curve (AUC) of 0.88 and 0.91, and at the best cut-off point (-0.13 and 0.66), sensitivities of 72.43% and 57.14% and specificities of 80.65% and 87.10%, respectively, compared to GLS. Using LVEF as a reference, we obtained AUC of 0.70 and 0.82, and at the best cut-off point (-0.11 and 0.61), sensitivities of 75.00% and 50.00% and specificities of 72.97% and 78.38%, respectively.

Conclusion: LLD demonstrated similar performance to that of GLS. MD derived from LLD was the best parameter during systole, while MVED was the best during diastole. Our findings demonstrate the routine, quick, and inexpensive assessment of diastolic function on CMR.

Keywords: Magnetic Resonance; Myocardial Contraction; Aortic Valve Stenosis; Aortic Valve Insufficiency; Diastole.

Introdução

as disfunções sistólica e diastólica são importantes marcadores para diversas doenças cardiovasculares na prática clínica.¹ Os estudos avaliativos da técnica de *strain* miocárdico demonstraram alta capacidade de detectar a disfunção contrátil precocemente em várias doenças cardiovasculares.² Com um método baseado na análise da arquitetura miocárdica, o *strain* miocárdico realiza sua avaliação por meio de três camadas distintas: a subendocárdica, formada por fibras orientadas longitudinalmente da base ao ápice; a do meio da parede, com fibras orientadas circunferencialmente; e a subepicárdica, onde as fibras são orientadas longitudinalmente, mas direcionadas do ápice para a base.²

O *strain* atualmente é medido mais frequentemente por duas modalidades: pela ecocardiografia (*speckle tracking*) e pela ressonância magnética cardíaca (RMC; *feature tracking imaging* – FTI).^{3,4} Enquanto a ecocardiografia realiza sua análise por pequenos grupos de *pixels* no miocárdio criados pela interação dos feixes ultrassônicos e o músculo cardíaco, com características específicas da escala de cinza e é a modalidade mais utilizada na rotina clínica, a RMC pode efetuar sua avaliação do *strain* por meio de duas técnicas. A técnica de *myocardial tissue tagging*, que utiliza a identificação de padrões lineares simples ou em grade aplicados a imagem de RMC durante sua aquisição, é considerada a técnica padrão-ouro para a avaliação do *strain* miocárdico e contra a qual a ecocardiografia foi validada.⁵ No entanto, essa técnica requer a aquisição das imagens específicas de *tagging*, o que demanda tempo adicional no estudo de RMC. Recentemente, uma nova técnica, a FTI, foi desenvolvida para a avaliação do *strain* miocárdico usando imagens de cine-RM convencionais. Essa técnica utiliza princípios semelhantes aos do *speckle tracking* utilizado na ecocardiografia, porém aplicados na imagem de RMC para rastreamento de características de *pixels* específicas da imagem de RMC ao longo de todo o ciclo cardíaco.⁶ Além disso, estudos realizados com pacientes que desenvolveram disfunção diastólica em patologias como estenose aórtica e insuficiência aórtica demonstraram fração ejeção dentro dos intervalos de referências normais e *strain* alterados, indicando a presença do componente de disfunção diastólica, além da disfunção contrátil incipiente não detectada pela fração de ejeção do ventrículo esquerdo (FEVE). Esses dados indicam que o *strain* miocárdico é mais sensível que a FEVE na avaliação da mecânica de contração ventricular, que incorpora função sistólica e diastólica.^{7,8}

O *strain* miocárdico pelo FTI na RMC não é usualmente utilizado na rotina clínica, pois exige tempo adicional para pós-processamento de imagem e utilização de *software* especializado e de alto custo. Nessa técnica é necessário obter os contornos endocárdico e epicárdico para todas as fases cardíacas em uma imagem de cine-RM. Nosso grupo avaliou uma nova técnica de simples aplicação e que não necessita de um *software* especializado, podendo ser realizada por visualizadores de imagem simples e gratuitos, que se baseia na medida do deslocamento linear longitudinal (DLL) do VE, mais especificamente, nesta publicação, no encurtamento linear basal-apical do ventrículo esquerdo. Nesse estudo prévio, o encurtamento longitudinal foi capaz de detectar alterações nas funções sistólica e diastólica em pacientes com doença valvar aórtica (DVA) comparados a controles normais.

Embora, o DLL já tenha sido comparado com a disfunção diastólica determinada pela ecocardiografia⁹ e em grupos específicos de pacientes com disfunção diastólica comprovada,¹⁰ essa técnica ainda não foi comparada com o *strain* miocárdico avaliado pela técnica de FTI na RMC.

O objetivo do nosso trabalho foi comparar o DLL em relação ao *strain* miocárdico da RMC medido por técnica de FTI.

Métodos

População de estudo

Foram avaliados 26 pacientes com doença valvar aórtica (DVA) grave com planejamento para cirurgia de troca valvar aórtica e com frações de ejeção dentro do intervalo de referência normais, submetidos à RMC como parte de sua avaliação clínica e 19 controles normais. Dos pacientes com DVA, 11 (42,3%) apresentavam predomínio de insuficiência aórtica, e 15 (57,7%) de estenose aórtica. Como critérios de exclusão do estudo, tivemos a idade abaixo de 18 e acima de 85 anos, diabetes *mellitus*, hipertensão arterial sistêmica, dislipidemia ou doença coronariana significativa concomitante. Todos os pacientes com mais de 40 anos de idade tiveram uma angiografia coronariana, e aqueles com doença arterial coronariana significativa (estenose luminal > 50%) foram excluídos. Pacientes com valvopatia mitral concomitante também foram excluídos, assim como aqueles com cirurgia cardíaca prévia e contraindicações

para RMC, como o uso de marca-passo, cliques metálicos ou outras estruturas ferromagnéticas e claustrofobia. Dezenove voluntários saudáveis sem histórico médico significativo foram recrutados para estabelecer os valores basais do *strain* longitudinal global e do DLL. Os pacientes foram submetidos à RMC com um magneto clínico de 1,5 Tesla (Signa CV/i, GE Medical Systems, Waukesha, Wisconsin, Estados Unidos) e bobina cardíaca dedicada. Após a localização do coração, foram prescritos 8 a 12 cortes contíguos de eixo curto (8,0mm de espessura de corte e 2mm de intervalo entre os cortes), abrangendo todo o VE, e cortes de eixo longo (planos de duas e quatro câmaras e via de saída do VE). As imagens de cine-RM foram adquiridas com uma sequência de pulso de precessão livre em estado de equilíbrio (SSFP, sigla do inglês *steady state free precession*) com alta resolução temporal (<50ms entre cada fase) e com demais parâmetros convencionais: TR 3,9ms, TE 1,8ms, ângulo de inclinação de 45°, largura de banda do receptor $\pm 125\text{kHz}$, campo de visão (FOV) de 34x34cm, matriz de 256x160, tamanho de voxel 1,3x2,1x8,0mm.

Análises das imagens por técnica de *feature tracking* imaging para obtenção do *strain* miocárdico

A análise do *strain* longitudinal global foi realizada nas imagens de cine-RM no corte do eixo longo de quatro câmaras e ao longo de 20 fases cardíacas. Foi utilizado o *software* Circle Cardiovascular Imaging (CVI42, Calgary, Canadá) e a ferramenta *Tissue Tracking*, na qual se identificou-se a fase diastólica. Nessa fase, definiram-se manualmente os contornos endocárdico e epicárdico, que são propagados automaticamente pelo *software* para as demais fases cardíacas. O cálculo do *strain* longitudinal global do miocárdio foi efetuado automaticamente pelo *software* utilizando um princípio matemático euleriano que representa uma medida da deformação ventricular¹¹ (Figura 1). Os dados numéricos do *strain* miocárdico longitudinal global (GLS) foram armazenados no *software* e exportados para planilhas de dados para posterior análise.

Análises das imagens por técnica de deslocamento linear longitudinal (DLL)

Assim como na análise do *strain* longitudinal global, o DLL foi realizado nas imagens de cine-RM no corte de eixo longo de quatro câmaras. A posição basal da junção atrioventricular (JAV) foi definida em diástole final, e seu deslocamento longitudinal foi medido em relação a uma linha de referência traçada entre o ápice do VE (contorno do epicárdio, linha de baixa intensidade correspondente à interface do miocárdio e da gordura epicárdica) e o limite inferior (linha de baixa intensidade) do seio coronário, percorrendo o sulco atrioventricular, imediatamente lateral à JAV. Uma linha reta simples foi traçada ao decorrer do ciclo cardíaco ao longo de todas as fases entre os marcos basais e apicais usando uma plataforma de visualização DICOM Webpax (Heart Imaging Technologies, LLC, Durham, NC, Estados Unidos) (Figura 2). As medidas longitudinais (ML) obtidas fase a fase do VE foram posteriormente divididas pelo comprimento longitudinal na diástole final (comprimento máxima) para fornecer os valores percentuais do deslocamento junção átrio ventricular durante as 20 fases.

$$(\text{Des. JAV } \%). \text{ Desl. JAV } (\%) = \frac{ML(\text{fase})}{CM}$$

A análise do deslocamento longitudinal (D) *versus* tempo foi realizada por meio da subtração do deslocamento JAV percentual máximo (Des. JAV % Máx) pelo mínimo a cada fase (Min. fase) dividido pelo Des. JAV % Máx, como demonstrado na equação abaixo.

$$D = \frac{\text{Desl. JAV } (\%) \text{ Max} - \text{Min}(\text{fase})}{\text{Desl. JAV } (\%) \text{ Max}}$$

Por meio do gráfico gerado do deslocamento longitudinal (D) *versus* tempo, tornou-se possível a extração dos parâmetros

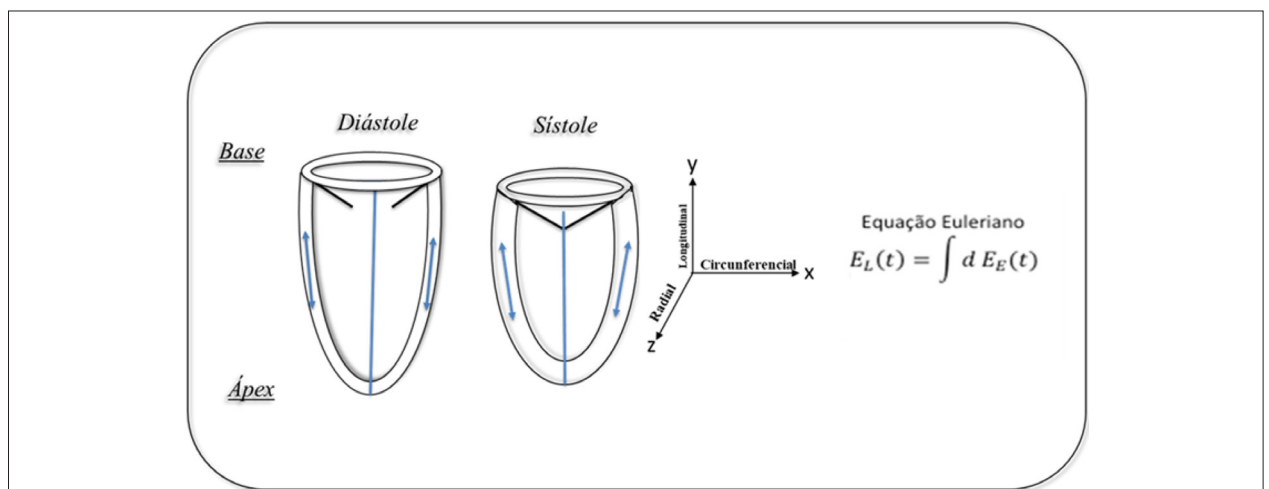


Figura 1 – Ilustração da deformação miocárdica com a equação euleriana para extrair os valores do *strain* longitudinal global utilizado no nosso estudo com o *software* Circle Cardiovascular Imaging 42.

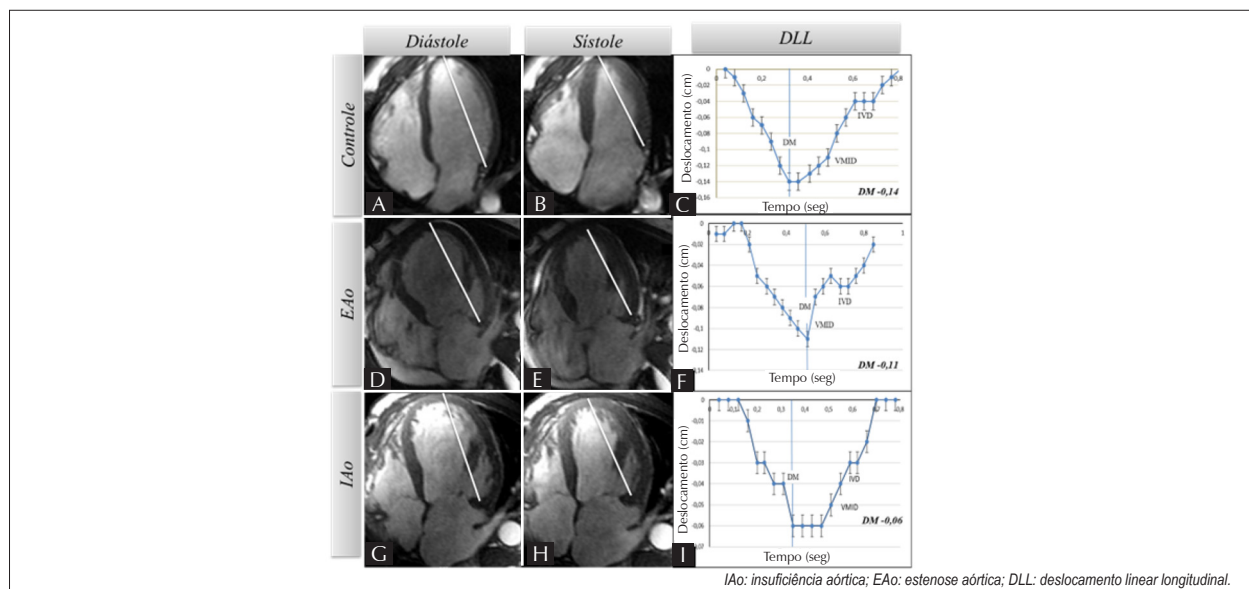


Figura 2 – Painel demonstrando análise do deslocamento linear longitudinal em valvopatas e controles normais. (A e B) Fase do ciclo cardíaco. (C) Curva dos parâmetros do deslocamento linear longitudinal.

do DLL: deslocamento máximo (DM) da JAV, velocidade máxima em início da diástole (VMID), inclinação do melhor ajuste da velocidade da JAV na diástase (IVD) e a razão entre IVD e VMID. O valor do DM é extraído do mínimo sobre o intervalo de dados obtidos do deslocamento longitudinal (D) demonstrado na equação abaixo.

$$DM = \text{Mínimo do } D(\text{fase a fase})$$

Para adquirir a VMID de cada participante, foi realizado uma regressão (inclinação) sobre o gráfico de deslocamento versus tempo (Figura 2) ajustado para o início da diástole. O mesmo foi usado para a inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da JAV na diástase (IVD) considerando o tempo da diástase.

Análise estatística

O tamanho da amostra foi relacionado ao número de pacientes com diagnóstico confirmado que estavam disponíveis para análise (amostra de conveniência), conforme estudos já publicados na mesma área.^{10,12}

A distribuição de normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Foram realizadas análises por regressão linear simples de cada um dos parâmetros do DLL (VMID, IVD, DM e IVD/VMID), com o *strain* longitudinal global e com a fração de ejeção do VE. O ponto de corte do *strain* longitudinal global de -13%, que corresponde ao percentil 99 dos valores medidos no grupo controle, foi utilizado com limite da normalidade no nosso estudo. A FEVE normal foi considerada $\geq 55\%$. Avaliamos acurácia, sensibilidade e especificidade dos parâmetros do DLL (DM, VMID, IVD e IVD/VMID), utilizando como método de referência do *strain* longitudinal global (FTI) e a FEVE com os limiares de normalidade aqui já definidos. Utilizamos, para

essa análise, a técnica da curva Característica de Operação do Receptor (curva COR) e o teste de *cutpoint*, para definir o limiar de melhor sensibilidade e especificidade. A análise estatística utilizou *software* Stata versão 13 para Macintosh e significância estatística foi considerada como $p < 0,05$.

Resultados

Características da população

A idade média dos voluntários saudáveis foi de $43,1 \pm 11,8$ anos e variou entre 24 e 58 anos, sendo dez homens e nove mulheres. A idade média dos pacientes foi de $46,8 \pm 13,7$ anos e variou entre 26 e 72 anos, sendo 19 homens e 7 mulheres. As características clínicas, incluindo histórico cardiovascular e fatores de risco dos pacientes e os dados da ressonância magnética são apresentados na Tabela 1.

Ressonância magnética cardiovascular

Na Tabela 2, são apresentados os resultados das medidas de GLS, morfologia, volumetria e função ventricular esquerda globais para todos os grupos. Exemplos das análises do *strain* longitudinal global em cada grupo e com a demonstração da detecção dos contornos endocárdicos e epicárdicos podem ser visualizados na Figura 3.

Os coeficientes de correlação (r) e (p) da VMID, DM, IVD e IVD/VMID estão apresentados na tabela 3. Os parâmetros DM e VMID mostraram correlações fortes e significativas quando comparados com o *strain* longitudinal global, tanto para a amostra total de participantes, quanto para apenas os pacientes com DVA. Na comparação com a fração de ejeção, as correlações foram mais evidentes e significantes quando avaliamos todos os participantes em conjunto. A regressão linear do DM versus o *strain* longitudinal global apresentou

Tabela 1 – Características clínicas.

Característica	IAo	EAo	Controles	p/p*
Demografia				
Total, n=45	11 (42,3)	15 (57,7)	19	
Homens	10 (90,9)	9 (60,0)	10 (52,6)	0,079/0,101
Idade, anos	46,0±15,7	48±11,3	38,1±10,5	0,610/0,039
Peso, kg	76,6±10,6	71,2±11,9	67,9±15,3	0,336/0,356
IMC, kg/m ²	27,9±3,5	26,3±3,8	23,5±3,6	0,382/0,021
SC, m ²	1,8±3,5	1,7±0,1	1,47±0,2	0,209/0,696
Reumático	9 (81,8)	3 (20,0)	-	
Bicúspide	2 (18,2)	8 (53,3)	-	
Degeneração/calcificação	0	4 (26,7)	-	
Frequência cardíaca, bpm	65,0±11,9	81,5±20,7	70,1±10,6	0,027/0,019
PAS	126,7±11,9	121,5±15,2	111,6±8,9	0,505/0,018
PAD	80±8,9	71,8±12,8	71,3±6,6	0,183/0,143
Fatores de risco e histórico cardiovascular				
Angina	0 (0,0)	1 (6,7)	-	0,465
Hipertensão	6 (54,6)	1 (6,7)	-	0,465
Síncope	0	6 (40,0)	-	0,100
Diabetes	0	1 (13,3)	-	0,342
Hipercolesterolemia	0	0	-	-
Fumante	0 (0,0)	5 (33,3)	-	0,100
Histórico familiar e DAC	4 (34,4)	3 (20,0)	-	0,190
Classificação da NYHA >I (II e III)	11 (100,0)	15 (100,0)	19 (100,0)	0,526

Resultados expressos como média ± desvio-padrão ou n (%). Os critérios de definição de hipertrofia concêntrica são a relação massa do ventrículo esquerdo/EDV>1,16g/mL. Fonte: Dweck MR et al. J Cardiovasc Magn Reson 2012.

* Comparação entre três grupos, incluindo controles; valores de p restantes para comparação entre insuficiência aórtica e estenose. Iao: insuficiência aórtica; EAo: estenose aórtica; IMC: índice de massa corporal; SC: superfície corpórea; PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; DAC: doença arterial coronariana; NYHA: New York Heart Association.

Tabela 2 – Características da ressonância magnética cardíaca.

Características da RMC	IAo	EAo	Controles	p/p*
GLS	-10,7±2,3	-13,0±3,2	15,9±1,7	<0,001
VDFVE, mL	29,6±68,5	179,99±42,1	129,5±24,7	<0,001
VSFVE, mL	148,9±60,4	82,0±28,7	45,5±9,4	<0,001
FEVE, %	51,7±11,4	55,1±9,1	64,7±5,3	<0,001
Massa do VE, g	264,2±42,4	272,8±45,5	118,1±40,5	<0,001
Hipertrofia excêntrica	10 (90,9)	1 (6,7)		
Hipertrofia concêntrica	1 (9,1)	14 (93,30)		
Deslocamento máximo	-0,09	0,12	0,16	
VMID	0,47	0,78	1,43	
IVD	0,09	0,31	0,28	
IVD/VMID	0,44	0,23	0,21	

RMC: ressonância magnética cardíaca; Iao: insuficiência aórtica; EAo: estenose aórtica; GLS: strain longitudinal global; VDFVE: volume diastólico final do ventrículo esquerdo; VSFVE: volume sistólico final do ventrículo esquerdo; FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo; VE: ventrículo esquerdo; DM: deslocamento máximo; VMID: velocidade máxima no início de diástole; IVD: inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da JAV na diástase.

correlação positiva com $r=0,69$ e $p<0,001$ para toda amostra analisada e $r=0,66$ e $p<0,001$, para os pacientes com DVA (Figura 4). Além disso, na comparação do DM com a fração de ejeção, obtivemos um $r=0,47$, $p<0,001$.

A regressão linear da VMID versus strain longitudinal global apresentou correlação negativa, com $r=-0,65$ e $p<0,001$, para toda amostra analisada, e $r=-0,53$ e $p<0,005$, quando avaliamos somente os pacientes com DVA (Figura 5). A VMID correlaciona-se positivamente com a fração de ejeção e demonstrou um $r=0,57$ e $p<0,001$ (todos os participantes).

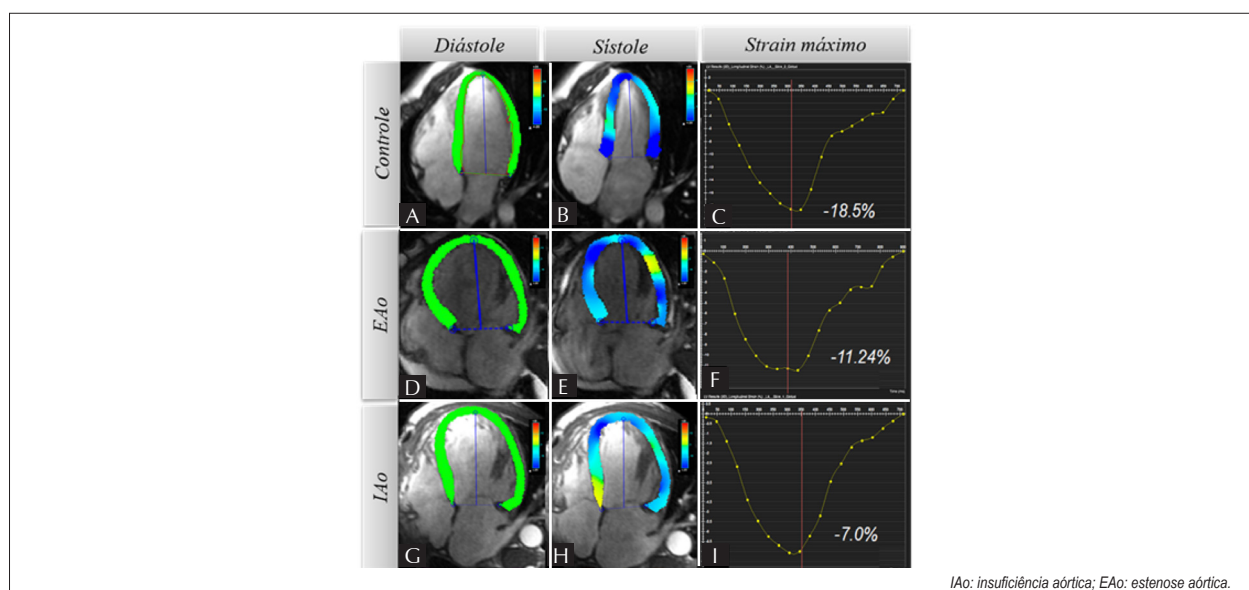
Na avaliação da IVD e IVD/VMID com o GLS e a FEVE, observaram-se correlações fracas ou discretas associações, sendo parte delas não estatisticamente significativas, seja para a amostra completa, seja para os pacientes com DVA (Tabela 3).

Os dados obtidos nas análises de desempenho diagnóstica das medidas VMID, DM, IVD e IVD/VMID para predizer os o strain longitudinal global e a fração de ejeção são encontrados na tabela 4. Novamente, o DM e a VMID demonstraram o melhor desempenho diagnóstica quando comparados com a fração de ejeção e o strain longitudinal global. O DM versus o strain longitudinal global apresentou área sob a curva COR de 0,88. Quando definido o melhor ponto de corte (-0,13), o DM obteve 72,43% de sensibilidade e 86,65% de especificidade (Figura 6). A análise realizada com a FEVE apresentou área de 0,70 e sensibilidade de 75,00%, com especificidade de 72,97% (no melhor ponto de corte sob a curva COR, -0,11) (Figura 6). A VMID versus strain longitudinal demonstrou área de 0,91 e sensibilidade de 57,14% com especificidade 87,10% (ponto de corte de 0,53). Analisando a VMID e a FEVE, obtivemos área de 0,82, 50,00% de sensibilidade e especificidade de 78,38%, no melhor ponto de corte de 0,61 (Figura 7). A IVD e IVD/VMID demonstram desempenho diagnóstico inferior, conforme apresentado na tabela 4.

Discussão

Neste estudo, demonstramos que a avaliação da disfunção diastólica do VE utilizando parâmetros lineares da RMC (DM e VMID) apresentou alta correlação e acurácia diagnóstica com significância estatística, quando comparada ao strain longitudinal global medido por FTI e à FEVE em pacientes com estenose e insuficiência aórtica e controles normais.

Estes dados estão de acordo e reforçam os resultados do estudo de Ribeiro et al., no qual as medidas lineares do VE (VMID, DM, IVD e IVD/VMID) demonstraram diferença significativa entre pacientes com DVA e controle normais. No nosso estudo, validamos as medidas lineares derivadas da DLL comparadas com o strain longitudinal global medido por software específico para técnica de FTI e também com a fração de ejeção do VE. Saba et al., utilizando uma técnica semelhante ao deste estudo, obtiveram medidas lineares no grupo controle normal discretamente superiores às de nosso estudo (-0,165).⁹ Isso provavelmente se deve ao uso de um marco anatômico menos lateral e, portanto, um valor diastólico menor dessa distância, resultando em variação percentual maior com a medida linear sistólica. O ponto mais lateral no estudo presente foi escolhido para permitir uma maior precisão e reprodutibilidade em sua definição visual pelo observador.



IAo: insuficiência aórtica; EAO: estenose aórtica.

Figura 3 – Paineis demonstrando as análises por strain longitudinal, detalhando os contornos endocárdicos e epicárdicos, e, ao lado, o pico strain. (A e B) Análises dos voluntários controles normais, com pico strain de 18,5% (C). (D e E) Análises dos pacientes com estenose aórtica e um pico strain de 11,0% (F). (G e H) Strain dos pacientes com insuficiência aórtica e pico de 7,0% (I).

Tabela 3 – Análise de regressão linear do deslocamento máximo, da velocidade máxima no início de diástole, inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da junção atrioventricular na diástase e da inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da junção atrioventricular na diástase/velocidade máxima no início de diástole.

Todos	Strain (%)		FEVE (%)	
DM, cm	0,69	<0,001	0,47	<0,001
VMID, s ⁻¹	0,65	<0,001	0,57	<0,001
IVD, s ⁻¹	0,01	<0,920	0,09	<0,559
IVD/VMID	0,31	<0,035	0,43	<0,003
Doença valvar aórtica r, p				
DM, cm	0,66	<0,001	0,23	<0,244
VMID, s ⁻¹	0,53	<0,005*	0,39	<0,049
IVD, s ⁻¹	0,43	<0,027	0,25	<0,215
IVD/VMID	0,04	<0,837	0,18	<0,378

FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo; DM: deslocamento máximo; VMID: velocidade máxima no início de diástole; IVD: inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da junção atrioventricular na diástase.

A interface do seio coronário no sulco atrioventricular é muito melhor definida do que a junção dos folhetos da valva mitral no anel fibroso mitral em imagens de cine-RMC. Também usamos apenas uma medida de deslocamento da JAV, tendo um ponto de referência melhor definido na parede lateral da JAV em vez de duas, simplificando e tornando mais rápida e prática a realização das medidas.

Enquanto Saba et al.⁹ validaram as medidas lineares com o strain sistólico máximo com o Doppler tecidual na avaliação da função diastólica, nosso estudo demonstrou a correlação com alta significância estatísticas do DM com o strain longitudinal global pela RMC com técnica de FTI. Esse dado reforça a relevância do DM pela RMC na avaliação

da disfunção sistólica. Ademais, a área sob a curva COR do DM versus strain longitudinal global demonstrou alta acurácia (0,88) para a avaliação da função sistólica. Além disso, a VMID também demonstrou alta acurácia quando correlacionada ao strain longitudinal global (0,91). Esse dado possibilita, pela primeira vez, a utilização de um método para análise da função diastólica pela RMC, e que, associado à sua praticidade para realização, tanto o DM quanto a VMID podem ser considerados um método promissor para o uso clínico rotineiro.

Na DVA, ocorrem distúrbios na função diastólica que precedem às alterações evidentes da função sistólica do VE que têm implicações importantes para a morbidade e a mortalidade, antes e após a realização da troca valvar aórtica.¹³⁻¹⁵ Em diversos estudos, foi ponderado que a fração de ejeção não é afetada de forma precoce em grupos de pacientes com DVA. A presença de deterioração da fração de ejeção nesse cenário clínico foi considerada um sinal de DVA grave e avançada.¹⁶⁻¹⁸ Diversos estudos demonstraram strain longitudinal global alterado e fração de ejeção preservada em pacientes que com DVA.¹⁹⁻²²

A análise do strain longitudinal global após a troca valvar aórtica foi capaz de detectar a melhora da função diastólica do VE medida pelo fluxo transmitral na ecocardiografia. Estudos semelhantes também demonstraram que a análise de strain longitudinal após troca valvar indica uma melhora da função ventricular.²³ Além disso, o strain longitudinal global demonstrou menor dependência das condições de carga hemodinâmica em comparação à fração de ejeção; dessa forma, é possível detectar mudanças mais sutis no substrato miocárdico subjacente.²⁴⁻²⁶ Após a avaliação por técnica de strain em pacientes com estenose e insuficiência aórtica, foi observada uma sensibilidade maior no diagnóstico de disfunção diastólica em comparação com os métodos convencionais.²⁷ A análise do desempenho

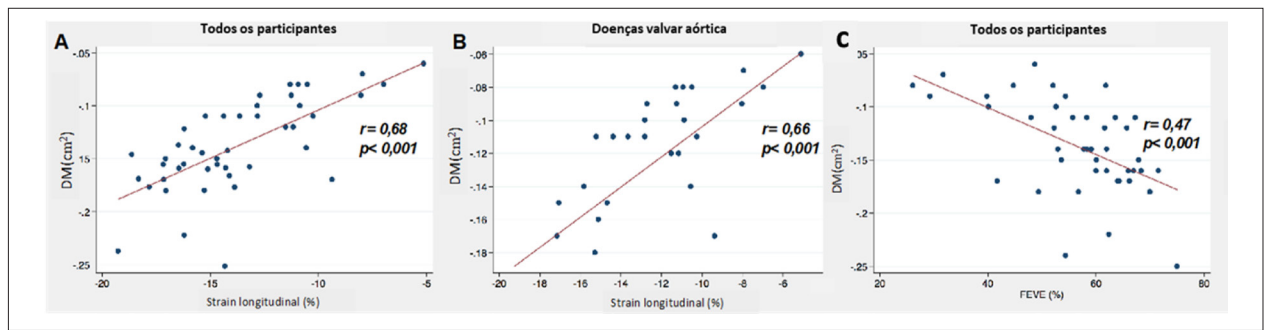


Figura 4 – Correlação entre o deslocamento máximo e strain longitudinal global. (A) Análise com todos os pacientes. (B) Regressão dos pacientes com doença valvar aórtica.

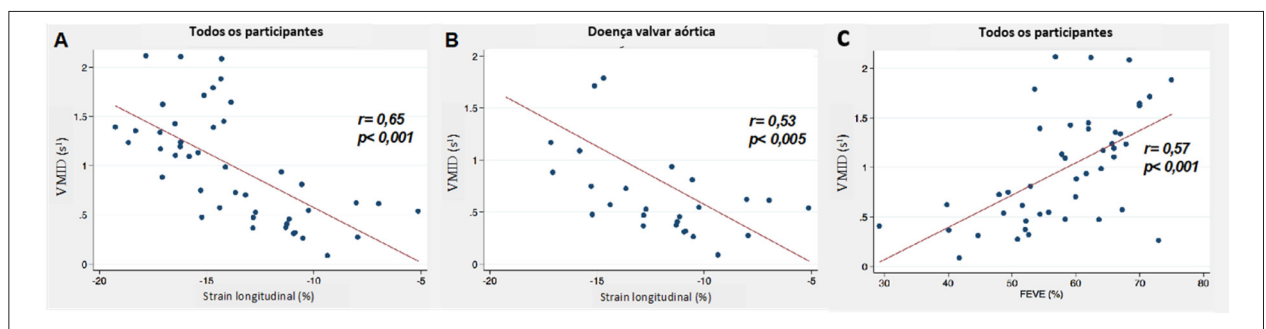


Figura 5 – Correlação entre o deslocamento máximo e fração de ejeção do ventriculo esquerdo. (A) Análise com todos os pacientes. (B) Regressão dos pacientes com doença valvar aórtica.

Tabela 4 – Desempenho diagnóstico do deslocamento máximo, da velocidade máxima no início de diástole, da inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da junção atrioventricular na diástase e da inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da junção atrioventricular na diástase/ velocidade máxima no início de diástole por curva Característica de Operação do Receptor.

	AUC	Sensibilidade	Especificidade	VPP	VPN
Strain, %					
DM (cm)	0,88	72,43	80,65	62,50	86,21
VMID (s⁻¹)	0,91	57,14	87,10	66,67	81,82
IVD (s⁻¹)	0,56	57,14	64,52	42,11	76,92
IVD/VMID	0,68	78,57	58,06	45,83	85,71
FEVE, %					
DM (cm)	0,70	75,00	72,97	37,50	93,10
VMID (s⁻¹)	0,82	50,00	78,38	33,33	87,88
IVD (s⁻¹)	0,67	62,50	62,16	26,32	88,46
IVD/VMID	0,82	100,00	56,76	33,33	100,00

AUC: área sob a curva; VPP: valor preditivo positivo; VPN: valor preditivo negativo; FEVE: fração de ejeção do ventriculo esquerdo; DM: deslocamento máximo; VMID: velocidade máxima no início de diástole; IVD: inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da junção atrioventricular na diástase.

diagnóstico dos parâmetros do DLL (DM e VMID) detecta a disfunção diastólica em pacientes com DVA em comparação com controles normais com sensibilidade semelhante à do strain longitudinal global. Além disso, na rotina clínica da RMC, a função diastólica é raramente avaliada, por depender de aquisições de imagens com velocidade de fluxo mitral, veia

pulmonar e miocárdicas, utilizando técnica de cine-RM com mapa de fluxo (*phase contrast*). As medidas simples e práticas do DM e da VMID – em especial desta última – representam uma opção promissora para o diagnóstico de disfunção diastólica pela em RMC, validadas neste estudo para pacientes com DVA.

As medidas da inclinação da melhor linha de ajuste da velocidade da JAV na diástase (IVD) e a IVD/VMID também obtiveram diferença significativa entre os pacientes patológicos e controles normais, fornecendo dado adicional na avaliação da disfunção diastólica. No entanto, as diferenças foram menores, se comparadas as do DM e VMID, provavelmente indicando menor potencial na aplicação clínica.

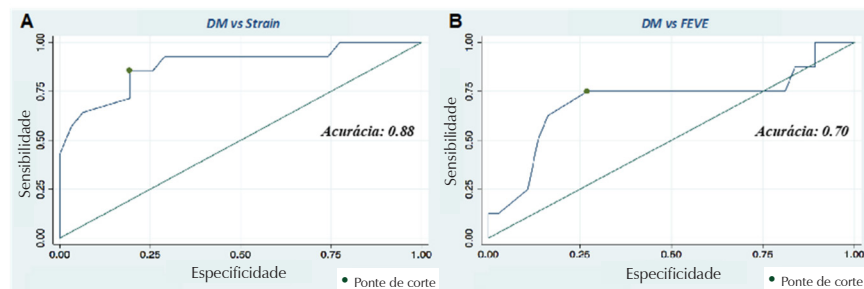
Limitações

Este foi um estudo retrospectivo com um número relativamente pequeno de pacientes. Também não realizamos uma correlação do DLL com o strain pela ecocardiografia, entretanto, esses parâmetros foram validados pelo *myocardial tagging* da RMC, técnica semelhante ao FTI, usada neste estudo como referência, o que atenua essa limitação. Finalmente, nosso novo método do DLL foi validado apenas em pacientes com valvopatia aórtica, no entanto estudos futuros serão necessários para uma validação mais ampla em outras patologias.

Conclusão

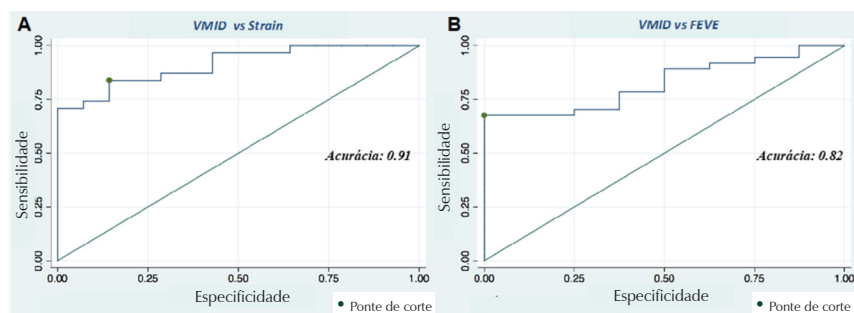
Neste estudo, validamos a técnica de deslocamento linear longitudinal versus o strain longitudinal global medido por *feature tracking imaging* em imagem de ressonância

Artigo Original



DM: deslocamento máximo; FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo.

Figura 6 – (A) Curva Característica de Operação do Receptor entre strain longitudinal e velocidade máxima no início de diástole, com indicação de melhor ponto de corte. (B) Desempenho da velocidade máxima no início de diástole e fração de ejeção do ventrículo esquerdo.



VMID: velocidade máxima no início de diástole; FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo.

Figura 7 – (A) Curva Característica de Operação do Receptor entre strain longitudinal e deslocamento máximo, com indicação do melhor ponto de corte. (B) Desempenho do deslocamento máximo e fração de ejeção do ventrículo esquerdo.

magnética cardiovascular. Os parâmetros do deslocamento linear longitudinal foram obtidos utilizando apenas duas medidas lineares, o que é possível ser realizado na maioria dos softwares de visualização de imagem. Dentre os parâmetros do deslocamento linear longitudinal que avaliam a função sistodiastólica, o deslocamento máximo demonstrou melhor acurácia para a avaliação da função sistólica (valores normais menores que -0,13), enquanto a velocidade média no início da diástole obteve a melhor acurácia para a avaliação da função diastólica pela ressonância magnética cardíaca (valores normais maiores que 0,66). A utilização destes parâmetros pode tornar a avaliação da contratilidade sistodiastólica mais fácil e prática para ser realizada na rotina clínica da ressonância magnética cardíaca.

Agradecimentos

À Fundação Zerbini, pelo apoio institucional a este projeto de pesquisa; à senhora Lenira Cipriano, pelo apoio e dedicação no suporte para realização deste manuscrito.

Vinculação acadêmica

Este artigo representa a redação científica como requisito para

conclusão do projeto de estágio em Iniciação Científica do aluno Rafael Almeida Fonseca, do curso de Biomedicina da Universidade Anhembi Morumbi, realizado no Setor de Ressonância Magnética Cardiovascular do Instituto do Coração, InCor, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP).

Aprovação ética e consentimento informado

Este artigo é um subestudo do projeto aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC FMUSP), número 214.311. Pelo caráter retrospectivo, houve isenção do consentimento informado por escrito.

Contribuição dos autores

Fonseca RA; Ribeiro SM; Azevedo CF; Sampaio R; Tarasoutchi F e Rochitte CE contribuíram substancialmente na concepção e delineamento do estudo, adquiriram e analisaram os dados e redigiram o manuscrito.

Conflito de interesses

Os autores declaram não terem conflitos de interesse.

Referências

- Del Castillo JM, Albuquerque ES, Silveira CA, Lamprea DP, Sena AD. Diastolic function assessment with doppler echocardiography and two-dimensional strain. *Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc* 2017; 30(2): 46-53. DOI: 10.5935/2318-8219.20170012
- Scatteia A, Baritussio A, Bucciarelli-Ducci C. Strain imaging using cardiac magnetic resonance. *Heart Fail Rev*. 2017;22(4):465-76. doi: <https://doi.org/10.1007/s10741-017-9621-8>
- Claus P, Omar AM, Pedrizzetti G, Sengupta PP, Nagel E. Tissue Tracking Technology for Assessing Cardiac Mechanics: Principles, Normal Values, and Clinical Applications. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8(12):1444-60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.11.001>
- Pryds K, Larsen AH, Hansen MS, Grøndal AYK, Tougaard RS, Hansson NH, et al. Myocardial strain assessed by feature tracking cardiac magnetic resonance in patients with a variety of cardiovascular diseases - A comparison with echocardiography. *Sci Rep*. 2019;9(1):11296. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47775-4>
- 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: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.10.040>
- Lopez-Candales A, Hernandez-Suarez DF. Strain Imaging Echocardiography: What Imaging Cardiologists Should Know. *Curr Cardiol Rev*. 2017;13(2):118-29. doi: <https://doi.org/10.2174/1573403X12666161028122649>
- Mangion K, Burke NM, McComb C, Carrick D, Woodward R, Berry C. Feature-tracking myocardial strain in healthy adults-a magnetic resonance study at 3.0 tesla. *Sci Rep*. 2019;9(1):3239. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39807-w>
- Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, Byrd BF 3rd, Dokainish H, Edvardsen T, et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(4):277-314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011>
- Saba SG, Chung S, Bhagavatula S, Donnino R, Srichai MB, Saric M, et al. A novel and practical cardiovascular magnetic resonance method to quantify mitral annular excursion and recoil applied to hypertrophic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2014;16(1):35. doi: <https://doi.org/10.1186/1532-429X-16-35>
- Ribeiro SM, Azevedo Filho CF, Sampaio R, Tarasoutchi F, Grinberg M, Kalil-Filho R, et al. Longitudinal Shortening of the Left Ventricle by Cine-CMR for Assessment of Diastolic Function in Patients with Aortic Valve Disease. *Arq Bras Cardiol*. 2020;114(2):284-92. doi: <https://doi.org/10.5935/abc.20190193>
- Simpson RM, Keegan J, Firmin DN. MR assessment of regional myocardial mechanics. *J Magn Reson Imaging*. 2013;37(3):576-99. doi: <https://doi.org/10.1002/jmri.23756>
- Chen Q, Gan Y, Li ZY. Left ventricular diastolic dysfunction in type 2 diabetes patients: a novel 2D strain analysis based on cardiac magnetic resonance imaging. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2016;19(12):1330-8. doi: <https://doi.org/10.1080/10255842.2016.1139093>
- Kumpuris AG, Quinones MA, Waggoner AD, Kanon DJ, Nelson JG, Miller RR. Importance of preoperative hypertrophy, wall stress and end-systolic dimension as echocardiographic predictors of normalization of left ventricular dilatation after valve replacement in chronic aortic insufficiency. *Am J Cardiol*. 1982;49(5):1091-100. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(82\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0002-9149(82)90032-7)
- Villari B, Hess OM, Kaufmann P, Krogmann ON, Grimm J, Kräyenbuehl HP. Effect of aortic valve stenosis (pressure overload) and regurgitation (volume overload) on left ventricular systolic and diastolic function. *Am J Cardiol*. 1992;69(9):927-34. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(92\)90795-z](https://doi.org/10.1016/0002-9149(92)90795-z)
- Bech-Hanssen O, Wallentin I, Houltz E, Beckman Suurkula M, Larsson S, Caidahl K. Gender differences in patients with severe aortic stenosis: impact on preoperative left ventricular geometry and function, as well as early postoperative morbidity and mortality. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1999;15(1):24-30. doi: [https://doi.org/10.1016/S1010-7940\(98\)00268-1](https://doi.org/10.1016/S1010-7940(98)00268-1)
- Lamb HJ, Beyerbach HP, de Roos A, van der Laarse A, Vliegen HW, Leijes F, et al. Left ventricular remodeling early after aortic valve replacement: differential effects on diastolic function in aortic valve stenosis and aortic regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2002;40(12):2182-8. doi: [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(02\)02604-9](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(02)02604-9)
- Faggiano P, Rusconi C, Ghizzoni G, Sabatini T. Left ventricular remodeling and function in adult aortic stenosis. *Angiology*. 1994;45(12):1033-8. doi: <https://doi.org/10.1177/000331979404501206>
- Lund O, Flø C, Jensen FT, Emmertsen K, Nielsen TT, Rasmussen BS, et al. Left ventricular systolic and diastolic function in aortic stenosis. Prognostic value after valve replacement and underlying mechanisms. *Eur Heart J*. 1997;18(12):1977-87. doi: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015209>
- Vollema EM, Sugimoto T, Shen M, Tastet L, Ng AC, Abou R, et al. Association of Left Ventricular Global Longitudinal Strain With Asymptomatic Severe Aortic Stenosis: Natural Course and Prognostic Value. *JAMA Cardiol*. 2018;3(9):839-47. doi: <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2018.2288>
- Ng AC, Delgado V, Bertini M, Antoni ML, van Bommel RJ, van Rijnsoever EP, et al. Alterations in multidirectional myocardial functions in patients with aortic stenosis and preserved ejection fraction: a two-dimensional speckle tracking analysis. *Eur Heart J*. 2011;32(12):1542-50. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh084>
- Klaeboe LG, Haland TF, Leren IS, Ter Bekke RMA, Brekke PH, Røsjø H, et al. Prognostic Value of Left Ventricular Deformation Parameters in Patients with Severe Aortic Stenosis: A Pilot Study of the Usefulness of Strain Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2017;30(8):727-735.e1. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.04.009>
- Kusunose K, Goodman A, Parikh R, Barr T, Agarwal S, Popovic ZB, et al. Incremental prognostic value of left ventricular global longitudinal strain in patients with aortic stenosis and preserved ejection fraction. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014;7(6):938-45. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.114.002041>
- Lamb HJ, Beyerbach HP, de Roos A, van der Laarse A, Vliegen HW, Leijes F, Bax JJ, et al. Left ventricular remodeling early after aortic valve replacement: differential effects on diastolic function in aortic valve stenosis and aortic regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2002;40(12):2182-8. doi: [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(02\)02604-9](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(02)02604-9)
- Erley J, Genovese D, Tapaskar N, Alvi N, Rashedi N, Besser SA, et al. Echocardiography and cardiovascular magnetic resonance based evaluation of myocardial strain and relationship with late gadolinium enhancement. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2019;21(1):46. doi: <https://doi.org/10.1186/s12968-019-0559-y>
- Knappe D, Pouleur AC, Shah AM, Cheng S, Uno H, Hall WJ, et al.; Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial-Cardiac Resynchronization Therapy Investigators. Dysynchrony, contractile function, and response to cardiac resynchronization therapy. *Circ Heart Fail*. 2011;4(4):433-40. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.111.962902>
- Smedsrud MK, Pettersen E, Gjesdal O, Svennevig JL, Andersen K, Ihlen H, et al. Detection of left ventricular dysfunction by global longitudinal systolic strain in patients with chronic aortic regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;24(11):1253-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.08.003>
- Giritharan S, Cagampang F, Torrens C, Salhiyyah K, Duggan S, Ohri S. Aortic Stenosis Prognostication in Patients With Type 2 Diabetes: Protocol for Testing and Validation of a Biomarker-Derived Scoring System. *JMIR Res Protoc*. 2019;8(8):e13186. doi: <https://doi.org/10.2196/13186>