

# Lacunas Metodológicas na Avaliação da Função do Átrio Esquerdo por Ecocardiografia Bidimensional com *Speckle Tracking*

*Methodological Gaps in Left Atrial Function Assessment by 2D Speckle Tracking Echocardiography*

Roxana Cristina Rimbaș<sup>1,2,3</sup>, Raluca Elena Dulgheru<sup>2</sup>, Dragoș Vinereanu<sup>1,2</sup>

University and Emergency Hospital<sup>1</sup>; University of Medicine and Pharmacy Carol Davila<sup>2</sup>; "Victor Babeș" National Institute of Pathology<sup>3</sup>, Bucareste – Romênia

## Resumo

A avaliação da função do átrio esquerdo (AE) é utilizada em várias doenças cardiovasculares. O AE tem um papel complementar no desempenho cardíaco através da modulação da função do ventrículo esquerdo (VE). A ecocardiografia com Doppler e a ecocardiografia transtorácica bidimensional (2D) de volumes de fase podem medir a função do AE de forma não-invasiva. No entanto, a avaliação da deformação do AE derivada da ecocardiografia bidimensional com *speckle tracking* (EST) é uma abordagem nova, promissora e factível para avaliar a mecânica do AE. Estes parâmetros são capazes de detectar disfunção do AE subclínica em diferentes patologias. Há relatos de variação normal da deformação do AE e dos valores de corte para o diagnóstico de disfunção do AE em diferentes doenças, mas os dados ainda são conflitantes, provavelmente devido a alguns problemas técnicos e metodológicos. Esta revisão destaca a importância de uma técnica única padronizada para a avaliação das funções básicas do AE por EST, e discute estudos recentes sobre as aplicações clínicas mais importantes desta técnica.

## Introdução

O remodelamento do AE foi descrito como um marcador prognóstico importante em diferentes patologias como a insuficiência cardíaca, infarto do miocárdio, miocardiopatia hipertrófica e fibrilação atrial<sup>1-5</sup>. Embora a avaliação da função do AE possa ser obtida por ecocardiografia bidimensional convencional, análise por Doppler dos fluxos transmitral e na veia pulmonar, e medida por Doppler tecidual das velocidades miocárdicas do AE, sua quantificação detalhada continua sendo desafiadora.

A ecocardiografia bidimensional com *speckle tracking* (E2DST) é uma técnica factível para a avaliação da deformação miocárdica do AE<sup>6-9</sup>. Sua quantificação pode

fornecer uma maior compreensão sobre a mecânica do AE<sup>10-12</sup>. No entanto, a variação normal da deformação do AE e da taxa de deformação (TD) ainda são discutíveis<sup>5,13-16</sup>.

O objetivo de nossa revisão é discutir as principais vantagens e limitações da avaliação da deformação do AE por E2DST. Faremos referência à fisiologia atrial a fim de discutir as principais funções do AE e como a EST pode ser usada para avaliá-las. Uma vez que a grande maioria dos estudos sobre deformação do AE usaram o EchoPac (GE Medical Systems), exemplificaremos nossos comentários através de imagens derivadas deste software, que foi anteriormente validado para a análise da deformação do AE mostrando alta factibilidade e boa concordância<sup>6-8,17</sup>.

## Fisiologia do átrio esquerdo

A função do AE contribui para o enchimento do VE através dos três componentes: de reservatório (40%), de conduto passivo (35%), e de bomba (25%)<sup>18,19</sup>. O relaxamento ventricular prolongado leva a uma redução na função de conduto, enquanto as funções de reservatório e de bomba aumentam. À medida que a disfunção diastólica progride, a função de conduto passivo aumenta, ao passo que as funções de reservatório e de bomba ativa diminuem sensivelmente<sup>18</sup>.

A função contrátil do AE depende da pré-carga, pós-carga, contratilidade intrínseca, ativação elétrica atrial, e do acoplamento eletromecânico. A propagação do impulso elétrico ocorre através de conexões interatriais no subepicárdio do AE<sup>17</sup>. Isto resulta na ativação do AE a partir do septo interatrial em direção às paredes inferior, anterior e lateral do AE durante o ritmo sinusal. Alterações nessas vias podem prolongar ou abolir a condução interatrial e criar um substrato para arritmias atriais<sup>17</sup>.

## Funções básicas do átrio esquerdo avaliadas por est

Atualmente, os parâmetros de deformação e TD derivados do E2DST nos permitem identificar todos os componentes da função do AE<sup>8,16</sup>. No entanto, esta técnica tem algumas limitações. Ela depende do enquadramento e não pode ser usada em pacientes em que a qualidade da imagem 2D é inferior à ideal. Assim, a EST requer imagens em escala de alta qualidade e uma curva de aprendizado. Não obstante, trata-se de uma ferramenta muito promissora para a avaliação da função regional e global do AE<sup>6-8,13</sup>. A deformação longitudinal do AE e os parâmetros da TD podem avaliar a função atrial em várias doenças como valvulopatia mitral, arritmias supraventriculares, hipertensão, insuficiência cardíaca e

## Palavras-chave

Função do Átrio Esquerdo; Átrio Esquerdo / anormalidades; Ecocardiografia; Diagnóstico por Imagem.

### Correspondência: Dragoș Vinereanu •

Universidade de Medicina e Farmácia Carol Davila. Bucareste – Romênia  
E-mail: vinereanu@gmail.com  
Artigo recebido em 19/04/15; revisado em 23/08/15; aceito em 24/08/15.

DOI: 10.5935/abc.20150144

## Artigo de Revisão

miocardiopatias. No entanto, a falta de padronização é uma limitação importante para o uso difundido desses parâmetros na prática clínica. Consequentemente, os valores normais para todos esses 3 componentes da função do AE são extremamente necessários.

Os átrios e ventrículos movem-se em direções opostas durante o ciclo cardíaco, de forma que o miocárdio atrial se alonga durante a sístole ventricular (deformação positiva), enquanto que o miocárdio ventricular encurta durante a sístole ventricular (deformação negativa). Isto cria uma imagem espelhada para as curvas D/TD do AE e VE.

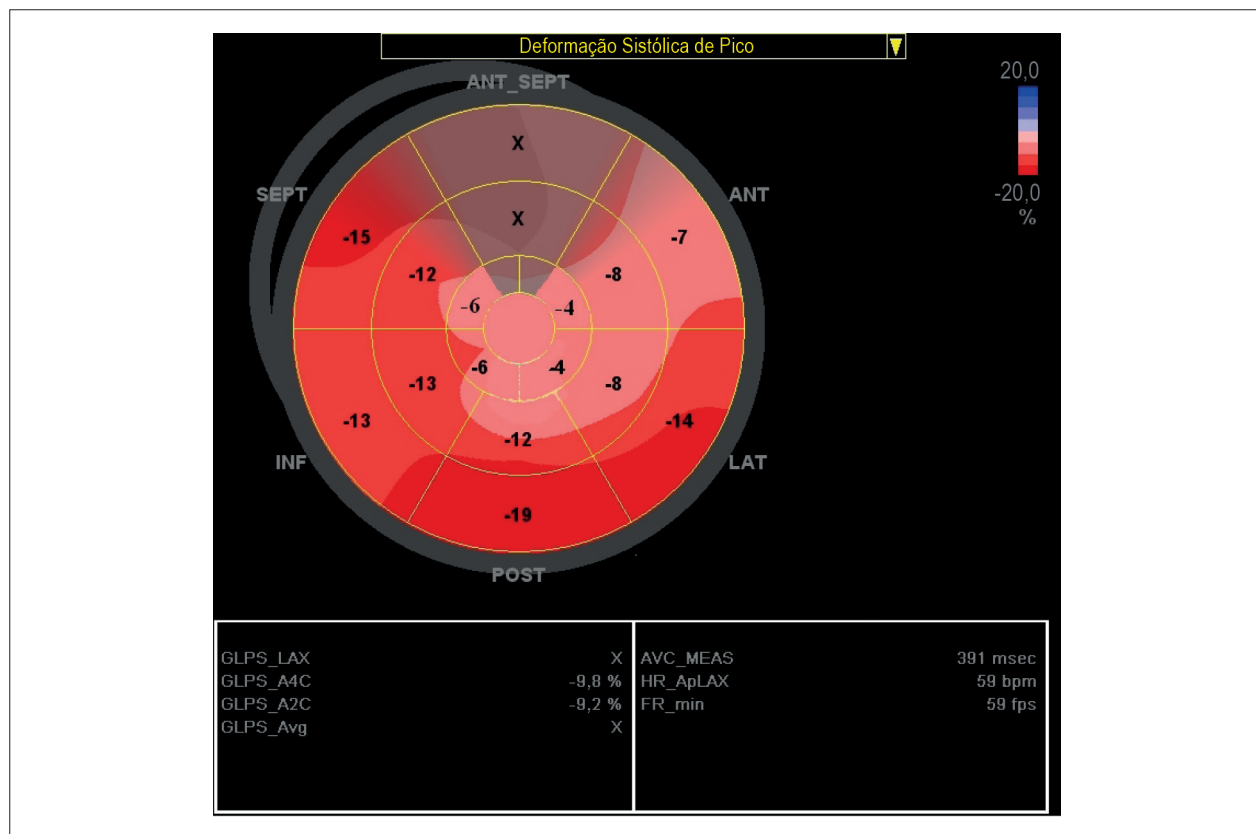
Cameli e cols.<sup>8</sup> descreveram um modelo de 12 segmentos para a análise da deformação do AE usando cortes apicais de 4 e 2 câmaras. Outros estudos propuseram um modelo de 15 segmentos para uma avaliação completa da deformação do AE usando cortes de 4, 2 e 3 câmaras<sup>6,7,18</sup>. Esta variabilidade de modelos utilizados é um dos fatores técnicos que pode criar valores normais diferentes para os parâmetros de deformação e TD, além de diferentes valores de corte em estados patológicos.

Já se sabe que há diferenças regionais na função segmentar do AE durante a contração e o relaxamento atrial, com a parede posterior sofrendo a menor deformação, provavelmente devido ao fato de que sua movimentação

é limitada pela ligação das veias pulmonares<sup>6,7</sup>, e a parede inferior sofrendo a maior deformação, o que é atribuível a sua maior espessura. Portanto, ao ignorar a parede posterior quando se usa um modelo de 12 segmentos pode-se superestimar os parâmetros globais de D e TD. De maneira semelhante, a deformação do reservatório atrial é maior no corte apical 2C do que no 4C, uma vez que o corte 4C incorpora duas áreas em que a deformação atrial é baixa (o septo interatrial e a área das veias pulmonares).

Durante a contração e o relaxamento atrial, observa-se um gradiente de deformação a partir de todos os cortes, com maior deformação na junção atrioventricular e menor deformação no teto atrial, porque este é fixado ao mediastino (Figura 1).

Em nossa opinião, a avaliação completa da função do AE por E2DST deve incluir cortes apicais de 2, 4 e 3 câmaras otimizados para a visualização do AE. A taxa de aquisição de imagens deve ser ajustada entre 60 e 80 quadros por segundo<sup>16,17</sup>. Para traçar a RD1 (região de interesse) na descontinuidade da parede atrial esquerda correspondente às veias pulmonares, a direção das superfícies endocárdica e epicárdica do AE na junção com estas estruturas deve ser extrapolada<sup>6-8</sup>. Antes do processamento, uma pré-visualização em alça em modo cine confirma que a linha interna acompanha o endocárdio do AE durante todo o ciclo cardíaco. São feitos ajustes manuais quando o rastreamento



**Figura 1** – Vista em “alvo” da deformação longitudinal 2D da contração do átrio esquerdo em indivíduo normal. Está codificado em vermelho porque representa a deformação atrial da função de bomba. Os valores basais são maiores que os valores mediais e ainda mais reduzidos ao centro, que representa o teto atrial (vermelho claro). Os valores anterolaterais são mais baixos que os inferoposteriores. Os valores da parede anterosséptal foram excluídos porque correspondem à aorta ascendente.

do endocárdio do AE é insatisfatório. Os segmentos de AE com qualidade de imagem inadequada devem ser descartados. Sugerimos que os indivíduos com mais de um segmento não aceitável por câmara sejam excluídos da análise. O rastreamento da cavidade do AE pouco antes da contração atrial, quando menor, frequentemente elimina a perda de sinal da parede miocárdica no septo interatrial e nas veias pulmonares e, portanto, melhora o rastreamento. O rastreamento das partes mais hiperdinâmicas do AE, como as regiões anulares lateral, inferior e inferoposterior, pode ser desafiador. Pode ser útil estender o traço endocárdico do AE um pouco apicalmente abaixo do anel mitral e ajustar as configurações pós-processamento para definir melhor o AE nesta região.

Os parâmetros de D e TD longitudinais do átrio esquerdo devem ser avaliados como a média de 6 valores segmentares por cada corte (Figura 2). Os valores de D/TD finais corresponderão à média dos valores obtidos para cada corte apical, excluindo-se os três segmentos da parede anterosséptal do corte de 3 câmaras, que corresponde à aorta ascendente.

A curva de deformação avaliada por E2DST deve seguir a fisiologia do AE. Durante a função de reservatório do AE, que corresponde à contração isovolumétrica, ejeção

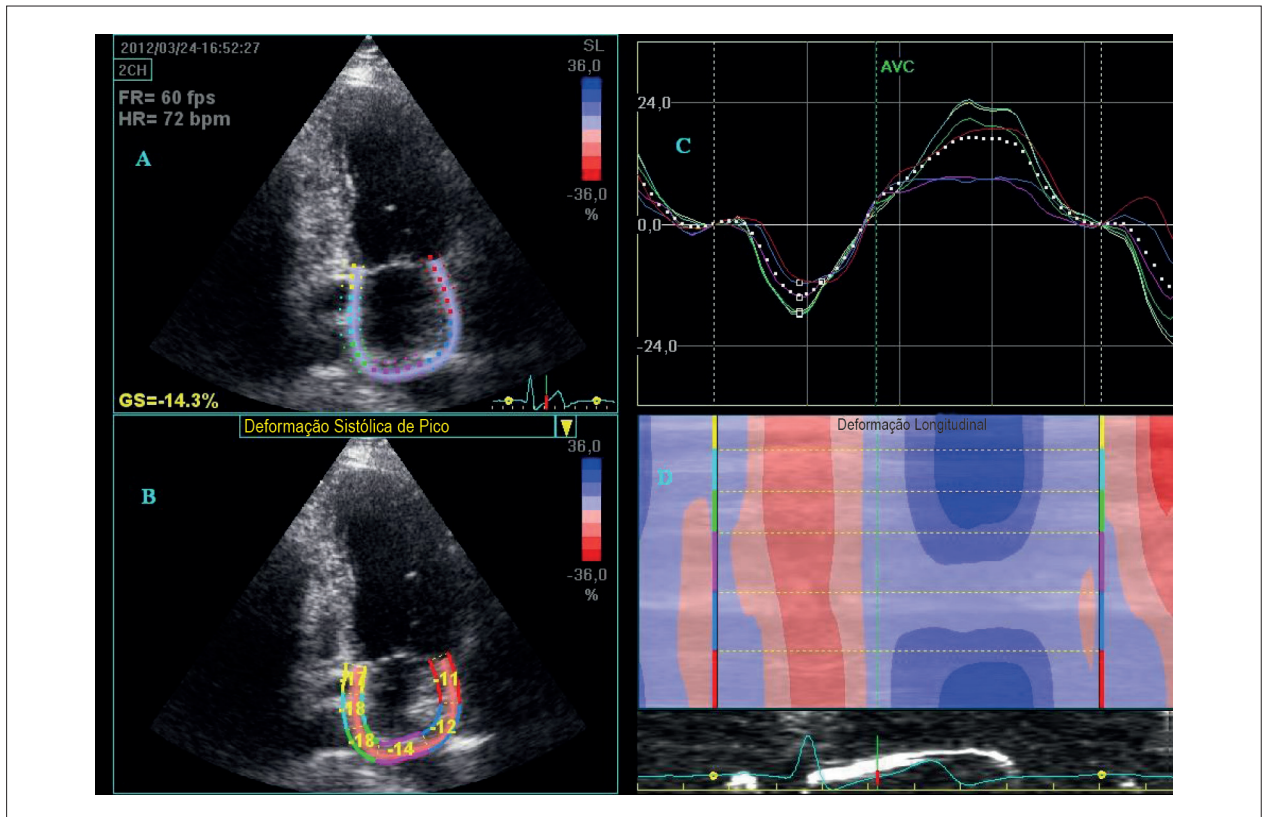
e relaxamento isovolumétrico do VE, a deformação do AE aumenta, atingindo o pico máximo pouco antes da abertura da válvula mitral. Durante a função de conduto, a deformação do AE diminui, atingindo um pico negativo ao final da contração do AE (Figura 3). Subsequentemente, durante a diástase, tanto o perfil de D quanto o de TD tornam-se planos, demonstrando que não ocorre deformação da parede do AE durante a fase tardia da função de conduto<sup>7,12,16</sup>. Usando as curvas de D e TD globais longitudinais, as funções ativa, passiva e de reservatório podem ser assim definidas:

1. Função ativa (de bomba):

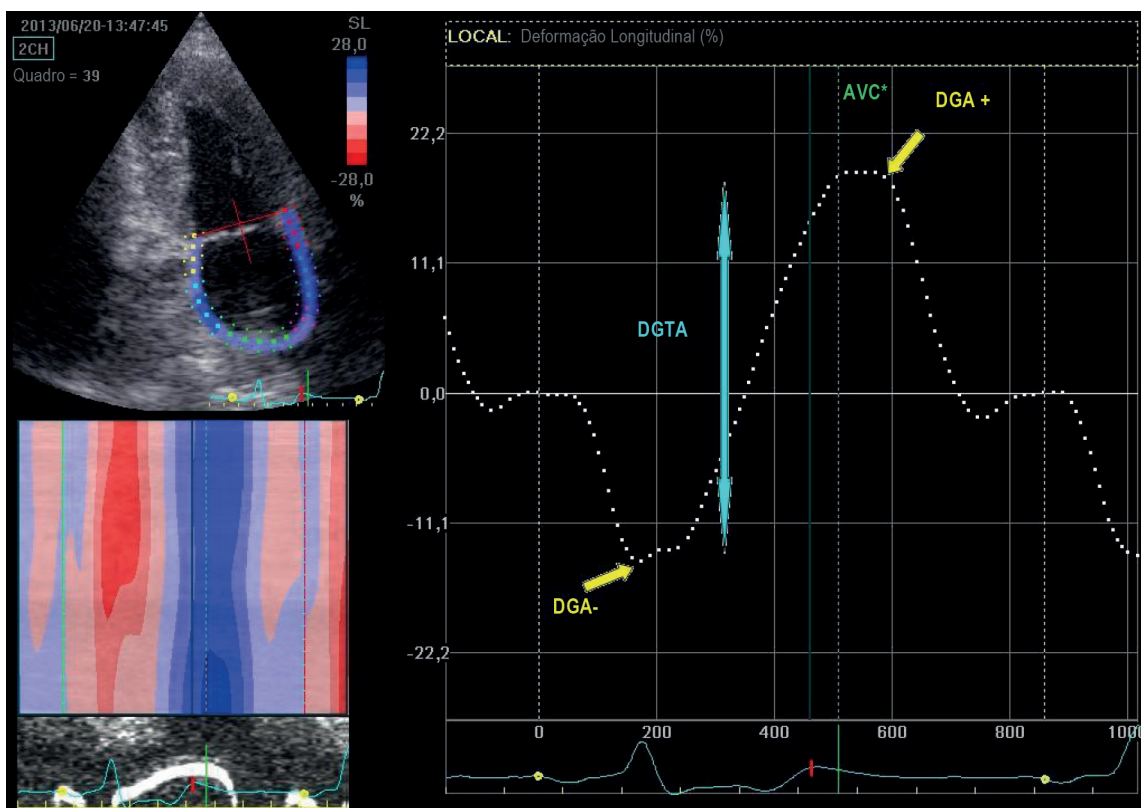
- Deformação global negativa como diferença entre a deformação na contração pré-atrinal (após a onda A) e a deformação pouco antes do fechamento da válvula mitral (FVM) (DGA-) (Figura 3)<sup>6,7</sup>;
- Taxa de deformação global diastólica tardia (TDGT) (Figura 4)<sup>5,7,12</sup>.

2. Função passiva (de conduto):

- Deformação global positiva à AVM (DGA+) (Figura 3)<sup>6,7</sup>;
- Taxa de deformação global diastólica negativa precoce (TDGP) (Figura 4)<sup>5,7,12</sup>.



**Figura 2** – Vista em 4 imagens da deformação longitudinal do AE por E2DST. E2DST do átrio esquerdo (AE) a partir do corte 2C, mostrando a região de interesse (RDI) criada pelo software STE (painel A), e os valores de deformação regional da função atrial correspondentes (painel B). No painel C, são analisadas as curvas de deformação do AE para cada um dos 6 segmentos. A curva tracejada representa a deformação longitudinal média do AE. O ponto de referência foi colocado no início da onda P. Durante o período em que o átrio atua como reservatório, a deformação atrial aumenta, atingindo um pico pouco antes da abertura da válvula mitral. Durante a função de conduto, a deformação atrial diminui, com um platô durante a diástase e um pico negativo ao final da contração atrial. No painel D, o modo unidimensional curvo mostra que a deformação positiva do teto do átrio é menor (em azul claro) que a de outras paredes (em azul escuro).



**Figura 3** – Medida dos parâmetros de deformação longitudinal do átrio esquerdo por E2DST. Corte em 2C mostrando a região de interesse e o modo unidimensional curvo criado pelo software (esquerda) e a deformação longitudinal global do átrio esquerdo correspondente (direita). O ponto de referência foi colocado no início da onda P, permitindo a medida da deformação negativa global à contração atrial máxima (DGA-) (função de bomba), deformação global positivo à abertura da válvula mitral (DGA+) (função de conduto), e também a soma de DGA- e DGA+ (DGTA) (função de reserva). FVA: Fechamento da válvula aórtica.

### 3. Função de reservatório:

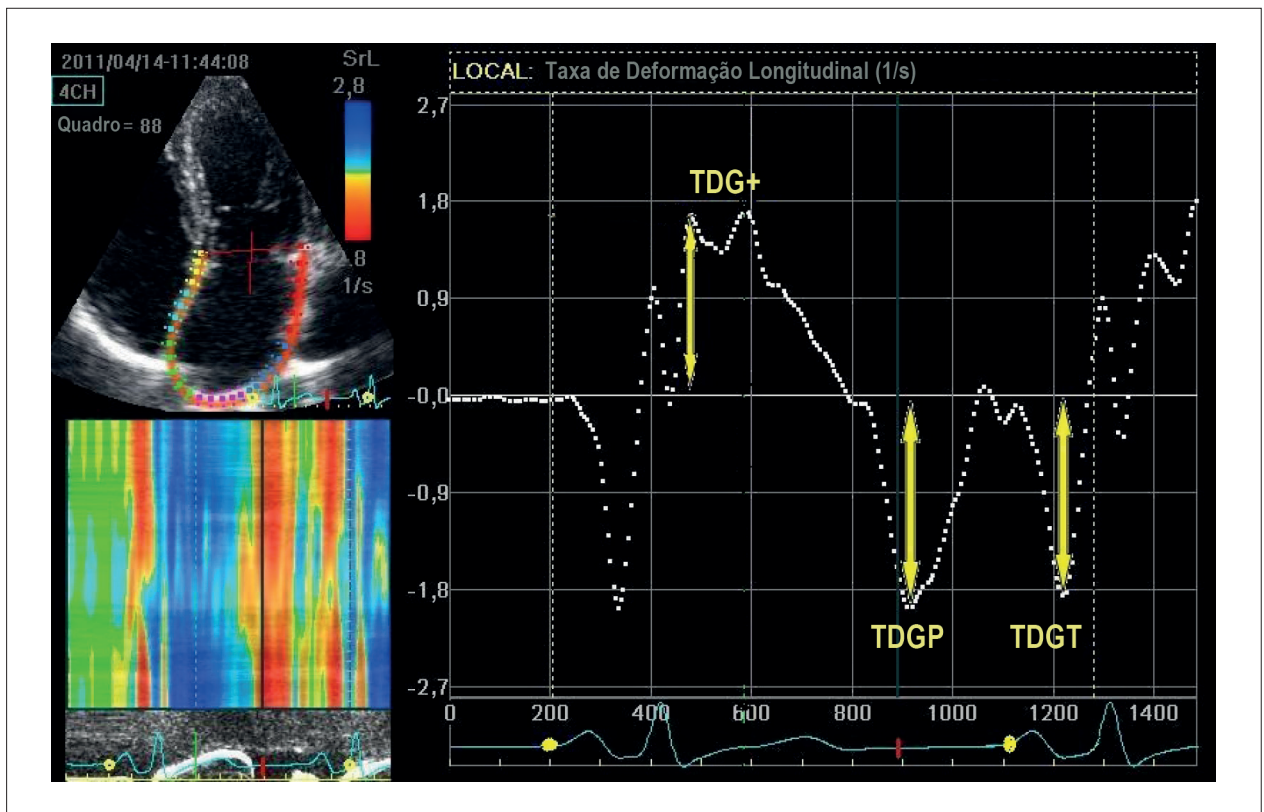
- Soma de DGA- e DGA+ (DGTA) (Figura 2)<sup>6,7</sup>
- Primeira taxa de deformação global positiva no início da sístole do VE (TDG+) (Figura 4)<sup>6,7</sup>.

No entanto, diferentes estudos usaram metodologias diversas com base em pontos de referência distintos do ECG (onda R ou P) para a geração da curva de deformação, o que pode ter gerado valores normais diferentes<sup>6-9,12,16</sup>. Numa população normal, Saraiva e cols.<sup>7</sup> utilizaram a onda P para a geração de curvas de deformação e verificaram que o valor de DGA+ foi de  $21,4 \pm 6,7\%$ ; o de DGTA, de  $35,6 \pm 7,9\%$ ; e o de DGA-, de  $-14,2 \pm 3,3\%$ . Em população semelhante, Sun e cols.<sup>5</sup> usaram a onda R como ponto de referência e relataram valores completamente diferentes para DGTA+, de  $46,8 \pm 7,7\%$ . Além disso, devido a uma translação para cima da curva de deformação usando o método da onda R, encontraram uma deformação positiva de  $19,6 \pm 4,2\%$ , interpretada como contração atrial. Os valores normais para os parâmetros de TD foram semelhantes nos dois estudos<sup>5,7,8</sup>.

Levando-se em consideração a fisiologia atrial, podemos compreender facilmente que os estudos que utilizam a onda R ignoram a função de bomba ativa real (pico negativo), e criam uma deformação positiva para esta função, o que é incompatível com as alterações fisiológicas reais<sup>5,9,12,16</sup>. Em contraste com a avaliação da deformação do VE, em que a onda R do ECG é usada como ponto de referência, consideramos que o uso da onda P possibilita a deformação global negativa do AE, que corresponde à função contrátil real do AE.

Nossa experiência mostrou que o método da onda R, em comparação ao método da onda P, forneceu um valor positivo não fisiológico para a função ativa do AE, ao passo que as funções de conduto e de reservatório (DGA-, DGTA) foram significativamente superestimadas (Figura 5)<sup>20</sup>. Esses achados sugerem que a diferença entre os métodos não condiz com uma simples translação para cima da curva de deformação, como foi anteriormente sugerido por Cameli e cols.<sup>9,12</sup>.

As diretrizes recomendam que a onda R seja utilizada como marco temporal para a análise da deformação do VE, a fim de gerar corretamente a deformação negativa



**Figura 4** – Medida de parâmetros da taxa de deformação longitudinal do átrio esquerdo por E2DST. Corte 4C mostrando a região de interesse criada pelo software (esquerda) e a taxa de deformação longitudinal global do átrio esquerdo correspondente (direita). TDG+, primeira taxa de deformação positiva no início da sístole do ventrículo esquerdo; TTDG+ tempo do início da onda P até o pico da taxa de deformação positiva; TDGP, taxa de deformação diastólica precoce; TDGT, taxa de deformação diastólica tardia.

máxima durante a fase de contração. Uma vez que após a contração do AE o comprimento do AE é menor que antes da contração, o valor da deformação da contração do AE tem que ser negativo. Isto reflete melhor os princípios verdadeiros da deformação, segundo os quais não apenas a magnitude que representa a deformação, mas também a direção da deformação é importante. Sugerimos que, com o uso da onda P como ponto de referência, pode-se estimar corretamente as funções do AE<sup>20</sup>.

Para padronizar a deformação do AE, devem ser considerados outros ajustes, como um ganho adequado e a RDI. Em primeiro lugar, ajustes de ganho baixos eliminam artificialmente estruturas anatômicas. Por outro lado, com ganho excessivo há uma redução da resolução. Em nossa experiência, aumentar o ganho do mínimo para o máximo leva à superestimativa de todas as funções do AE. Alterações intermediárias não produziram impacto significativo nas funções ativa e de conduto, mas sim na de reservatório<sup>20</sup>, o que é muito importante, uma vez que muitos estudos se concentram na função de reservatório e sua correlação com as funções sistólica e diastólica do VE<sup>21-24</sup>. Em segundo lugar, diminuir a largura da RDI reduz os valores da deformação do AE, provavelmente por contaminação de estruturas adjacentes. Levando-se em consideração a anatomia do AE, RDIs maiores podem ser usados por engano apenas se

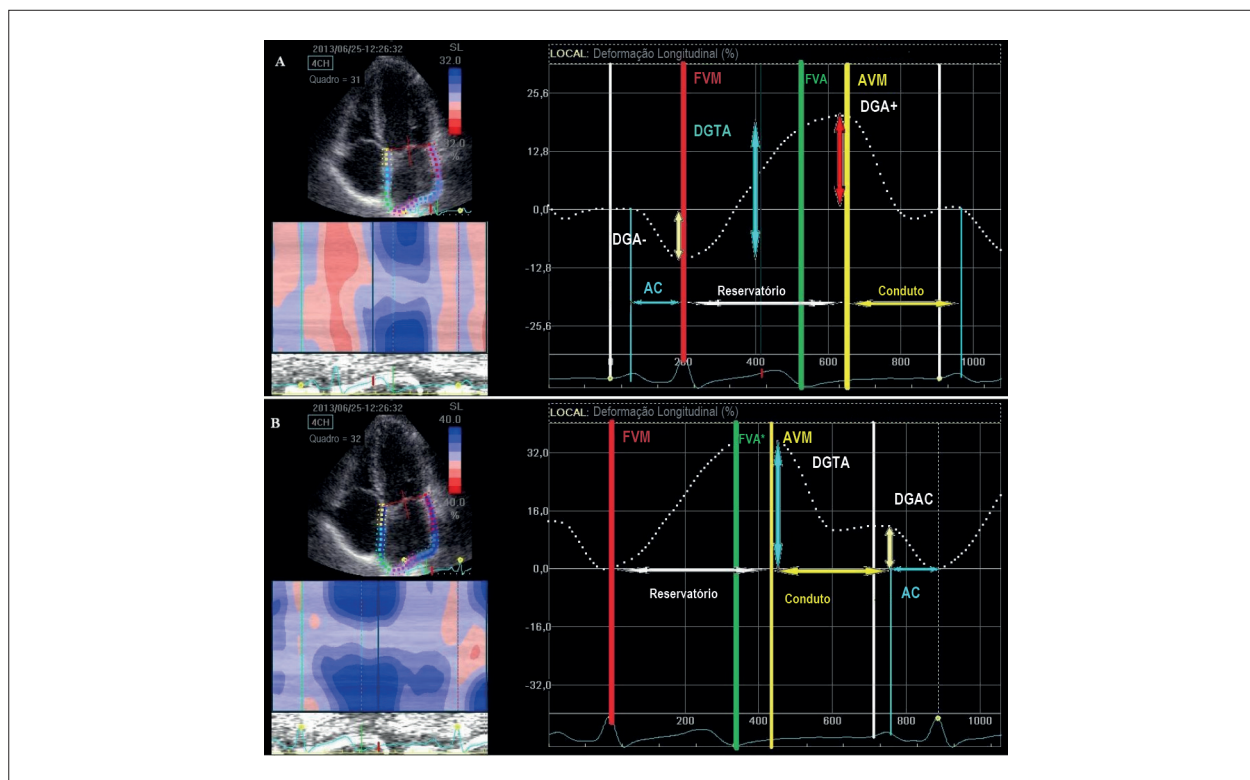
o ganho inicial ou pós-processamento forem muito altos. Uma vez que as paredes do AE são muito finas, deve-se usar uma RDI mínima<sup>20,21</sup>. Devem também ser consideradas a dificuldade potencial de obter com precisão a região de interesse próxima o suficiente da forma do AE real e o risco de contaminação por componentes do sinal provenientes de estruturas adjacentes ao AE<sup>20-24</sup>.

Concluindo, sugerimos o uso de um ganho médio e de uma RDI mínima como a melhor escolha para a avaliação padrão da deformação do AE.

#### Aplicações clínicas dos parâmetros de deformação do átrio esquerdo

##### População geral

O tamanho do AE tem-se mostrado um marcador prognóstico de eventos cardiovasculares adversos na população geral<sup>25-28</sup>. Enquanto alguns estudos enfatizam o papel tanto do índice de volume do AE (VAEi) quanto o da disfunção diastólica do VE como fatores preditivos independentes de eventos cardiovasculares<sup>29,30</sup>, outros duvidam de que o VAEi seja capaz de prever mortalidade por todas as causas, independentemente do grau de disfunção diastólica do VE<sup>31</sup>. Mais recentemente, num estudo baseado



**Figura 5** – Comparação entre os métodos da onda P e onda R para a função fásica do AE. Corte 4C mostrando a região de interesse (RDI) (esquerda) e as curvas de deformação do AE correspondentes (direita). As curvas tracejadas representam as deformações longitudinais globais atriais médias durante o ciclo cardíaco. O ponto de referência foi colocado no início da onda P (painel A) e da onda R (painel B). FVM: Fechamento da válvula mitral; FVA: Fechamento da válvula aórtica; AVM: Abertura da válvula mitral.

*Painel A* - Medida da deformação global negativa da contração atrial (DGA-), deformação global positiva à AVM (DGA+), e deformação total (DGTA) como soma de DGA- e DGA+. São mostradas as funções de bomba (AC), reservatório e conduto. No painel inferior à esquerda, há um delineamento claro da função de bomba (vermelho) e de reservatório (azul) do AE, com perfil em modo unidimensional curvo.

*Painel B* - Medida da deformação global positiva total à AVM (DGTA) (reservatório), e deformação global positivo tardia (DGTC) à contração atrial. Há uma deformação positiva para a função de bomba atrial usando este método. A função de conduto é definida como a diferença entre DGTA e DGAC. No painel inferior esquerdo não há nenhum delineamento para a contração do AE e função de reservatório (todo azul), com perfil em modo unidimensional curvo.

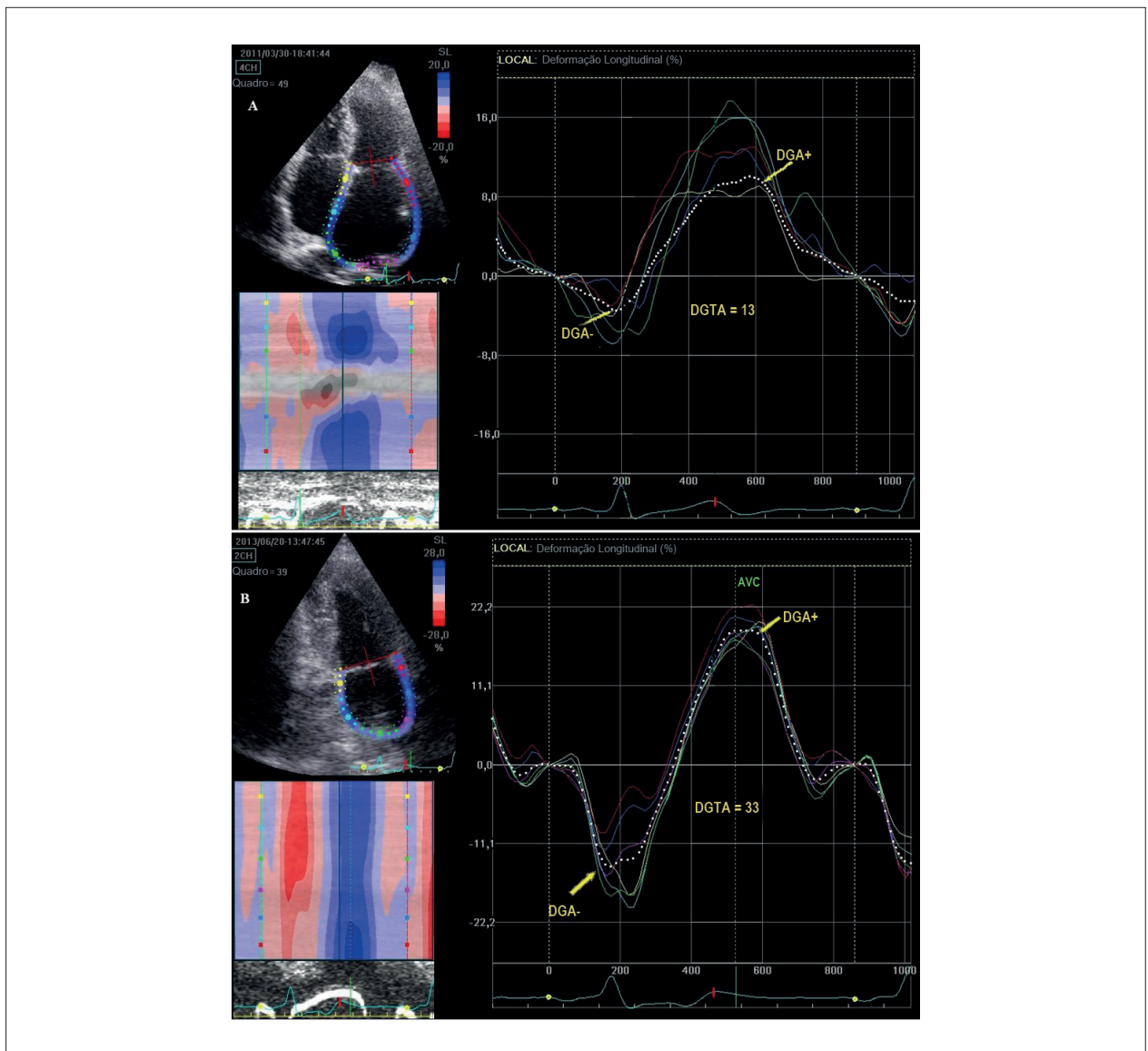
em uma população geral, a fração de esvaziamento do AE (FEAE) mostrou-se independentemente associada à mortalidade<sup>32</sup> e ao desenvolvimento de fibrilação atrial (FA) ou flutter em indivíduos  $\geq 65$  anos<sup>33</sup>. Outros estudos sugeriram que a função de bomba do AE também é capaz de identificar indivíduos com maior risco cardiovascular na população<sup>34,35</sup>, e que o VAE mínimo pode ser um marcador prognóstico importante<sup>36,37</sup>. Para identificar o valor adicional da análise da deformação do AE por E2DST como marcador de risco cardiovascular em comparação com o VAEi ou a FEAE, Cameli e cols.<sup>38</sup> avaliaram prospectivamente 312 adultos com mais de 50 anos de idade e mostraram que a deformação positiva global, usando o método da onda R e um modelo de 12 segmentos do AE, é um fator preditivo forte e independente de eventos cardiovasculares superior aos parâmetros convencionais da análise do AE<sup>38</sup>.

### Fibrilação atrial

Os pacientes com FA apresentam remodelamento do AE tanto elétrico quanto morfológico. A fibrose intersticial é uma das alterações morfológicas principais

em pacientes portadores de FA, e fibrose extensa do AE mostrou-se associada ao comprometimento da função do AE. Os parâmetros de deformação do AE estão diminuídos em pacientes portadores de FA não valvular (Figura 6) em comparação com indivíduos normais<sup>39,40</sup>. Foi mostrada correlação inversa entre o grau de fibrose do AE determinado por RM e deformação do AE e TD determinadas por exame de imagem com velocidade vetorial<sup>41</sup>.

Diferentes estudos mostraram que a deformação do AE prediz o risco de eventos cardiovasculares ou o sucesso no restabelecimento do ritmo sinusal após cardioversão elétrica ou procedimentos de ablação em pacientes portadores de FA, além do risco de recorrência de FA após cardioversão bem-sucedida<sup>40,42,43</sup>. Assim, no estudo de Saha e cols.<sup>39</sup>, os valores de DGTA e FEAE mostraram-se diminuídos, e DGTA foi o único índice associado a uma maior chance de escore de CHADS2  $\geq 2$ . Além disso, a deformação do reservatório do AE apresentou-se como valor adicional ao escore de CHADS2 na predição de morte ou hospitalização<sup>39</sup>. Outro estudo mostrou uma redução da DGA- e DGA+ em pacientes portadores de FA paroxística e um escore



**Figura 6** – Comparação entre a deformação do átrio esquerdo em um paciente portador de fibrilação atrial recorrente (painel A) e em um indivíduo normal (painel B). A deformação média (linha pontilhada) está pronunciadamente reduzida no paciente com fibrilação atrial recorrente durante a função de bomba (DGA-) (-3% versus -15%), durante a função de conduto (DGA+) (9% versus 18%), e durante a função de reservatório (DGTA) (13% versus 33%). Também há completa dissincronia da contração e relaxamento entre os segmentos atriais esquerdos no paciente portador de fibrilação atrial em comparação com um indivíduo normal.

de CHADS2  $\leq 1$  antes do primeiro AVC em comparação com controles pareados por idade e sexo, portadores de FA paroxística e sem antecedente de AVC. Além disso, houve associação significativa entre DGA- e AVC. Esses resultados sugerem que a deformação do AE pode auxiliar na decisão por anticoagulação oral neste grupo de pacientes<sup>44</sup>.

Shih e cols.<sup>45</sup> mostraram que a deformação do AE durante o enchimento atrial e a TD durante a fase de reservatório estavam diminuídas em pacientes com FA e AVC, e estavam independentemente associados a AVC. Outro estudo mostrou que embora DGA+ não fosse fator preditivo de recorrência de FA em pacientes que necessitaram de

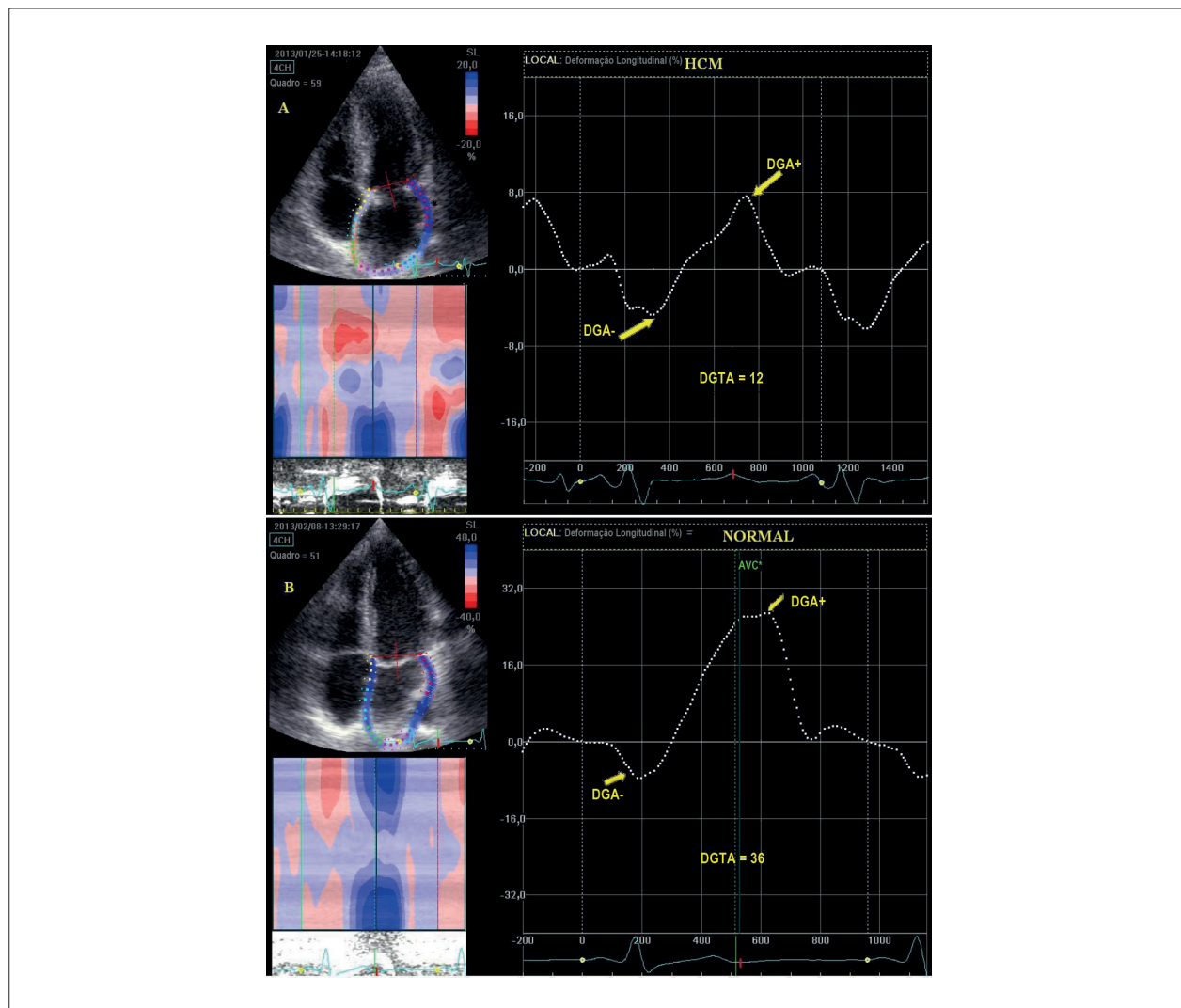
cardioversão, a mudança no pico da deformação positiva do AE foi significativamente maior nos indivíduos que mantiveram ritmo sinusal<sup>46</sup>. A falta de poder preditivo pode estar relacionada apenas ao pequeno tamanho amostral. Mais recentemente, demonstrou-se que anormalidades no momento de deformação atrial predizem recorrência de FA após cardioversão<sup>47,48</sup>. Assim, em pacientes encaminhados para cardioversão por FA, o desvio padrão do tempo até a deformação de pico utilizando um modelo de seis segmentos do AE foi um fator preditivo independente de recorrência de FA<sup>47</sup>. Foram publicados resultados semelhantes após procedimentos de ablação por cateter para FA<sup>49</sup>.

### Miocardiopatias

A deformação do AE está diminuída em miocardiopatias hipertróficas (MCH) em comparação a controles hígidos (Figura 7) bem como em comparação a pacientes portadores de hipertrofia do VE secundária à hipertensão<sup>22,24</sup>. Além disso, em outro estudo, foi sugerido que a deformação do AE pode apresentar um valor adicional sobre parâmetros convencionais como VAEi, razão E/A e E/E' na diferenciação de MCH de outros tipos de hipertrofia, com valor de corte de -10,8% para a função de bomba<sup>22</sup>. Enquanto isso, Rosca e cols.<sup>2</sup> mostraram que a função de bomba do AE, avaliada apenas a partir de curvas de TD, é um determinante independente de sintomas de insuficiência cardíaca em pacientes portadores de MCH.

Em pacientes com amiloidose cardíaca, também é comum a disfunção do AE. Em um estudo usando

Doppler tecidual, a deformação sistólica do AE de pico e a TD foram menores em pacientes com amiloidose cardíaca do que naqueles com disfunção diastólica do VE de outras causas, sugerindo que o Doppler tecidual pode ser usado para detectar alterações sutis na função do AE nesses pacientes<sup>50</sup>. Outro estudo usando EST confirmou que a disfunção do AE é um componente comum da amiloidose, mesmo na ausência de padrões ecocardiográficos tradicionais. Assim, TDGT e DGA- foram significativamente menores no grupo com amiloidose em comparação com o grupo controle, sugerindo que a avaliação da deformação do AE é capaz de detectar diferenças sutis na função do AE não identificadas pela maioria dos parâmetros convencionais. Portanto, parece que a amiloidose afeta a função do AE ainda mais além da disfunção secundária à disfunção diastólica do VE<sup>51</sup>.



**Figura 7** – Comparação entre a deformação do átrio esquerdo em paciente portador de miocardiopatia hipertrófica (painel A) e um indivíduo normal (painel B). Deformação média marcadamente reduzida em paciente portador de miocardiopatia hipertrófica durante a função de bomba (DGA-) (-4% versus -10%), durante a fase de conduto (DGA+) (8% versus 26%) e durante a fase de reservatório (DGTA) (12% versus 36%).



Em pacientes portadores de miocardiopatia dilatada (MCD), a função do AE avaliada por EST mostrou-se severamente alterada na forma idiopática em comparação com a forma isquêmica. Em um estudo em 314 pacientes, a deformação sistólica do AE de pico mostrou-se significativamente reduzida em MCD idiopática em comparação à MCD isquêmica<sup>51</sup>. Entretanto, esse estudo usou o método da onda R para a geração das curvas de deformação, e o que foi definido como “deformação sistólica do AE de pico” era, na verdade, a função de reservatório do AE (DGTA). Outro estudo recente investigou a importância da reserva funcional do AE durante ecocardiografia de estresse por dobutamina (EED) em pacientes com depressão da função sistólica do VE<sup>52</sup>. Os autores concluíram que a avaliação do reservatório do AE e da função de esvaziamento passivo durante EED fornece um valor adicional importante sobre parâmetros clínicos e ecocardiográficos padrão na predição de eventos cardiovasculares em MCD, uma vez que uma reserva funcional do AE diminuída se mostrou associada a uma taxa de eventos cardiovasculares mais alta<sup>52</sup>. Em outro estudo, em pacientes com insuficiência cardíaca, a DGTA mostrou boa correlação com a pressão capilar pulmonar ( $r = -0,81$ ,  $p < 0,0001$ ), fornecendo uma estimativa melhor da pressão de enchimento do VE ( $ASC = 0,93$ ) do que a razão  $E/E'$ <sup>12</sup>.

A análise da deformação do AE por EST pode revelar informações relevantes em pacientes com MCD, candidatos a terapia de ressincronização cardíaca (TRC). Um estudo incluindo 90 pacientes com MCD tanto de etiologia idiopática quanto isquêmica confirmou que a função sistólica do AE (DGA-) está consideravelmente mais comprometida em pacientes portadores da forma idiopática do que da isquêmica. Além disso, os pacientes com MCD isquêmica que responderam à TRC tiveram mais chance de apresentar melhora da função do AE após a ressincronização (Figura 8). De fato, os únicos determinantes independentes da recuperação funcional do AE após TRC foram a resposta positiva à TRC e etiologia isquêmica de MCD<sup>53</sup>. Outro estudo usando Doppler tecidual mostrou que, em pacientes com insuficiência cardíaca e TRC, a deformação atrial foi maior no átrio direito, septo interatrial e átrio esquerdo no modo de detecção atrial em comparação com o modo de estimulação atrial<sup>54</sup>. Esse estudo enfatizou que apesar de não haver diferença na dissincronia intraventricular, os pacientes com modo de detecção atrial apresentavam dissincronia atrial significativamente menor, o que contribuiu para um melhor desempenho do VE após TRC.

### Doença cardíaca isquêmica

A disfunção do AE também é comum após infarto agudo do miocárdio. Em um estudo de 320 pacientes avaliados por EST 48 horas após internação por infarto agudo do miocárdio, a deformação do reservatório do AE (DGTA) e o VAEi máximo foram fatores preditivos independentes de mortalidade por todas as causas, reinfarto e reinternação por insuficiência cardíaca crônica após ajuste para parâmetros clínicos e outros parâmetros ecocardiográficos<sup>55</sup>. Por outro lado, em um estudo de 843 pacientes com infarto do miocárdio, a DGTA medida dentro de 48 horas após internação mostrou-se

significativamente associada ao desfecho composto de insuficiência cardíaca e óbito, mas não conseguiu prever este desfecho após ajuste (para idade, deformação global longitudinal do VE, e VAEi máximo). Esse estudo sugeriu que a deformação do AE nesses pacientes é dependente da deformação longitudinal global do VE e do tamanho do AE e, portanto, o valor prognóstico adicional da função de reservatório do AE em pacientes com comprometimento da função longitudinal do VE é discutível<sup>56</sup>.

### Valvopatias

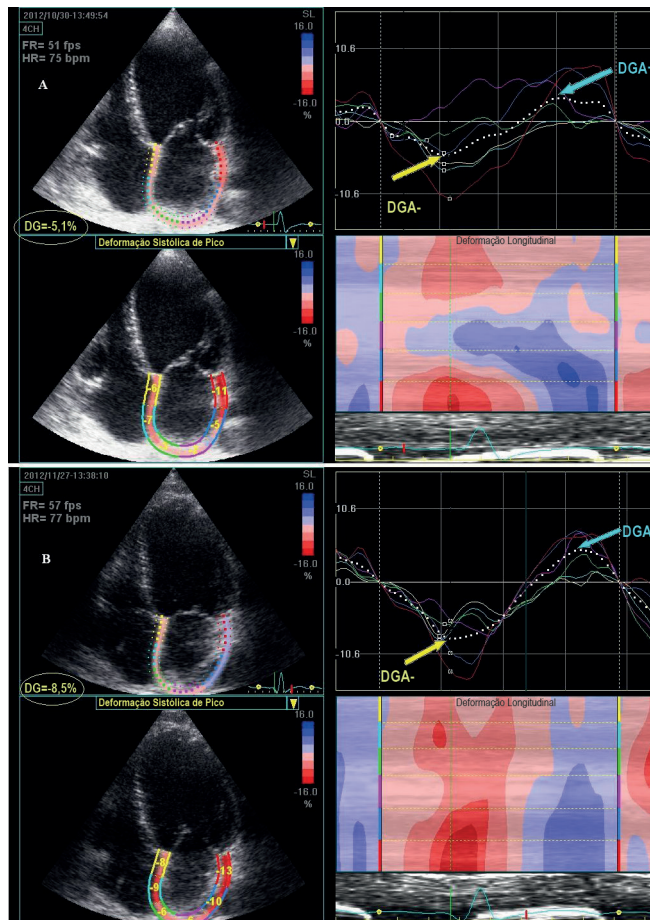
Aumento do AE e comprometimento da função do AE resultante de sobrecarga de volume ou pressão são frequentes em estenose aórtica (EA) e insuficiência mitral (IM) crônica.

O tamanho do AE mostrou-se um bom fator preditivo de desfecho em IM primária: um diâmetro de AE maior que 55 mm mostrou-se associado a uma taxa de sobrevivência menor em 8 anos, enquanto que um volume de AE maior que 60 mL/m<sup>2</sup> mostrou-se associado a um aumento da mortalidade e de eventos cardíacos (FA e insuficiência cardíaca). Entretanto, há poucos dados publicados sobre a função do AE avaliada por EST e seu papel prognóstico em IM primária. Estudo recente em 121 pacientes portadores de IM grave relatou disfunção significativa da bomba e reservatório do AE, que foram mais pronunciadas em pacientes que já tinham indicação de cirurgia. De todos os índices de função do AE, a deformação do reservatório do AE apresentou a maior precisão na identificação de pacientes com indicação para cirurgia de válvula mitral. Além disso, após a cirurgia de válvula mitral, os pacientes com deformação do reservatório do AE  $\leq 24\%$  apresentaram menor sobrevivência após um seguimento mediano de 6,4 anos, independentemente da sintomatologia antes da cirurgia<sup>57</sup>. Mais uma vez, isto enfatiza a importância de uma correta avaliação da deformação do reservatório do AE.

Uma função de bomba atrial preservada é importante para a manutenção do débito cardíaco em pacientes com estenose aórtica (EA) grave. Em pacientes com EA grave, todas as funções atriais (reservatório, conduto e bomba) mostraram-se comprometidas em comparação com controles pareados<sup>58</sup>. Como esperado, a disfunção do reservatório do AE mostrou-se relacionada às pressões de enchimento do VE, enquanto que a disfunção de conduto do AE depende do grau de comprometimento do relaxamento do VE<sup>58</sup>. Outro estudo recente investigou o papel da função do AE avaliada por EST como fator preditivo de FA pós-operatória em pacientes com EA grave submetidos a cirurgia convencional. TDGT foi o único fator preditivo independente de FA pós-operatória, sugerindo seu papel na estratificação de risco de pacientes com EA grave<sup>59</sup>.

### Conclusões

A avaliação da deformação do AE por ecocardiografia bidimensional com *speckle tracking* pode representar uma técnica rápida e fácil na exploração da função do AE. Esses novos parâmetros da função atrial são mais sensíveis que os índices tradicionais de função atrial e podem ser incorporados à avaliação de rotina de várias cardiopatias como fibrilação atrial, miocardiopatia hipertrófica e dilatada, doença cardíaca isquêmica, e valvopatias. Sugerimos que



**Figura 8** – Comparação entre a deformação do átrio esquerdo em paciente portador de miocardiopatia dilatada idiopática antes (painel A) e depois (painel B) de terapia de ressincronização cardíaca (TRC). A deformação média mostra-se marcadamente mais diminuída antes do que depois da TRC durante a função de bomba (DGA-) (- 5,1% versus -9%), durante a função de conduto (DGA+) (2,4 versus 5%) e também durante a função de reservatório (DGTA) (7,5% versus 14%). Foi observada melhora significativa da sincronia atrial tanto para a função de bomba, quanto para a de reservatório após TRC (painel B), em comparação a um padrão de deformação completamente desorganizado antes da TRC (painel A).

uma padronização metodológica é essencial para introduzir a análise da deformação do AE na prática clínica. A fim de definir os valores normais e de corte para o diagnóstico e prognóstico em diferentes doenças, sugerimos o uso do método da onda P para a geração da curva de deformação. Esse método permite uma avaliação completa de todas as funções do AE: de bomba, conduto passivo e reservatório. O ganho deve ser ajustado na faixa média, e a RDI, no nível mínimo. Está indicado um modelo de 15 segmentos para uma avaliação completa da deformação do AE, porque esse modelo incorpora todos os segmentos disponíveis e tem o potencial de criar um mapa real da ativação eletromecânica do AE.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Dr. Leabu Mircea por seus comentários úteis sobre a versão final deste artigo. Este trabalho contou com o apoio parcial do Programa Operacional Setorial Desenvolvimento de Recursos Humanos (Sectorial Operational Programme Human Resources Development - SOPHRD), financiado pelo Fundo Social Europeu e pelo Governo da Romênia sob o contrato número POSDRU 141531, além da Autoridade Nacional Romena para a Pesquisa Científica, CNCS – UEFISCDI, projeto número PN-II-ID-PCE-2011-3-0791.

## Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa e Redação do manuscrito: Rimbaş RC, Dulgheru RE, Vinereanu D; Obtenção de dados e Análise e interpretação dos dados: Rimbaş RC, Dulgheru RE; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Rimbaş RC, Vinereanu D.

### Potencial conflito de interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

## Fontes de financiamento

O presente estudo foi parcialmente financiado pelo Programa Operacional Setorial Desenvolvimento de Recursos Humanos (*Sectorial Operational Programme Human Resources Development - SOPHRD*) e CNCS – UEFISCDI.

### Vinculação acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

## Referências

1. Yu CM, Fang F, Zhang Q, Yip GW, Li CM, Chan JY, et al. Improvement of atrial function and atrial reverse remodeling after cardiac resynchronization therapy for heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 2007;50(8):778-85.
2. Roşca M, Popescu BA, Beladan CC, Călin A, Muraru D, Popa EC, et al. Left atrial dysfunction as a correlate of heart failure symptoms in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(10):1090-8.
3. Tsai WC, Lee CH, Lin CC, Liu YW, Huang YY, Li WT, et al. Association of left atrial strain and strain rate assessed by speckle tracking echocardiography with paroxysmal atrial fibrillation. *Echocardiography.* 2009;26(10):1188-94.
4. Popescu BA, Macor F, Antonini-Canterin F, Giannuzzi P, Temporelli PL, Bosimini E, et al. GISSI-3 Echo Substudy Investigators. Left atrium remodeling after acute myocardial infarction (results of the GISSI-3 Echo Substudy). *Am J Cardiol.* 2004;93(9):1156-9.
5. Sun JP, Yang Y, Guo R, Wang D, Lee AP, Wang XY, et al. Left atrial regional phasic strain, strain rate and velocity by speckle-tracking echocardiography: normal values and effects of aging in a large group of normal subjects. *Int J Cardiol.* 2013;168(4):3473-9.
6. Vianna-Pinton R, Moreno CA, Baxter CM, Lee KS, Tsang TS, Appleton CP. Two-dimensional speckle-tracking echocardiography of the left atrium: feasibility and regional contraction and relaxation differences in normal subjects. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009;22(3):299-305.
7. Saraiva RM, Demirkol S, Buakhamsri A, Greenberg N, Popovic ZB, Thomas JD, et al. Left atrial strain measured by two-dimensional speckle tracking represents a new tool to evaluate left atrial function. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(2):172-80.
8. Cameli M, Caputo M, Mondillo S, Ballo P, Palmerini E, Lisi M, et al. Feasibility and reference values of left atrial longitudinal strain imaging by two dimensional speckle tracking. *Cardiovasc Ultrasound.* 2009;7:6.
9. Cameli M, Lisi M, Giacomini E, Caputo M, Navarri R, Malandrino A, et al. Chronic mitral regurgitation: left atrial deformation analysis by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Echocardiography.* 2011;28(3):327-34.
10. Di Salvo G, Drago M, Pacileo G, Rea A, Carrozza M, Santoro G, et al. Atrial function after surgical and percutaneous closure of atrial septal defect: A strain rate imaging study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18(9):930-3.
11. D'Andrea A, Caso P, Romano S, Scarafile R, Cuomo S, Salerno G, et al. Association between left atrial myocardial function and exercise capacity in patients with either idiopathic or ischemic dilated cardiomyopathy: A two-dimensional speckle strain study. *Int J Cardiol.* 2009;132(3):354-63.
12. Cameli M, Lisi M, Mondillo S, Padeletti M, Ballo P, Tsioulpas C, et al. Left atrial longitudinal strain by speckle tracking echocardiography correlates well with left ventricular filling pressures in patients with heart failure. *Cardiovasc Ultrasound.* 2010;8:14.
13. Pavlopoulos H, Nihoyannopoulos P. Left atrial size: a structural expression of abnormal left ventricular segmental relaxation evaluated by strain echocardiography. *Eur J Echocardiogr.* 2009;10(7):865-71.
14. Wakami K, Ohte N, Asada K, Fukuta H, Goto T, Mukai S, et al. Correlation between left ventricular end diastolic pressure and peak atrial wall strain during left ventricular systole. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009;22(7):847-51.
15. D'Andrea A, Caso P, Romano S, Scarafile R, Riegler L, Salerno G, et al. Different effects of cardiac resynchronization therapy on left atrial function in patients with either idiopathic or ischaemic dilated cardiomyopathy: a two-dimensional speckle strain study. *Eur Heart J.* 2007;28(22):2738-48.
16. Kim DG, Lee KJ, Lee S, Jeong SY, Lee YS, Choi YJ, et al. Feasibility of two-dimensional global longitudinal strain and strain rate imaging for the assessment of left atrial function: a study in subjects with a low probability of cardiovascular disease and normal exercise capacity. *Echocardiography.* 2009;26(10):1179-87.
17. To AC, Flamm SD, Marwick TH, Klein AL. Clinical utility of multimodality LA imaging: assessment of size, function, and structure. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2011;4(7):788-98.
18. Serri K, Reant P, Lafitte M, Berhouet M, Le Bouffes V, Roudaut R, et al. Global and regional myocardial function quantification by two dimensional strain. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47(6):1175-81.
19. Cho GY, Chan J, Leano R, Strudwick M, Marwick TH. Comparison of two-dimensional speckle and tissue velocity based strain and validation with harmonic phase magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol.* 2006;97(11):1661-6.
20. Rimbaş RC, Mihaila S, Vinereanu D. Sources of variation in assessing left atrial functions by 2D speckle-tracking echocardiography. *Heart Vessels.* 2014 Nov. 12. [Epub ahead of print].
21. Shih JY, Tsai WC, Huang YY, Liu YW, Lin CC, Huang YS, et al. Association of decreased left atrial strain and strain rate with stroke in chronic atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(5):513-9.
22. Paraskevaidis IA, Panou F, Papadopoulos C, Farmakis D, Parissis J, Ikonomidis I, et al. Evaluation of left atrial longitudinal function in patients with hypertrophic cardiomyopathy: a tissue Doppler imaging and two-dimensional strain study. *Heart.* 2009;95(6):483-9.
23. Tops LF, Delgado V, Bertini M, Marsan NA, Den Uijl DW, Trines SA, et al. Left atrial strain predicts reverse remodeling after catheter ablation for atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57(3):324-31.
24. Eshoo S, Semsarian C, Ross DL, Marwick TH, Thomas L. Comparison of left atrial phasic function in hypertrophic cardiomyopathy versus systemic hypertension using strain rate imaging. *Am J Cardiol.* 2011;107(2):290-6.
25. Takemoto Y, Barnes ME, Seward JB, Lester SJ, Appleton CA, Gersh BJ, et al. Usefulness of left atrial volume in predicting first congestive heart failure in patients ≥ 65 years of age with well-preserved left ventricular systolic function. *Am J Cardiol.* 2005;96(6):832-36.
26. Benjamin E, D'Agostino R, Belanger A, Wolf P, Levy D. Left atrial size and the risk of stroke and death. The Framingham Heart Study. *Circulation.* 1995;92(4):835-41.

## Artigo de Revisão

27. Gottdiener JS, Kitzman DW, Aurigemma GP, Arnold AM, Manolio TA. Left atrial volume, geometry, and function in systolic and diastolic heart failure of persons  $\geq$  65 years of age (the cardiovascular health study). *Am J Cardiol*. 2006;97(1):83-9.
28. Tsang TS, Barnes ME, Gersh BJ, Takemoto Y, Rosales AG, Bailey KR, et al. Prediction of risk for first age-related cardiovascular events in an elderly population: the incremental value of echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42(7):1199-205.
29. Moller JE, Hillis GS, Oh JK, Seward JB, Reeder GS, Wright RS, et al. Left atrial volume: a powerful predictor of survival after acute myocardial infarction. *Circulation* 2003;107(17):2207-12.
30. Leung DY, Boyd A, Ng AA, Chi C, Thomas L. Echocardiographic evaluation of left atrial size and function: current understanding, pathophysiologic correlates, and prognostic implications. *Am Heart J*. 2008;156(6):1056-64.
31. Pritchett AM, Mahoney DW, Jacobsen SJ, Rodeheffer RJ, Karon BL, Redfield MM. Diastolic dysfunction and left atrial volume: a population-based study. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45(1):87-92.
32. Gupta S, Matulevicius SA, Ayers CR, Berry JD, Patel PC, Markham DW, et al. Left atrial structure and function and clinical outcomes in the general population. *Eur Heart J* 2013;34(4):278-85.
33. Abhayaratna WP, Fatema K, Barnes ME, Seward JB, Gersh BJ, Bailey KR, et al. Left atrial reservoir function as a potent marker for first atrial fibrillation or flutter in persons  $\geq$  65 years of age. *Am J Cardiol* 2008;101(11):1626-9.
34. Vasan R, Larson M, Levy D, Galderisi M, Wolf PA, Benjamin EJ, et al. Doppler transmitral flow indexes and risk of atrial fibrillation (the Framingham Heart Study). *Am J Cardiol*. 2003;91(9):1079-83.
35. Chinali M, de Simone G, Roman MJ, Bella JN, Liu JE, Lee ET, et al. Left atrial systolic force and cardiovascular outcome. The Strong Heart Study. *Am J Hypertens*. 2005;18(12 Pt 1):1570-7.
36. Fatema K, Barnes ME, Bailey KR, Abhayaratna WP, Cha S, Seward JB, et al. Minimum vs. maximum left atrial volume for prediction of first atrial fibrillation or flutter in an elderly cohort: a prospective study. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10(2):282-6.
37. Caselli S, Canali E, Foschi ML, Santini D, Di Angelantonio E, Pandian NG, et al. Long-term prognostic significance of three-dimensional echocardiographic parameters of the left ventricle and left atrium. *Eur J Echocardiogr*. 2010;11(3):250-6.
38. Cameli M, Lisi M, Focardi M, Reccia R, Natali BM, Sparta S, et al. Left atrial deformation analysis by speckle tracking echocardiography for prediction of cardiovascular outcomes. *Am J Cardiol*. 2012;110(2):264-9.
39. Saha SK, Anderson PL, Caracciolo G, Kiotsekoglou A, Wilansky S, Govind S, et al. Global left atrial strain correlates with CHADS2 risk score in patients with atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;24(5):506-12.
40. Thomas L, McKay T, Byth K, Marwick TH. Abnormalities of left atrial function after cardioversion: an atrial strain rate study. *Heart*. 2007;93(1):89-95.
41. Kuppahally SS, Akoum N, Burgon NS, Badger TJ, Kholmovski EG, Vijayakumar S, et al. Left atrial strain and strain rate in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation: relationship to left atrial structural remodeling detected by delayed-enhancement MRI. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2010;3(3):231-39.
42. Providência R, Faustino A, Ferreira MJ, Gonçalves L, Trigo J, Botelho A, et al. Evaluation of left atrial deformation to predict left atrial stasis in patients with non-valvular atrial fibrillation - a pilot-study. *Cardiovasc Ultrasound*. 2013;11:44.
43. Hong J, Gu X, An P, Luo T, Lv Q, Kang J, et al. Left atrial functional remodeling in lone atrial fibrillation: a two-dimensional speckle tracking echocardiographic study. *Echocardiography*. 2013;30(9):1051-60.
44. Azemi T, Rabdiya VM, Ayirala SR, McCullough LD, Silverman DI. Left atrial strain is reduced in patients with atrial fibrillation, stroke or TIA, and low risk CHADS(2) scores. *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25(12):1327-32.
45. Shih JY, Tsai WC, Huang YY, Liu YW, Lin CC, Huang YS, et al. Association of decreased left atrial strain and strain rate with stroke in chronic atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;24(5):513-9.
46. Shaikh AY, Maan A, Khan UA, Aurigemma GP, Hill JC, Kane JL, et al. Speckle echocardiographic left atrial strain and stiffness index as predictors of maintenance of sinus rhythm after cardioversion for atrial fibrillation: a prospective study. *Cardiovas Ultrasound*. 2012;10:48.
47. Rondano E, Dell'Era G, De Luca G, Piccinino C, Bellomo G, Marino PN. Left atrial asynchrony is a major predictor of 1-year recurrence of atrial fibrillation after electrical cardioversion. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2010;11(7):499-506.
48. Dell'Era G, Rondano E, Franchi E, Marino PN; Novara Atrial Fibrillation (NAIF) Study Group. Atrial asynchrony and function before and after electrical cardioversion for persistent atrial fibrillation. *Eur J Echocardiogr*. 2010;11(7):577-83.
49. Hammerstingl C, Schwekendiek M, Momcilovic D, Schueler R, Sinning JM, Schrickel JW, et al. Left atrial deformation imaging with ultrasound based two-dimensional speckle-tracking predicts the rate of recurrence of paroxysmal and persistent atrial fibrillation after successful ablation procedures. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2012;23(3):247-55.
50. Anwar AM, Soliman OI, Nemes A, Geleijnse ML, ten Cate FJ. An integrated approach to determine left atrial volume, mass and function in hypertrophic cardiomyopathy by two-dimensional echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2008;24(1):45-52.
51. Modesto KM, Dispenzieri A, Cauduro SA, Lacy M, Khandheria BK, Pellikka PA, et al. Left atrial myopathy in cardiac amyloidosis: implications of novel echocardiographic techniques. *Eur Heart J*. 2005;26(2):173-9.
52. Matsumoto K, Tanaka H, Imanishi J, Tatsumi K, Motoji Y, Miyoshi T, et al. Preliminary observations of prognostic value of left atrial functional reserve during dobutamine infusion in patients with dilated cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(4):430-9.
53. D'Andrea A, Caso P, Cuomo S, Scarafilo R, Salerno G, Limongelli G, et al. Effect of dynamic myocardial dyssynchrony on mitral regurgitation during supine bicycle exercise stress echocardiography in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy and 'narrow' QRS. *Eur Heart J*. 2007;28(8):1004-11.
54. Liang HY, Cheng A, Chang KC, Berger RD, Agarwal K, Eulitt P, et al. Influence of atrial function and mechanical synchrony on LV hemodynamic status in heart failure patients on resynchronization therapy. *JACC Cardiovascular Imaging*. 2011;4(7):691-8.
55. Antoni ML, ten Brinke EA, Atary JZ, Marsan NA, Holman ER, Schalij MJ, et al. Left atrial strain is related to adverse events in patients after acute myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention. *Heart*. 2011;97(16):1332-7.
56. Ersbøll M, Andersen MJ, Valeur N, Mogensen UM, Waziri H, Møller JE, et al. The prognostic value of left atrial peak reservoir strain in acute myocardial infarction is dependent on left ventricular longitudinal function and left atrial size. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2013;6(1):26-33.
57. Debonnaire P, Leong DP, Witkowski TC, Al Amri I, Joyce E, Katsanos S, et al. Left atrial function by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients with severe organic mitral regurgitation: association with guidelines-based surgical indication and postoperative (long-term) survival. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26(9):1053-62.
58. O'Connor K, Magne J, Rosca M, Piérard LA, Lancellotti P. Impact of aortic valve stenosis on left atrial phasic function. *Am J Cardiol*. 2010;106(8):1157-62.
59. Imanishi J, Tanaka H, Sawa T, Motoji Y, Miyoshi T, Mochizuki Y, et al. Left atrial booster-pump function as a predictive parameter for new-onset postoperative atrial fibrillation in patients with severe aortic stenosis. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2014;30(2):295-304.