

Artigo Original

Strain 2D como Índice Promissor para a Avaliação da Função Sistólica do Ventrículo Direito*Bidimensional Strain as a Promising Parameter in the Evaluation of Right Ventricular Systolic Function*

Alex dos Santos Felix¹, Monica Luiza de Alcantara², Ana Paula dos R. V. Siciliano¹, Deise P. Guimarães³, Maximiliano O. Lacoste³, Bertha Q. Camillo³, Mariana A. B. James³, João Renato C. B. da Silveira⁴, Sérgio Salles Xavier⁵.

RESUMO

Introdução: A análise da função sistólica do ventrículo direito (VD) sempre foi um grande desafio para a ecocardiografia. A acurácia dos parâmetros quantitativos atualmente utilizados (deslocamento longitudinal e Doppler tecidual do anel tricuspídeo lateral) é influenciada por limitações técnicas e alterações de pré e pós-carga do VD, fazendo com que a análise qualitativa ao bidimensional (subjetiva) tenha papel de destaque na prática clínica diária. Com o advento de técnicas quantitativas de avaliação da deformação tecidual (*strain*), em especial através da imagem ecocardiográfica bidimensional (técnica de *speckle tracking*), cria-se uma nova vertente de aplicações para o estudo da função sistólica ventricular, em particular da função sistólica do VD. **Objetivo:** Demonstrar a reprodutibilidade, acurácia e aplicabilidade do *strain* bidimensional (*strain* 2D) para o estudo da função sistólica do VD, correlacionando com os métodos de análise atualmente utilizados. **Métodos:** Estudo transversal, observacional, tendo sido incluídos 72 pacientes. Em todos, foi realizado ecocardiograma completo (M-Mode, 2D, Doppler e Doppler tecidual) e digitalizado *clip* da projeção apical 4 câmaras, adaptada para o estudo do VD, incluindo toda a parede lateral e a sua ponta. **Resultados:** Houve boa reprodutibilidade do método, com valores de alpha para variabilidade intraobservador do *strain* 2D global do VD (St2Dgl), *strain* 2D do segmento basal da parede lateral (St2DLB), segmento basal do septo (St2DSB) e segmento apical do septo (St2DSA) de, respectivamente, 0,97, 0,87, 0,96 e 0,95, com valores de alpha para VIeO para os mesmos parâmetros de, respectivamente, 0,92, 0,90, 0,95 e 0,85. Houve correlação significativa ($p < 0,001$) entre os valores do componente sistólico (S') do Doppler tecidual do anel tricuspídeo lateral (DTVD) e a amplitude do deslocamento do anel tricuspídeo lateral (DAVD), com valor de $r = 0,64$. Houve correlação moderada, embora significativa estatisticamente, entre St2Dgl e DTVD ($r = 0,38$ com $p = 0,004$) e entre St2Dgl e DAVD ($r = 0,43$ com $p < 0,001$). Não houve melhora dos valores de correlação, quando foi utilizado o valor médio dos segmentos da parede lateral do VD (St2DLat), excluindo os segmentos septais ($r = 0,32$ para o DTVD ($p = 0,08$ e $r = 0,43$ para o DAVD com $p < 0,001$). Na análise da curva ROC, observou-se, ser o melhor ponto de corte para disfunção do VD, o valor de St2Dgl de -16%, definindo como disfunção do VD valores de DTVD < 10 cm/s e de DAVD $< 1,5$ cm, com boa sensibilidade e especificidade para ambos (St2Dgl comparado ao DTVD = S: 75%, E: 94%, St2Dgl comparado ao DAVD = S: 92%, E: 100%). **Conclusão:** A avaliação da função sistólica do VD pelo *strain* 2D demonstrou ser bastante reprodutível e de fácil realização, havendo correlação moderada com outros parâmetros classicamente utilizados. O valor de St2Dgl, definido como o melhor ponto de corte para disfunção sistólica do VD, foi de -16%.

Descritores: Ecocardiografia, Ecocardiografia Doppler em Cores, Strain 2D

SUMMARY

Introduction: The determination of right ventricular (RV) systolic function has always been a challenge for echocardiography. The accuracy of the classically used echocardiographic quantitative parameters (longitudinal displacement and tissue Doppler of the tricuspid annulus) is limited by technical issues and influenced by changes in preload and afterload, making the subjective bidimensional analysis a modality still in use in daily practice. With the development of new techniques for quantitative analysis of

Instituição

Pro-Echo – Hospital Samaritano. Rio de Janeiro - RJ

Correspondência

Alex dos Santos Felix
Rua Bambina nº 98 - Subsolo – Botafogo
22.251-050 Rio de Janeiro - RJ
alexsfelix@gmail.com

Recebido em: 12/08/2009 - Aceito em: 18/08/2009

1- Médico/ Médica da Pro-Echo – Hospital Samaritano. Médico/ Médica do Serviço de Ecocardiografia do Instituto Nacional de Cardiologia – Laranjeiras. Rio de Janeiro - RJ

2- Coordenadora do Serviço de Ecocardiografia da Pro-Echo. Diretora Médica da Rio Imagem Escola de Color Doppler – Rio de Janeiro - RJ

3- Médico/ Médica Ecocardiografista da Pro-Echo – Hospital Samaritano. Rio de Janeiro - RJ

4- Diretor Médico da Pro-Echo. Rio de Janeiro - RJ

5- Médico da Pro-Echo – Hospital Samaritano. Médico do Serviço de Cardiologia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (UFRJ). Médico e pesquisador do Instituto de Pesquisa Clínica Evandro Chagas (FIOCRUZ). Rio de Janeiro - RJ

myocardial deformation (“strain”), specially bidimensional strain based on speckle tracking technique, a new horizon comes up for the study of systolic ventricular function, particularly for the RV. **Objective:** to analyze the reproducibility, accuracy and applicability of bidimensional strain (2D strain) for the study of RV systolic function, correlating with other methods of analysis currently in use. **Methods:** Seventy two patients were prospectively evaluated; all of them underwent a complete echocardiographic examination (M-Mode, 2D, Doppler and tissue) with acquisition of images from a four-chamber view adapted to the RV, encompassing the entire lateral wall and apex. **Results:** The results demonstrated good reproducibility of the method, with alpha values for intraobserver variability of global RV 2D strain, 2D strain of the basal lateral, basal septal and apical septal segments of respectively 0.97, 0.87, 0.96 and 0.95, and interobserver variability alpha values of 0.92, 0.90, 0.95 e 0.85, respectively. There was statistically significant correlation ($p<0,001$) between peak systolic tricuspid (S') TDI and tricuspid annular plane systolic motion (TAPSE), $r=0,64$. There was moderate correlation, though significant, between global 2D strain and S' ($r=0,38$, $p=0,004$) and between global 2D strain and TAPSE ($r=0,43$, $p<0,001$). The correlation showed no improvement when using only the lateral wall segments, excluding the septal wall from the analysis (Lat 2D strain), with $r=0,32$ when comparing Lat 2D strain with S' ($p<0,08$) and $r=0,43$ when comparing Lat 2D strain with TAPSE ($p<0,001$). Assuming a TAPSE $\geq 1,5$ mm and S' ≥ 10 cm/s as normal RV systolic function, we observed -16% as the best cut-off value of global 2D strain, with good sensitivity and specificity for each variable (2D strain compared to S': S=75%, E: 94%, 2D strain compared to TAPSE: S= 92%, Esp=100%). **Conclusion:** The use of 2D strain to evaluate RV systolic function demonstrated to be highly reproducible and applicable in our study, showing fair correlation with other classical quantitative parameters. The best cut-off value for defining RV dysfunction was a 2D global strain of -16%.

Descriptors: Ventricular Function, Right; Echocardiography; Echocardiography, Doppler, Color; Strain 2D

Introdução

Nas últimas décadas, o número de publicações sobre a morfologia e a função sistólica do ventrículo esquerdo ultrapassa em mais de 10 vezes o número de estudos publicados sobre o ventrículo direito.

Nos últimos anos, houve um grande salto no entendimento da importância da contribuição do VD para a função cardíaca, havendo maior interesse em seu estudo e no desenvolvimento de técnicas não invasivas para a sua avaliação.

A avaliação adequada da função sistólica do ventrículo direito é bastante prejudicada pela sua geometria complexa, pelas alterações físicas causadas pela respiração e pelas interferências causadas pelo lado esquerdo do coração (interdependência ventricular). Ao ecocardiograma, a avaliação da função sistólica do VD e a estimativa de sua fração de ejeção tornam-se bastante difíceis, pelo padrão diferenciado de contratilidade das paredes e pela grande dificuldade em definir os bordos endocárdicos de sua fina parede livre, fazendo com que, na prática diária, a sua avaliação limite-se, muitas vezes, apenas à análise qualitativa ao bidimensional.

O *strain* bidimensional (*strain* 2D), utilizando a técnica do *speckle tracking* foi, recentemente, validado como ferramenta de avaliação da deformação miocárdica, inicialmente para o ventrículo esquerdo^{1,2}. Por tratar-se de técnica não dependente de ângulo, oferece uma vantagem teórica para o estudo

do ventrículo direito em particular, sendo relativamente não influenciado pela translação cardíaca e pelo *tethering*, diferente das técnicas que utilizam o Doppler tecidual (TDI).

Objetivo

Demonstrar a reprodutibilidade, acurácia e aplicabilidade do *strain* 2D para o estudo da função sistólica do VD, correlacionando com os métodos de análise atualmente utilizados.

Material e métodos

Estudo transversal e observacional, tendo sido incluídos 72 pacientes, examinados no Hospital Samaritano, Rio de Janeiro-RJ. Foram excluídos pacientes com janela ecocardiográfica desfavorável para a análise de bordos endocárdicos do VD, portadores de BRE, em ritmo de marca-passo, portadores de próteses valvares e em vigência de arritmias.

Para reduzir a variabilidade das medidas, todos os exames foram realizados no Hospital Samaritano, por dois examinadores treinados na aquisição de imagens e utilização da técnica de *strain* 2D (A. S. F. e M. L. A.), utilizando-se equipamento Vivid7 GE-Healthcare, com *software* próprio para análise do *strain* 2D. Foi realizado ecocardiograma completo (M-Mode, 2D, Doppler colorido e espectral, TDI), com a avaliação específica de parâmetros quantitativos para

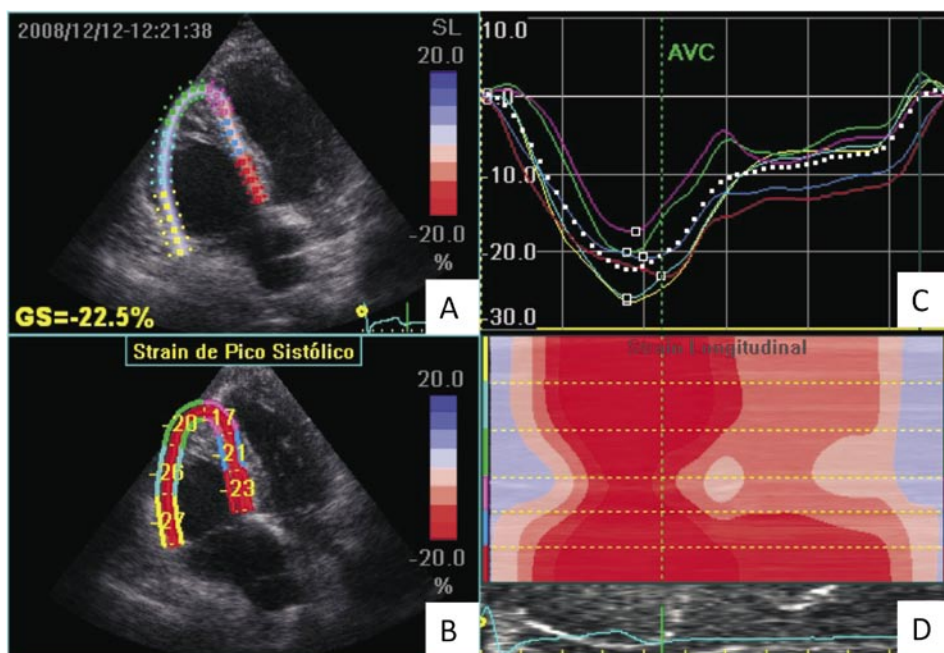


Figura 1 - Exemplo de Strain 2D do VD em paciente normal.

Após a aquisição de um clipe do corte apical 4 câmaras, incluindo a parede lateral e a ponta do VD, realizamos a análise do *Strain* 2D evidenciando em (A) o valor do *Strain* global, em (B) os valores máximos de *Strain* para cada segmento, em (C) as curvas de *Strain* momentâneo ao longo do ciclo cardíaco e em (D) a representação paramétrica em cores do *Strain* em cada segmento ao longo do ciclo cardíaco.

análise da função do VD, como o deslocamento longitudinal do anel tricuspídeo lateral ao unidimensional (DAVD) e a velocidade S' avaliada ao Doppler tecidual do anel tricuspídeo lateral (DTVD), baseado em método previamente validado^{3,4}.

Digitalizou-se um *clip* da projeção janela apical adaptada, para o estudo do VD (4cVD), de forma a incluir toda a parede livre e a sua ponta, para posterior análise *off-line* do *strain* 2D. A marcação dos pontos para o delineamento automático do endocárdio foi adaptada a partir de método, previamente, validado para a análise do *strain* 2D do VE^{1,2}, sendo realizada edição da marcação dos bordos endocárdicos, quando necessário. Utilizou-se um modelo de VD de 6 segmentos (Figura 1), incluindo, além da parede lateral do VD, os segmentos septais.

O *software* de aquisição depende de imagens de boa qualidade e de alta resolução, obtidas com uso de harmônica, com velocidade de quadros mínima de 40 quadros por segundo (qps). Neste estudo, foram utilizados 40-70qps. Foi realizada, manualmente, a marcação de eventos pela abertura e fechamento da valva aórtica, para definir as fases de sístole e diástole, possibilitando a delimitação das curvas de *strain* segmentar e global,

obtendo-se os valores sistólicos máximos, em cada um dos segmentos analisados.

Análise estatística

Na análise estatística, utilizou-se o coeficiente de correlação intraclass (alpha) para análise da variabilidade intraobservador (VIaO) e variabilidade interobservador (VIeO) e o coeficiente de correlação de Pearson para correlacionar o *strain* 2D global do VD (St2Dgl), com os demais índices quantitativos de função sistólica do VD. A análise dos dados foi realizada por meio do programa estatístico SPSS 13.0 (SPSS Inc. Chicago II). O nível de

significância estatística determinado foi de 5%.

Resultados

A população do estudo compreendeu 72 pacientes, sendo 40 homens (55,6%) e 32 mulheres (44,4%), com idade entre 23-89 anos (média = 67anos). Houve boa reprodutibilidade do método, com valores de alpha para variabilidade intraobservador (VIaO), do *strain* 2D global do VD (St2Dgl), *strain* 2D do segmento basal da parede lateral

SEGMENTO	VIaO (IC 95%) α	VIeO α (IC 95%)
ST2D gl	0,97(0,95-0,98)	0,92(0,87-0,95)
St2DLB	0,87(0,84-0,93)	0,90(0,86-0,94)
St2DSB	0,96(0,95-0,98)	0,95(0,91-0,97)
St2DSA	0,96(0,94-0,99)	0,85(0,83-0,92)

*p<0,0001 para todas as variáveis

Tabela 1 - Correlação intraclass (α) St2D global e por segmentos

ST2Dgl - *strain* bidimensional global do VD.

St2DLB - *strain* bidimensional do segmento basal da parede lateral do VD.

St2DSB - *strain* bidimensional do segmento basal da parede septal.

St2DSA - *strain* bidimensional do segmento apical da parede septal.

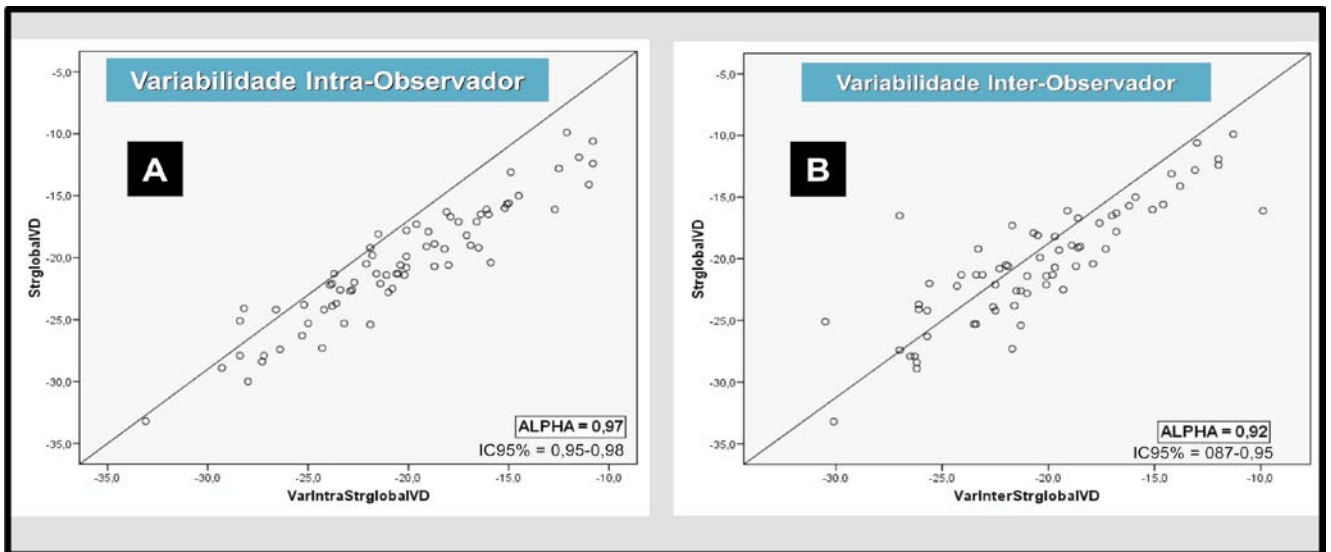


Figura 2 - Gráficos α para V_{IaO} e V_{IeO} do St2D global do VD

Reprodutibilidade intra (A) e inter-observador (B) da avaliação do strain global do VD (StrglobalVD), com valores de α para $V_{IaO} = 0,97$ (IC95% = 0,95-0,98) e $V_{IeO} = 0,92$ (IC = 0,87-0,95).

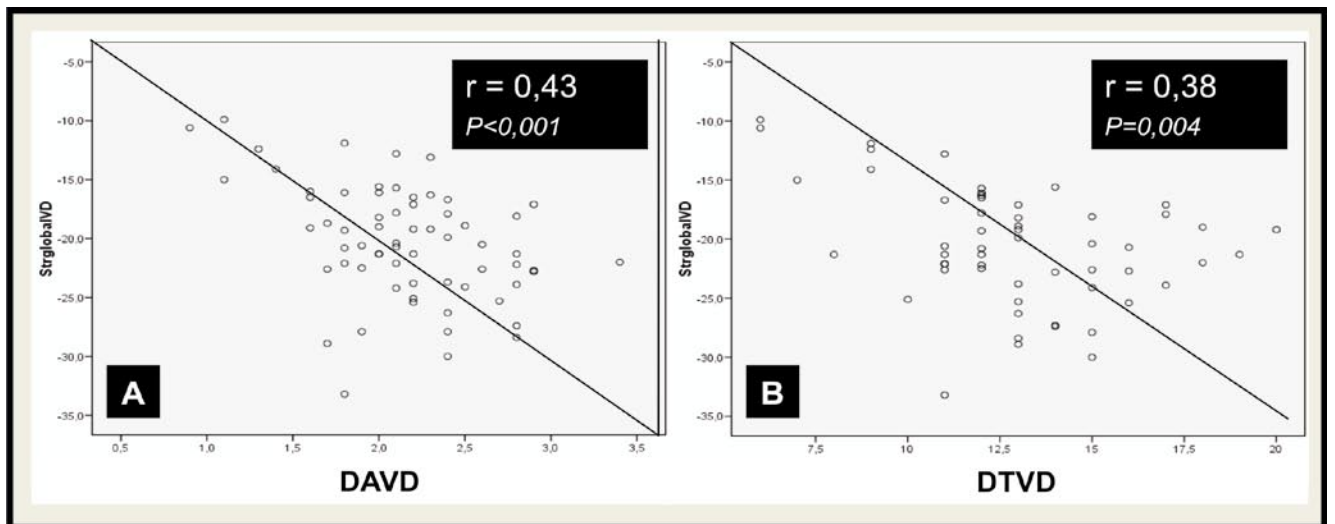


Figura 3 - Análise da correlação entre *strain* global do VD (St2Dgl) com valores de S' ao (A) Doppler tecidual do anel tricúspideo lateral (DTVD) e (B) do deslocamento do anel tricúspideo lateral (DAVD), através do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Houve correlação significativa, embora moderada, entre os parâmetros, com valor de $r = 0,43$ entre St2Dgl e DAVD ($p < 0,001$) e $r = 0,38$ entre St2Dgl e DTVD ($p = 0,004$).

(St2DLB), segmento basal do septo (St2DSB) e segmento apical do septo (St2DSA) de, respectivamente, 0,97, 0,87, 0,96 e 0,95, e valores de alpha para variabilidade interobservador (V_{IeO}), para os mesmos parâmetros de, respectivamente, 0,92, 0,90, 0,95 e 0,85 (Tabela 1 e Figura 2).

Houve correlação significativa ($p < 0,001$), entre os valores de S' ao Doppler tecidual do anel tricúspideo lateral (DTVD) e a amplitude do deslocamento do anel tricúspideo lateral (DAVD), com valor de $r = 0,64$. Houve correlação moderada, embora significativa estatisticamente, entre St2Dgl e DTVD ($r =$

0,38 com $p = 0,004$) e entre St2Dgl e DAVD ($r = 0,43$ com $p < 0,001$) (Figura 3). Não houve melhora dos valores de correlação, quando foi utilizado o valor médio dos segmentos da parede lateral do VD (St2DLat), excluindo os segmentos septais ($r = 0,32$ para o DTVD, com $p = 0,08$ e $r = 0,43$ para o DAVD, com $p < 0,001$).

Os valores médios de St2Dgl para os grupos com e sem disfunção do VD, baseados no DAVD e DTVD, foram de, respectivamente, $-21,1 \pm 4,2\%$, $-12,4 \pm 2,2\%$, $-21,4 \pm 4,2$ e $-14,1 \pm 3,8$. (Figura 4)

Na análise da curva ROC, observou-se, ser o me-

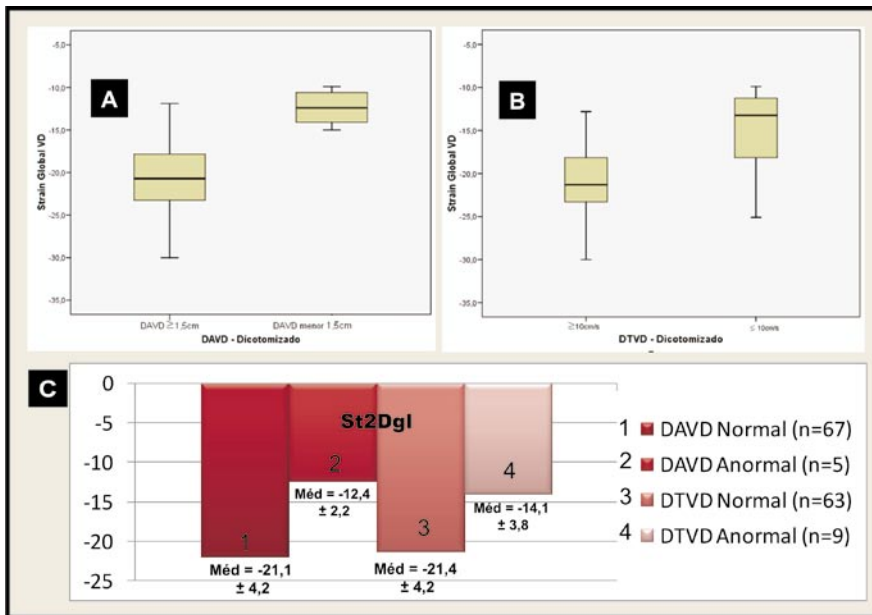


Figura 4 - Valores de St2Dgl em grupos com e sem disfunção de VD pelo Doppler tecidual do anel tricúspideo lateral (DTVD) e pelo deslocamento do anel tricúspideo lateral (DAVD).

Gráficos “Boxplot” dos valores de St2Dgl nos grupos com e sem disfunção do VD ao DAVD (A) e ao DTVD (B).

Valores médios \pm desvio padrão do St2Dgl nos grupos DTVD e DAVD com e sem disfunção de VD.

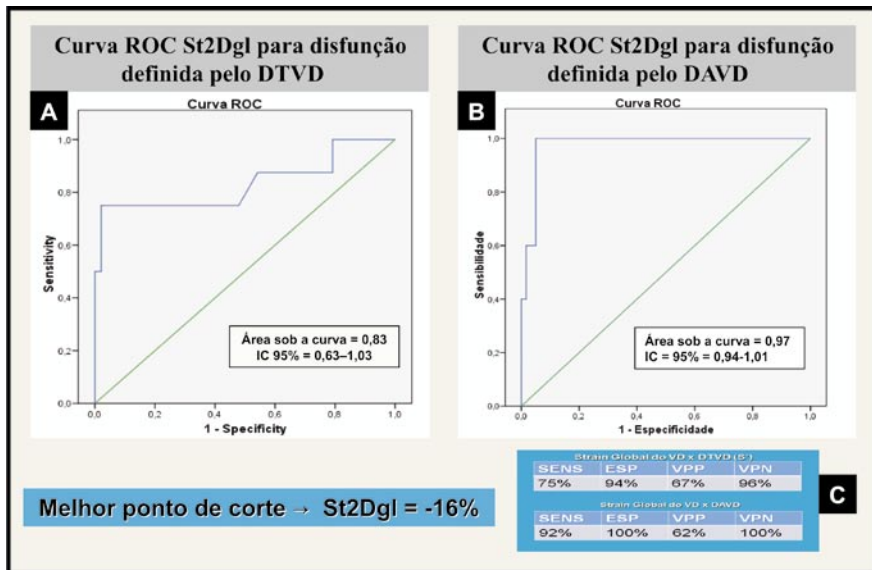


Figura 5 - Curvas ROC do *strain* global do VD (St2Dgl) para o diagnóstico de disfunção definido pelo (A) Doppler tecidual do anel tricúspideo lateral (DTVD) e pelo (B) deslocamento do anel tricúspideo lateral (DAVD).

Foi definido como melhor ponto de corte para disfunção o valor de St2Dgl de -16%, com boa sensibilidade e especificidade o diagnóstico de disfunção de VD por ambos os índices (C).

lhor ponto de corte para disfunção do VD, o valor de St2Dgl de -16% (área sob a curva de 0,83 - IC 95% = 0,63-1,03), definindo, como critérios para disfunção do VD, os valores de DTVD < 10cm/s e de DAVD < 1,5cm, com boa sensibilidade e especificidade do *strain* 2D para detecção de disfunção

do VD, comparado com ambos os métodos (St2Dgl comparado ao DTVD = S: 75%, E: 94%, St2Dgl comparado ao DAVD = S: 92%, E: 100%). (Figura 5)

Discussão

A disfunção sistólica do VD está associada a um grande aumento de morbidade e mortalidade em pacientes com cardiopatia congênita, doença valvular, doença arterial coronária, hipertensão pulmonar e insuficiência cardíaca⁵⁻⁹.

A avaliação da função sistólica do VD era, tradicionalmente baseada apenas na estimativa visual de contratilidade ao bi-dimensional, bastante limitada pela grande variabilidade inter e intraobservador. A análise da contratilidade por técnicas quantitativas é bastante dificultada pela complexa geometria do VD e pela sua fina parede livre, potencializada pelas alterações físicas respiratórias e interferências decorrentes da interação com o lado esquerdo do coração, (*interdependência ventricular*). Os índices obtidos pela avaliação do fluxo tricúspideo, fluxo de artéria pulmonar, deslocamento do anel tricúspideo lateral³ e pelo TDI podem sofrer importante influência de pré e pós carga¹⁰⁻¹². Alguns estudos recentes têm demonstrado a aplicabilidade e menor dependência de pré e pós-carga de técnicas de avaliação do *strain* longitudinal do VD, tais como *strain* (S), *strain* Rate (SR) e *strain* 2D¹³.

Atualmente considerado padrão ouro para avaliação da função sistólica do VD, a ressonância cardíaca possui algumas limitações como a sua pouca dispo-

...

nibilidade (custo) e não portabilidade, além da impossibilidade de ser realizada em pacientes portadores de próteses valvares mecânicas e de marca-passo. O uso da ecocardiografia tridimensional (3D) para avaliação de volumes e função sistólica do VD foi validado por estudos recentes, comparando-se favoravelmente à ressonância cardíaca¹⁴⁻¹⁸, sendo técnica bastante promissora, porém ainda não amplamente disponível em nosso meio.

O *Strain* 2D, utilizando a técnica do *speckle tracking* foi recentemente validado como ferramenta de avaliação da deformação miocárdica do VE^{1,2,19,20}.

O *Strain* 2D é uma técnica não dependente de ângulo, oferecendo vantagem teórica na aplicação para o VD, por sofrer menor influência de sua geometria desfavorável, sendo relativamente imune à translação cardíaca e ao *tethering*, sendo por isso superior a técnicas derivadas do TD.²¹⁻²⁴

O encurtamento sistólico do VD se faz, principalmente, através de fibras longitudinais²⁵, sendo a contribuição das fibras radiais bastante pequena, diferente do que ocorre no VE²⁴⁻²⁶. Por isso, neste estudo, não se realizou a avaliação do *strain* 2D radial.

Estudo recente de Teske et al²⁷ comparou medidas de S, SR, velocidades ao TDI e medidas de deslocamento, em grupos de pacientes com disfunção de VD, atletas e grupo controle, demonstrando boa aplicabilidade de ambas as técnicas de avaliação do *strain* (93%), com variabilidade intra e interobservador bastante semelhante entre elas, com boa acurácia do *Strain* 2D para avaliação da função sistólica do VD, tal como foi reproduzido em nossa casuística.

Os resultados deste presente estudo demonstraram a aplicabilidade e praticidade do *Strain* 2D para o estudo da função sistólica do VD, com boa reprodutibilidade e correlação significativa entre valores de St2Dgl com o DAVD e DTVD, parâmetros classicamente utilizados para a análise.

Pôde-se acompanhar, dentro do grupo de pacien-

Durante QT com Doxorrubicina

Após suspensão de QT

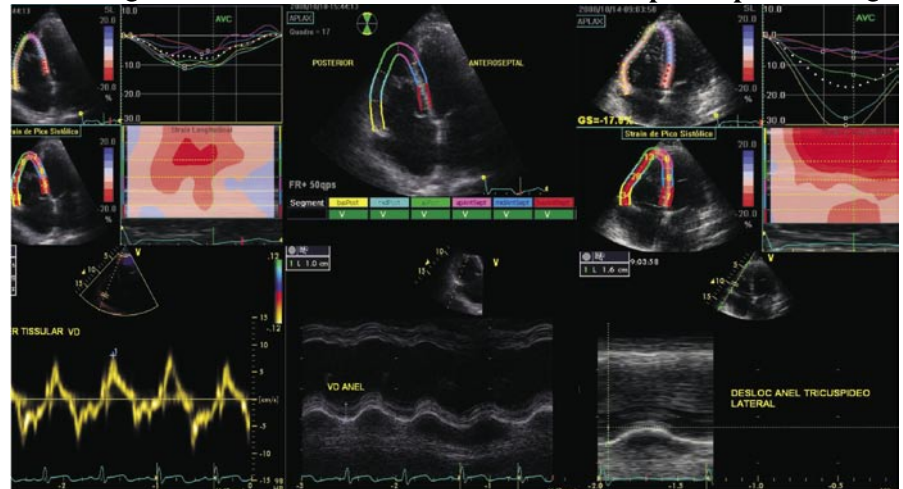


Figura 6 - Caso ilustrativo da utilidade do *Strain* 2D na avaliação e acompanhamento de alterações transitórias da função do VD.

Este paciente foi admitido com quadro de insuficiência cardíaca descompensada em vigência de tratamento quimioterápico com Doxorrubicina. Os valores de *strain* 2D global estavam bastante reduzidos na admissão (St2Dgl = -8,1%), assim como os valores de S' ao TDI (8cm/s) e DAVD (1cm). Após 1 semana da suspensão do quimioterápico, foi evidenciada melhora significativa dos valores de *strain* 2D (St2Dgl = -17,6%), menos evidente para os demais parâmetros (DAVD = 1,6cm e S' ao TDI = 10cm/s).

tes com disfunção de VD, alguns casos em que a disfunção foi apenas transitória, como em um caso de cardiotoxicidade por quimioterápico (Figura 6) e em 2 casos de tromboembolismo pulmonar agudo, sendo evidenciada a melhora dos valores do *Strain* 2D antes mesmo da melhora dos demais índices, demonstrando a maior sensibilidade e a utilidade prática do método²⁸.

Limitações

As principais limitações deste estudo são inerentes ao seu delineamento observacional e à ausência de um padrão ouro para avaliação da função sistólica do VD, tal como a cintilografia de primeira passagem ou ressonância nuclear magnética.

Ao corte apical o VD, é representado apenas pela sua via de entrada e por apenas parte de sua parede livre, sendo assim, situações em que há alterações segmentares da contratilidade do VD podem limitar a acurácia da técnica.

Contudo, em um interessante estudo, Geva et al²⁶ compararam a ecocardiografia com a ressonância magnética, demonstrando que a via de entrada do VD realiza grande parte da função de bomba desta câmara, e que a via de saída serve pratica-

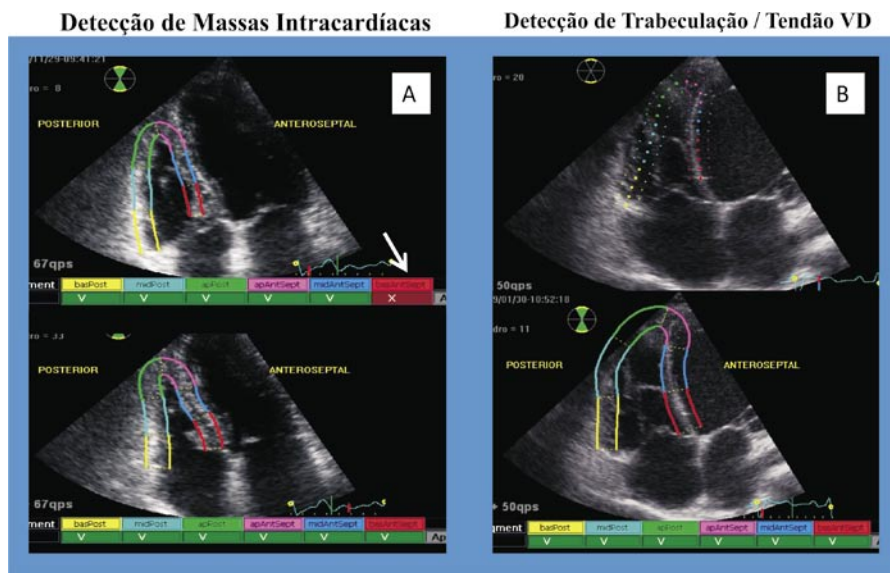


Figura 7 - Exemplos de casos em que se faz necessária a edição do delineamento de bordos endocárdicos.

No primeiro quadro (A) vemos o caso de uma paciente portadora de massa subtricuspidéa, que foi detectada erroneamente como endocárdio pela marcação automática de bordos feita pelo *software*. Pela mobilidade irregular da massa, não foi possível acompanhar os *speckles* ao longo da sístole gerando erro na análise (sinalizado pelo *software* como um retângulo vermelho preenchido com um X no segmento antero-septal basal - seta), tendo sido necessária a edição dos bordos para uma análise confiável.

No segundo quadro (B), vemos um exemplo de detecção de tendão e trabeculações parietais do VD como sendo o endocárdio da parede lateral, tendo sido necessária edição para analisar adequadamente a parede lateral do VD.

mente como um conduto passivo. O corte apical 4 câmaras, apesar de não abranger toda a parede livre do VD, avalia a sua porção lateral, que é a que possui a maior fração de encurtamento, de acordo com estudos que utilizaram a ressonância magnética com *tagging miocárdico* para avaliação da deformação regional, metodologia análoga ao *speckle tracking*.²⁹

Para minimizar possíveis erros técnicos do método e aumentar a acurácia das medidas, deve-se sempre estar atento à adequação do delineamento automático de bordos, evidenciando se efetivamente acompanham o endocárdio ao longo do ciclo cardíaco. Em alguns casos, pode haver a detecção errônea de trabeculações, tendões, banda moderadora e outras estruturas intracavitárias, devendo, nesses casos, ser realizada edição antes da aprovação para a análise. (Figura 7)

Este estudo envolveu pacientes de um hospital terciário, não tendo sido incluídos grupos específicos de cardiopatias e nem tampouco analisados os casos de disfunção de VD, de acordo com a etiologia (pelo seu número limitado), não sendo possível,

portanto, definir padrões específicos de alteração do *Strain* 2D, nesses grupos.

Conclusões

O uso do *Strain* 2D para o estudo do VD mostrou-se de fácil aplicação prática e com excelente reprodutibilidade em nossa casuística, sendo observada correlação significativa com os parâmetros objetivos classicamente utilizados, sendo técnica não invasiva e bastante sensível para o diagnóstico de disfunção do VD.

Referências

1. Korinek J, Wang J, Sengupta PP, Miyazaki C, Kjaergaard J, Mc Mahon E, et al. Two-dimensional strain-a Doppler independent ultrasound method for quantitation of regional deformation: validation in vitro and in vivo. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18:1247-53.
2. 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;47:789-93.
3. Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. *Am Heart J*. 1984;104:526-31.
4. Meluzin J, Spinarova L, Bakala J, Toman J, Krejci J, Hude P, et al. Pulsed Doppler tissue imaging of the velocity of tricuspid annular systolic motion; A new, rapid, and non-invasive method of evaluating right ventricular systolic function. *Eur Heart J*. 2001; 22(4): 340-8.
5. Matthews JC, Dardas TF, Dorsch MP, Aaronson KD. Right-sided heart failure: diagnosis and treatment strategies. *Curr Treat Options Cardiovasc Med*. 2008;10: 329-41.
6. De Groote P, Millaire A, Foucher-Hossein C, Nugue O, Marchandise X, Ducloux G, et al. Right ventricular ejection fraction is an independent predictor of survival in patients with moderate heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 1998;32:948-54.
7. Voekel NE, Quaiñe RA, Leinwand LA, Barst RJ, McGoon MD, Meldrum DR, et al. Right ventricular function and

- failure: report of a National Heart, Lung and Blood Institute and working group on cellular and molecular mechanisms of right heart failure. *Circulation*. 2006;114:1883-91.
8. Dokainish H, Sengupta R, Patel R, Lakkis N. Usefulness of right ventricular tissue Doppler imaging to predict outcome in left ventricular heart failure independent of left ventricular diastolic function. *Am J Cardiol*. 2007;99:961-5.
 9. Meluzin J, Spinarova L, Hude P, Krejci J, Kincl V, Parnovsky R, et al. Prognostic importance of various echocardiographic right ventricle functional parameters in patients with symptomatic heart failure. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18:435-44.
 10. Pela G, Regolisti G, Coghi P, Cabassi A, Basile A, Cavatorta A, et al. Effects of the reduction of preload on left and right ventricular myocardial velocities analyzed by Doppler tissue echocardiography in healthy subjects. *Eur J Echocardiogr*. 2004;5:262-71.
 11. Andersen NH, Terkelsen CJ, Sloth E, Poulsen SH. Influence of preload alterations on parameters of systolic left ventricular long-axis function: a Doppler tissue study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2004;17:941-7.
 12. Horton KD, Meece RW, Hill JC. Assessment of the right ventricle by echocardiography: a primer for cardiac sonographers. *J Am Soc Echocardiogr*. 2009;22:776-92.
 13. Kjaergaard J, Snyder EM, Hassager C, Oh JH, Johnson BD. Impact of preload and afterload on global and regional right ventricular function and pressure: a quantitative echocardiography study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:515-21.
 14. Jenkins C, Chan J, Bricknell K, Strudwick M, Marwick TH. Reproducibility of right ventricular volumes and ejection fraction using real-time three-dimensional echocardiography: comparison with cardiac MRI. *Chest*. 2007;131:1844-51.
 15. Lu X, Nadvoretzkiy V, Bu L, Stolpen A, Ayres N, Pignatelli RH, et al. Accuracy and reproducibility of real-time three-dimensional echocardiography for assessment of right ventricular volumes and ejection fraction in children. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:84-9.
 16. Grison A, Maschietto N, Reffo E, Stellin G, Padalino M, Vida V, et al. Three-dimensional echocardiographic evaluation of right ventricular volume and function in pediatric patients: validation of the technique. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:921-9.
 17. Jiang L, Siu SC, Handschumacher MD, Guererro JL, Vazquez de Prada JA, King ME, et al. Three-dimensional echocardiography. In vivo validation for right ventricular volume and function. *Circulation*. 1999;89:2342-50.
 18. Niemann PS, Pinho L, Balbach T, Galuschky C, Blanke-nhagen M, Silberbach M, et al. Anatomically oriented right ventricular volume measurements with dynamic three-dimensional echocardiography validated by 3-tesla magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:1668-76.
 19. Perk G, Tunick PA, Kronzon I. Non-Doppler two-dimensional strain imaging by echocardiography—from technical considerations to clinical applications. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:234-43.
 20. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional strain—a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr*. 2004;17:1021-9.
 21. Weidemann F, Eyskens B, Sutherland GR. New ultrasound methods to quantify regional myocardial function in children with heart disease. *Pediatr Cardiol*. 2002;23:292-306.
 22. Greenberg NL, Firstenberg MS, Castro PL, Main M, Travaglini A, Odabashian JA, et al. Doppler-derived myocardial systolic strain rate is a strong index of left ventricular contractility. *Circulation*. 2002;105:99-105.
 23. Urheim S, Edvardsen T, Torp H, Angelsen B, Smiseth OA. Myocardial strain by Doppler echocardiography. Validation of a new method to quantify regional myocardial function. *Circulation*. 2000;102:1158-64.
 24. Kukulski T, Hubbert L, Arnold M, Wranne B, Hatle L, Sutherland GR. Normal regional right ventricular function and its change with age: a Doppler myocardial imaging study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2000;13:194-204.
 25. Nagel E, Stuber M, Hess OM. Importance of the right ventricle in valvular heart disease. *Eur Heart J*. 1996;17:829-36.
 26. Geva T, Powell AJ, Crawford EC, Chung T, Colan SD. Evaluation of regional differences in right ventricular systolic function by acoustic quantification echocardiography and cine magnetic resonance imaging. *Circulation*. 1998;98:339-45.
 27. Teske AJ, De Boeck BWL, Olimulder M, Prakken NH, Doevendans PAF, Cramer MJ. Echocardiographic assessment of regional right ventricular function: a head-to-head comparison between 2-dimensional and tissue Doppler-derived strain analysis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:275-83.
 28. Dokainish H, Abbey H, Gin K, Ramanathan K, Lee PK, Jue J. Usefulness of tissue Doppler imaging in the diagnosis and prognosis of acute right ventricular infarction with inferior wall acute left ventricular infarction. *Am J Cardiol*. 2005;95:1039-42.
 29. Naito H, Arisawa J, Harada K, Yamagami H, Kozuka T, Tamura S. Assessment of right ventricular regional contraction and comparison with the left ventricle in normal humans: resonance study with presaturation myocardial tagging. *Br Heart J*. 1995;74:186-91.