

Apresentação de Software para Pós-processamento de Curvas de Deformação Cardíaca: D-Station

Software for Post-Processing Analysis of Strain Curves: The D-Station

Rafael Duarte de Sousa,¹ Carlos Danilo Miranda Regis,¹ Ittalo dos Santos Silva,¹ Paulo Szewierenko,² Renato de Aguiar Hortegal,^{3,4} Henry Abensur⁴

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,¹ João Pessoa, PB – Brasil

Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia - Consultor Estatístico,² São Paulo, SP – Brasil

Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia,³ São Paulo, SP – Brasil

Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo – Departamento de Ecocardiografia,⁴ São Paulo, SP – Brasil

Resumo

Fundamento: O emprego de Speckle Tracking para estudo da função cardíaca tem grande aplicabilidade em diversos cenários. A expansão do uso deste método requer ferramentas que permitam a extração de dados relevantes das curvas de deformação cardíaca e que sejam adicionais aos parâmetros habitualmente utilizados.

Objetivos: O presente trabalho visa apresentar e validar um software de uso livre, denominado D-station, para análise das curvas de deformação cardíaca.

Métodos: A partir de arquivos raw data, o D-Station realiza a separação das fases do ciclo cardíaco, exibe simultaneamente curvas de Strain e Strain Rate de diferentes câmaras cardíacas. Para validação do software utilizamos o parâmetro Global Longitudinal Strain (GLS) avaliando-o: 1) Graficamente, a partir da comparação das Medidas emparelhadas de GLS no EchoPAC e D-Station frente à linha de igualdade; 2) pelo Coeficiente de Correlação dessas medidas; 3) pelo Teste de Hipóteses ($p > 0,05$); e 4) pelo Método Gráfico de Bland-Altman.

Resultados: O Coeficiente rho de Spearman apontou forte correlação entre as medidas, o Teste de Hipóteses retornou um p-value = 0.6798 $\gg 0,05$, que também indicou a equivalência entre elas; o Método gráfico de Bland-Altman mostrou um viés $\leq 1\%$ e dispersão $\leq 2\%$ entre as medidas. Os testes mostraram que para valores de GLS inferiores à 10% há a tendência de aumento das diferenças percentuais, mas seus valores absolutos ainda são baixos.

Conclusão: O D-Station foi validado como uma aplicação suplementar ao EchoPAC que utiliza o raw data das curvas de Strain e Strain Rate obtidos por software proprietário. (Arq Bras Cardiol. 2020; 114(3):496-506)

Palavras-chave: Doenças Cardiovasculares/diagnóstico por imagem, Prognóstico, Ecocardiografia/métodos, Disfunção Ventricular Esquerda/fisiopatologia, Speckle Tracking.

Abstract

Background: The use of speckle-tracking echocardiography for evaluation of cardiac function has great applicability in different scenarios. The broad use of this method requires tools that allow the extraction of relevant data from strain curves and inclusion of these data in traditionally used parameters.

Objectives: The present study aimed to present and validate a free software, called D-station, for analysis of strain curves.

Methods: From raw data files, the D-Station determines the phases of the cardiac cycle, and simultaneously exhibits the strain and strain rate curves of different cardiac chambers. Validation of the software was done by global longitudinal strain (GLS), and the analyses were performed: 1) graphical comparison of EchoPAC and D-Station paired measurements in relation to equality line; 2) by coefficient of correlation of these measurements; 3) test of hypothesis ($p > 0.05$); and 4) Bland-Altman analysis.

Results: The Spearman's rho correlation coefficient indicated a strong correlation between the measurements. Results of the test of hypothesis showed a p-value = 0.6798 $\gg 0.05$, thus also indicating an equivalence between the softwares. The Bland-Altman analysis revealed a bias $\leq 1\%$ and dispersion $\leq 2\%$ between the measurements. The tests showed that, for GLS values lower than 10%, there was a trend for higher percentage difference between the values, although the absolute values remained low.

Conclusion: The D-Station software was validated as an additional tool to the EchoPAC, which uses the raw data from the strain and strain rate curves exported from a proprietary software. (Arq Bras Cardiol. 2020; 114(3):496-506)

Keywords: Cardiovascular Diseases/diagnostic imaging; Prognosis; Echocardiography/methods; Ventricular Dysfunction, Left/physiopathology; Speckle Tracking.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Renato de Aguiar Hortegal •

Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo. Setor de Ecocardiografia. Rua Maestro Cardim 769. CEP 01323-001, Bela Vista, SP – Brasil

E-mail: eletrocardio2009@gmail.com

Artigo recebido em 11/12/2018, revisado em 25/04/2019, aceito em 15/5/2019

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20180403>

Introdução

A análise da deformação cardíaca pela técnica de *Speckle Tracking* tem grande aplicabilidade em diversos cenários, tanto de prática cardiológica¹ quanto no âmbito da pesquisa clínica,² provendo informações da mecânica regional e global das câmaras do coração.

O *Global Longitudinal Strain* (GLS) do ventrículo esquerdo é um parâmetro robusto de estudo da função cardíaca.¹⁻³ Contudo, este marcador avalia apenas a deformação que acontece entre o início do período de contração isovolumétrica e o final da fase de ejeção ventricular. Fases como o período de relaxamento isovolumétrico, por exemplo, podem conter informação valiosa não aferida pelo GLS.

Desta forma, se faz necessário o emprego de ferramentas que permitam a extração de dados relevantes das curvas de deformação cardíaca e que sejam adicionais aos parâmetros habitualmente utilizados.

A maioria dos softwares de processamento *offline* fornecidos pelos diferentes fabricantes (*software* proprietário) tem um *setting* predeterminado de análises e parâmetros de deformação cardíaca. Isso, por um lado, torna o método mais simples e amigável para o uso na prática médica diária, mas, por outro lado, dificulta aplicações mais amplas dessa tecnologia na pesquisa clínica. Além disso, o acesso a essas ferramentas pode ser limitado e de alto custo.

É comum que centros internacionais de referência no estudo da deformação cardíaca tenham *softwares* customizados para a realização do processamento *offline* sem as limitações impostas pelos fabricantes, permitindo que sejam adaptados com base nas necessidades de suas pesquisas.⁴

O presente trabalho visa demonstrar a aplicação de um novo *software* de uso livre, denominado D-station, como uma ferramenta para análise adicional das curvas de deformação cardíaca fornecidas por qualquer *software* proprietário. Além disso, ele pretende validar o novo *software* por meio da comparação de valores de GLS obtidos pelo D-Station com valores obtidos pelo *software* EchoPAC (GE).

Métodos

D-Station: software de Pós-Processamento das curvas de deformação cardíaca

O D-Station é um *software* customizado e gratuito, escrito em linguagem de programação *Python 3* e direcionado para o pós-processamento *offline* das curvas de deformação cardíaca. Sua sequência de execução é apresentada na Figura 1.

Ele não substitui as plataformas de processamento existentes, e sim atua como uma ferramenta que amplia as possibilidades pós-processamento.

Divisão em fases

Cada curva de *strain* obtida corresponde a, no mínimo, um período do ciclo cardíaco em determinada região de uma câmara cardíaca e pode ser dividida nas fases mecânicas desse ciclo. Para isso, de acordo com estudos anteriores,⁴ são necessários os tempos de abertura e de fechamento das valvas aórtica e mitral, e os tempos de eventos elétricos, obtidos a partir das ondas de eletrocardiograma (ECG), como o de início do primeiro e segundo complexo QRS, e de início da onda P.^{5,6} As ondas de ECG acompanham as curvas de *strain* e *strain rate* (SR) nos arquivos.

Considerando o início de um ciclo cardíaco no início do complexo QRS, foram definidas seis fases. Em sua ordem de ocorrência, são elas: EMC - *Electrical Mechanical Coupling* (fase de acoplamento eletromecânico), IVC - *Isovolumic Contraction* (fase de contração isovolumétrica), Ejec - *Ejection Phase* (Fase de ejeção), IVR- *Isovolumic Relaxation* (fase de relaxamento isovolumétrico), E- *Early Filling* (fase de enchimento rápido), e A - *Atrial Contraction* (fase de contração atrial). Uma descrição detalhada da definição adotada para delimitar cada fase do ciclo cardíaco é realizada no material suplementar.

Algoritmo de leitura dos sinais e cálculo de parâmetros

As entradas do programa são: 1) os tempos de abertura e fechamento das valvas aórtica e mitral; 2) os arquivos *raw data* contendo as curvas de *strain* ou SR; 3) o identificador do exame e 4) a opção de visualização selecionada pelo usuário. Mais informações podem ser encontradas nas instruções do programa, presentes no material suplementar do trabalho.

Na versão atual do *software*, são oferecidas ao usuário seis opções de visualização:

- *Strain - LV* (*strain* do ventrículo esquerdo), *strain rate - LV* (SR do ventrículo esquerdo) e ECG;
- *Strain - LV, strain - LA* (*strain* do átrio esquerdo) e ECG;
- *Strain - LV, strain rate - LA* e ECG;
- *Strain - LV, strain - RV* (*strain* do ventrículo direito) e ECG;
- *Strain - LV, strain rate - LV* e ECG, na qual o SR é obtido a partir das curvas de *strain*.
- Opção de teste (para a interface *CircAdapt*): *strain - LV* e *strain rate - LV*

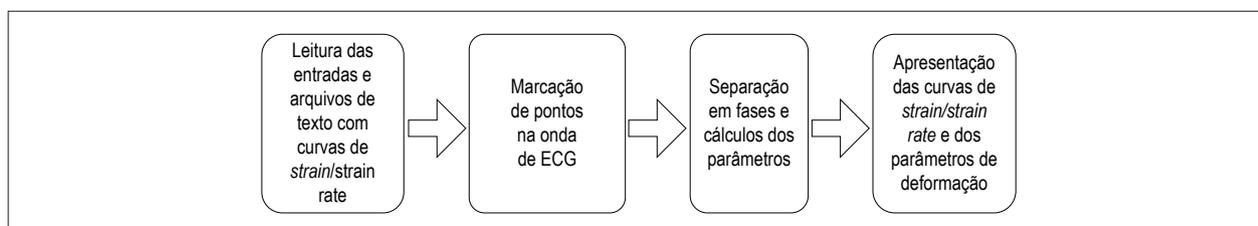


Figura 1 - Algoritmo do D-station. ECG: eletrocardiograma.

Em todas as opções, as curvas são exibidas simultaneamente, como apresentado na Figura 2.

A partir dos arquivos de dados brutos (*raw data*) contendo a informação das janelas apical 3, 4 e 2 câmaras, são visualizadas as curvas de *strain* do ventrículo esquerdo, conforme o modelo de 18 segmentos proposto pela *American Heart Association* (AHA).⁷

O processamento da planilha contendo os arquivos *raw data* consiste em alterar a formatação para facilitar o funcionamento do programa. Além disso, devido a pequenas diferenças na frequência cardíaca das curvas de ECG em cada arquivo, utilizamos como padrão o registro do corte 4 câmaras. Após a formatação, é exibida uma figura contendo curvas de *strain*, *SR* e o ECG. O usuário deve então marcar três pontos: o início do complexo QRS, o início da onda P e o início do segundo complexo QRS.

Com base nos valores de tempo obtidos a partir das marcações e nos tempos de abertura e fechamento das valvas, é possível determinar cada fase do ciclo cardíaco. No terminal do D-station, são exibidos os tempos de cada uma dessas fases, bem como os valores de cada parâmetro calculado. O usuário pode decidir entre uma figura que contém as curvas correspondentes às câmaras cardíacas de interesse (como exemplificada na Figura 3) ou uma figura com os pontos utilizados no cálculo de um determinado parâmetro.

Marcação de eventos (*event timing*) e parâmetros calculados

Cada uma das curvas de *strain* longitudinal apresentadas na Figura 3 possui um ponto importante para o cálculo dos parâmetros do *software*: o *peak systolic strain*, definido, de acordo com o documento da EACVI/ASE,⁷ como o ponto de maior contração durante a sístole.

O *peak systolic strain* de cada segmento é utilizado no cálculo do parâmetro GLS, definido como a média aritmética dos valores de *peak systolic strain* de todos os segmentos.

As possibilidades de pós-processamento permitem e/ou facilitam a análise de novos parâmetros como *strain*/SR AE e AD, *strain* VD e *diastolic recovery* (*diastolic stunning*)⁸ por exemplo.

Algoritmo de reconhecimento do *peak systolic strain*

O D-Station considera o *peak systolic strain* como o valor mais negativo do conjunto de pontos existentes entre o início do QRS e o AVC. Isso diverge do critério do *software* EchoPAC que seleciona o *systolic peak strain* de acordo com a regra apresentada na Figura 4:

Validação do D-Station: banco de dados e análise estatística

Para validação do D-Station, arquivos com curvas de deformação de 48 indivíduos foram obtidos da base de dados do setor de Ecocardiografia do Hospital Beneficência Portuguesa

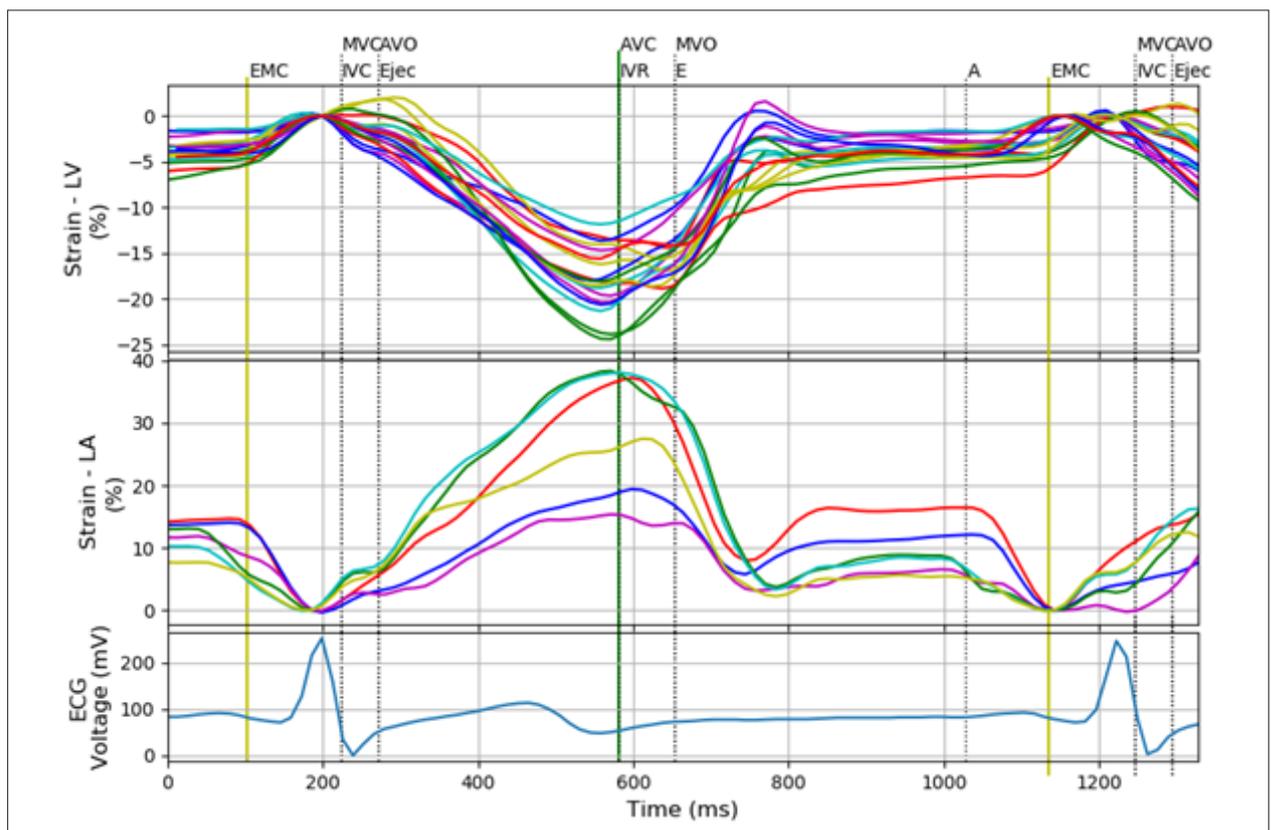


Figura 2 – Curvas de *strain* do ventrículo esquerdo, *strain* do átrio esquerdo, e do eletrocardiograma com a separação em fases. São exibidas 18 curvas de *strain* correspondentes aos 18 segmentos do ventrículo esquerdo, seis curvas de *strain* do átrio esquerdo e um sinal de eletrocardiograma. As cores nas curvas de *strain* e *strain rate* correspondem às cores atribuídas aos segmentos pelo *software* proprietário, sendo: MVC: Mitral Valve Closure; AVO: Aortic Valve Opening; AVC: Aortic Valve Closure; MVO: Mitral Valve Opening.

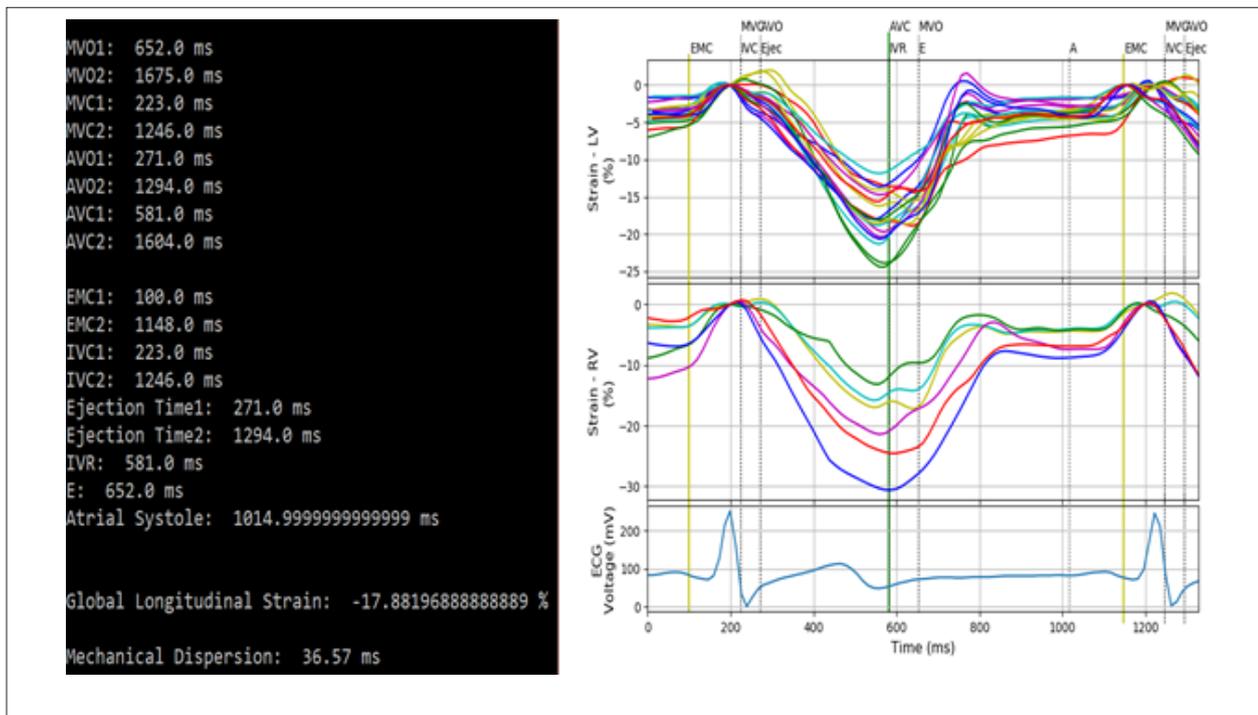


Figura 3 – À direita: visualização simultânea das curvas de strain longitudinal dos ventrículos esquerdo (18 segmentos) e direito (6 segmentos). À esquerda: os tempos de início das fases e os parâmetros calculados no terminal. Outras configurações também são possíveis de acordo com a opção escolhida, sendo MVC: Mitral Valve Closure, AVO: Aortic Valve Opening, AVC: Aortic Valve Closure, MVO: Mitral Valve Opening.

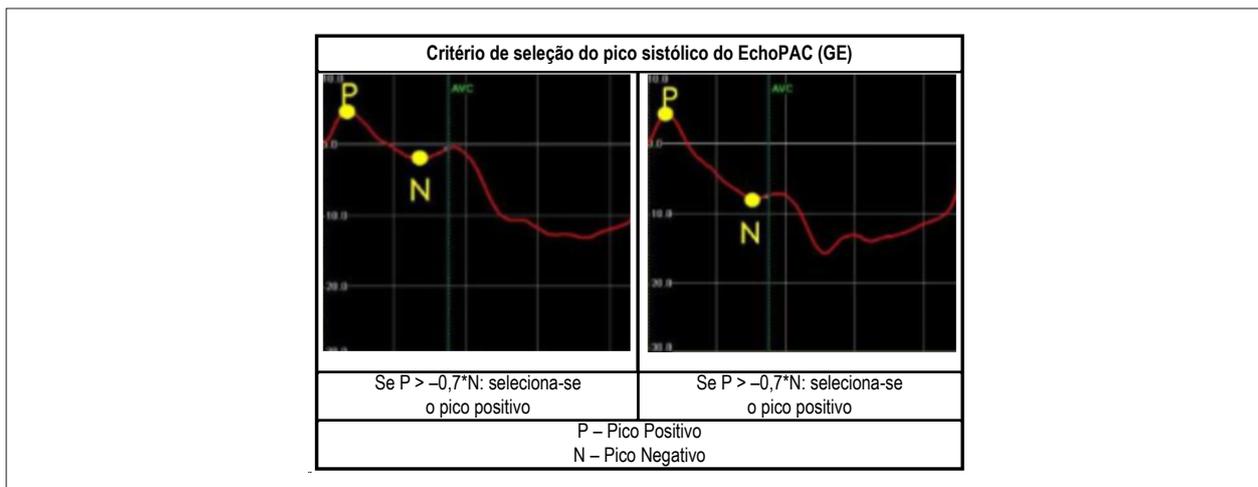


Figura 4 – Critério para seleção do pico sistólico utilizado pelo EchoPAC.

de São Paulo. Não houve cálculo de tamanho amostral, sendo usada uma amostra por conveniência (*convenience sampling*) por análise retrospectiva. Todos os exames foram realizados mediante assinatura do termo de consentimento. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética desta instituição sob o número de protocolo CAEE 91350318.4.0000.5483. Utilizando o EchoPAC (versão 202 GE), foram inspecionados os tempos registrados de abertura e fechamento das valvas mitral e aórtica. Alguns exames tinham mais de um registro dos tempos de eventos; exames com discrepâncias de tempo maior que 10 ms foram excluídos.

A seguir, selecionou-se o ciclo cardíaco com melhor qualidade de imagem nas janelas apical 3, 4 e 2 câmaras. O último ciclo foi selecionado nos casos de três ciclos com qualidade satisfatória. A borda endocárdica foi tracejada delineando a região de interesse pela opção *Q-analysis* do programa EchoPAC. Foi feita então a inspeção visual de qualidade do *tracking* e, se pertinente, confirmada pela opção *approve*, seguido do registro do valor do GLS_EchoPAC. Em caso de *tracking* visualmente inadequado, o processo foi repetido. Exames com mais de dois segmentos inadequados foram excluídos.

O *raw data* das curvas de deformação foi exportado pela opção “Store Trace”, a qual gera arquivos .txt que são utilizados para o processamento no D-Station.

O GLS foi escolhido como parâmetro de validação da equivalência das medidas no processamento pelo EchoPAC (técnica já estabelecida – “gold standard”) e o D-Station (técnica alternativa proposta), apresentados na Tabela 1.

Métodos utilizados nas análises:

- Teste de normalidade das medidas de GLS do EchoPAC, D-Station e das diferenças EchoPAC - D-Station, utilizando-se um método gráfico (Gráfico Q-Q) seguido de um método estatístico (Teste de Shapiro-Wilk) para confirmação da ocorrência de normalidade pelo método gráfico;
- Gráfico das medidas de GLS do EchoPAC e D-Station frente à linha de igualdade e coeficiente de correlação (método de Pearson caso os dados do EchoPAC e D-Station apresentem normalidade ou método de Spearman, caso contrário);
- Teste de hipóteses das diferenças das medidas de GLS (EchoPAC - D-Station), dados pareados, nível de significância de 5%, utilizando-se o teste t de Student caso as medidas das diferenças apresentem normalidade ou o teste não Paramétrico de Wilcoxon, caso contrário.
- Análise de concordância pelo método de Bland-Altman^{9,10}

Foi utilizado o *software R version 3.5.2* (2018-12-20) que, por meio dos pacotes *Stats* e *BlandAltmanLeh*, contempla os comandos necessários e *outputs* dos métodos de obtenção do p-value e Bland-Altman.

Critérios de validação

Do ponto de vista clínico, consideramos como critérios para reconhecer o D-Station como alternativa ao EchoPAC (equivalência):

a) Teste de normalidade

A avaliação pelo gráfico Q-Q é visual e, portanto, subjetiva. O padrão da normalidade dos dados é o alinhamento dos pontos em uma linha reta traçada pelo algoritmo a partir dos dados avaliados.

A aceitação da hipótese de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk se dá quando $p\text{-value} > \alpha$ (nível de significância = 5%).

b) Coeficiente de correlação de Spearman ≥ 0.95

c) Teste de hipótese: $p\text{-value} > 0.05$ (há equivalência entre as medidas)

Ho: média das diferenças (EchoPAC - D-Station) = 0

Ha: média das diferenças $\neq 0$

d) Bland-Altman

- erro sistemático (“bias” ou viés) $\leq 1\%$
- dispersão $\leq 2\%$

(*) Notar que a unidade de medida do GLS é % e, portanto, os valores adotados dizem respeito à variação absoluta.

Resultados

Visualização simultânea de curvas de diferentes Câmaras Cardíacas

O D-Station permite a opção de exibição simultânea de todas as curvas de *strain* e *SR* de diferentes câmaras cardíacas, permitindo o estudo da interação entre elas. Opções adicionais com combinações de diferentes exibições podem ser facilmente adicionadas, permitindo a extração de outros parâmetros para estudo da deformação em diferentes câmaras simultaneamente e em cada período do ciclo cardíaco. Como exemplo, na Figura 5 são exibidas as curvas do ventrículo esquerdo e direito, facilitando o estudo das interações interventriculares.

Tabela 1 – Valores de Global Longitudinal Strain (GLS)(%) fornecidos pelo EchoPAC e pelo D-Station

Sujeito	GLS_Echopac	GLS-D-Station	Sujeito	GLS_Echopac	GLS-D-Station	Sujeito	GLS_Echopac	GLS-D-Station
1	-17,90	-17,88	17	-19,00	-19,03	33	-24,40	-24,62
2	-7,90	-9,50	18	-16,90	-16,82	34	-19,10	-19,57
3	-10,50	-11,10	19	-19,500	-16,68	35	-7,40	-6,46
4	-8,50	-8,19	20	-19,80	-19,83	36	-2,70	-3,37
5	-13,30	-13,55	21	-16,70	-17,04	37	-5,70	-5,22
6	-18,40	-18,26	22	-20,50	-20,93	38	-4,50	-4,32
7	-4,60	-4,21	23	-14,90	-14,71	39	-10,50	-9,83
8	-21,60	-21,48	24	-20,20	-19,76	40	-9,40	-10,95
9	-16,20	-16,36	25	-17,80	-18,19	41	-10,60	-10,47
10	-11,90	-11,41	26	-20,10	-20,47	42	-11,10	-11,15
11	-8,80	-7,33	27	-17,30	-17,60	43	-3,20	-3,69
12	-17,30	-17,23	28	-17,50	-16,96	44	-8,20	-8,64
13	-20,40	-20,32	29	-21,20	-20,28	45	-6,60	-6,01
14	-19,80	-19,40	30	-23,00	-23,06	46	-6,90	-6,85
15	-16,40	-15,27	31	-20,70	-19,91	47	-10,60	-10,11
16	-19,20	-19,38	32	-21,10	-21,22	48	-8,80	-9,28

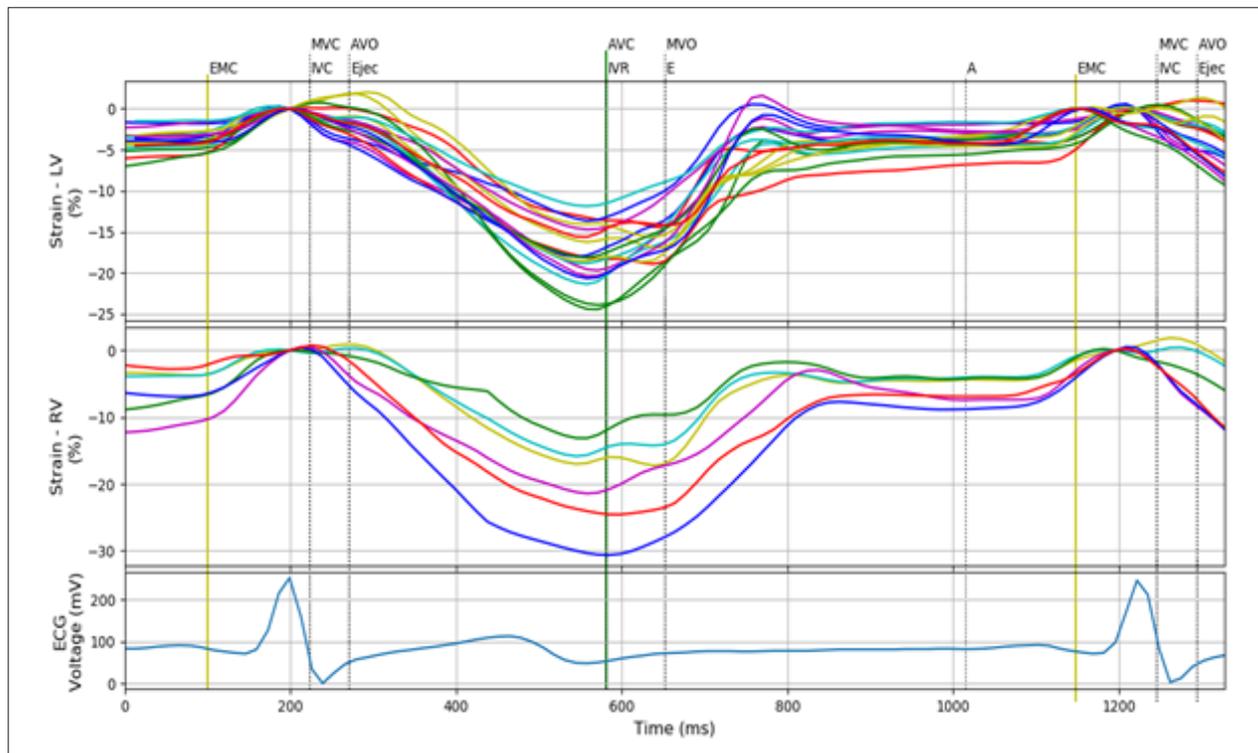


Figura 5 – Apresentação simultânea das 18 curvas de strain do ventrículo esquerdo, seis curvas de strain do ventrículo direito e curva de eletrocardiograma, sendo MVC: Mitral Valve Closure; AVO: Aortic Valve Opening; AVC: Aortic Valve Closure; MVO: Mitral Valve Opening.

Interface CircAdapt: geração de modelos cardíacos virtuais

A opção “Test” no software visa a determinação dos parâmetros das curvas de *strain* sem a separação de fases. Com isso, a curva de ECG não é mais necessária, e o programa torna-se compatível com o modelo matemático CircAdapt. Esse modelo associado ao MultiPatch Module, apresentado por Walmsley et al.,¹¹ pode retornar curvas de strain correspondentes às simulações e os tempos de eventos mecânicos, sem sinais de ECG, como mostrado na Figura 6. Dessa forma, o software desenvolvido pode trabalhar com modelos cardíacos virtuais elaborados seguindo o trabalho de Walmsley et al.¹¹⁻¹⁴

Possibilidade de aplicação de técnicas de aprendizado de máquina (Machine Learning)

Machine learning consiste em uma área do campo da inteligência artificial capaz de processar problemas complexos de interação entre variáveis e fazer previsões acuradas. Tem sido amplamente utilizada em diferentes áreas da cardiologia.

O formato de armazenamento das entradas e dados obtidos pelo software permite implementar algoritmos de *machine learning*, os quais possibilitam a extração automática de parâmetros, classificação de grande número de sinais e leitura das características espaço-tempo de toda a curva de deformação como proposto por Tabassian et al.¹⁵

Resultados da análise de validação

a) Teste de normalidade das medidas

A Figura 7 apresenta os gráficos Q-Q das medidas do EchoPAC (Figura 7a), D_Station (Figura 7b) e da diferença

EchoPAC - D-Station (Figura 7c). Observa-se nas Figuras 7a e 7b, que muitos pontos estão fora da linha reta de referência traçada em vermelho, indicando que as medidas do EchoPAC e do D-Station não são normalmente distribuídas. Já a Figura 7c apresenta a maioria dos pontos sobre ou bem próximos da linha reta de referência traçada em vermelho (exceto dois pontos no extremo superior direito do gráfico), indicando que as diferenças entre as medidas tendem a se distribuir normalmente.

Como as diferenças das medidas serão utilizadas no teste de hipóteses, buscamos confirmar a hipótese de normalidade na distribuição dessas diferenças obtidas pelo método gráfico, aplicando o teste de Shapiro-Wilk, cujo resultado apresentado na Figura 8 confirma a hipótese de normalidade ($p > 0,05$).

b) Gráfico das medidas do EchoPAC e D-Station frente à linha de igualdade e coeficiente de correlação

A Figura 9 apresenta a distribuição dos valores do EchoPAC e D-Station (dados pareados) frente a linha da igualdade, mostrando uma distribuição dos pontos próximos e em ambos os lados dessa linha, apontando, do ponto de vista qualitativo, para um baixo viés (*bias*) e dispersão. Como essas medidas não são normalmente distribuídas, foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman, que indicou uma forte correlação ($r = 0,99$) entre as medidas dos dois métodos.

c) Teste de hipóteses das diferenças das medidas de GLS (EchoPAC - D-Station)

Como as diferenças entre as medidas apresenta distribuição normal, aplicamos o teste t de Student para dados pareados, e nível de significância de 5%, com os resultados apresentados na

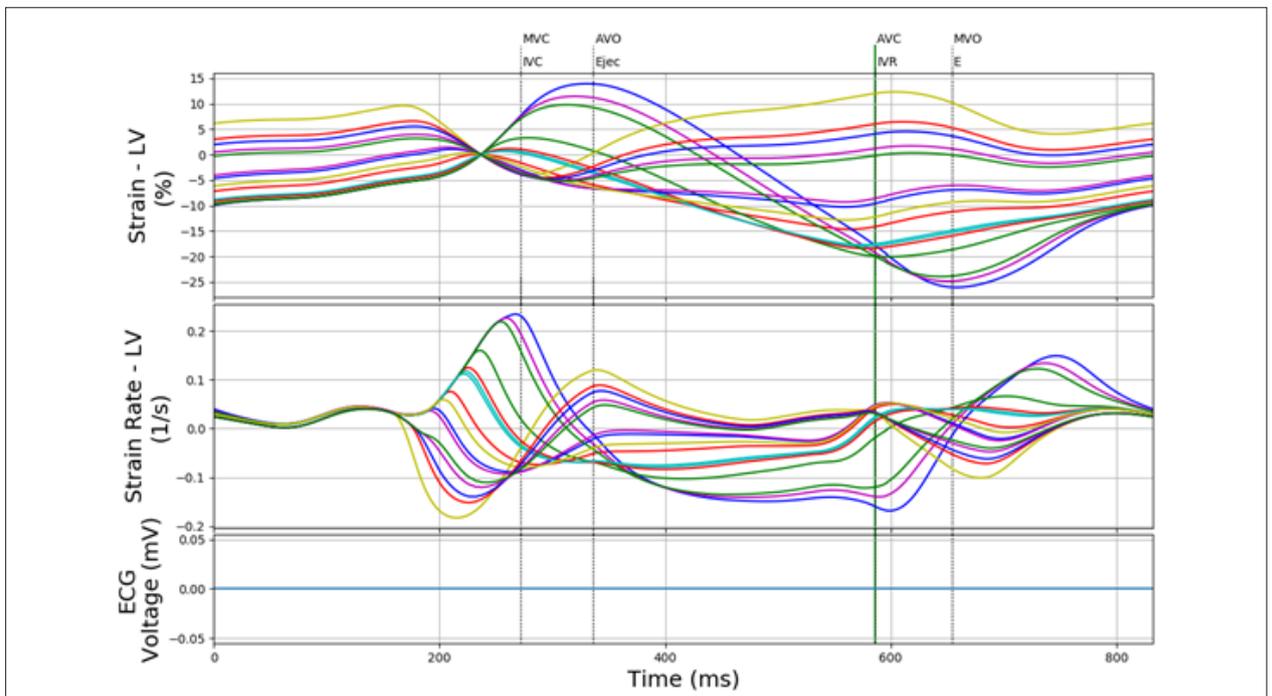


Figura 6 – Apresentação simultânea das 18 curvas de strain do ventrículo esquerdo e 18 curvas de strain rate do ventrículo esquerdo provenientes do CircAdapt; portanto, não há sinal de eletrocardiograma e a separação em fases realizada deve ser desconsiderada, sendo MVC: mitral valve closure; AVO: aortic valve opening; AVC: aortic valve closure; MVO: mitral valve opening.

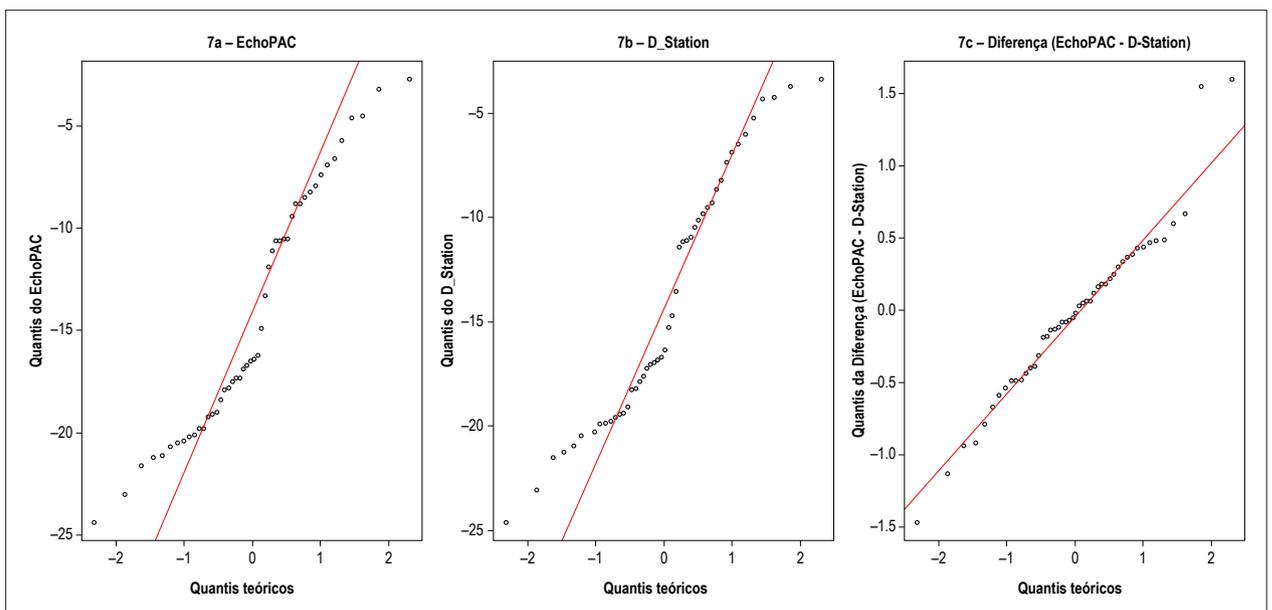


Figura 7 – Gráficos Q-Q.

Figura 10. Obtivemos um valor p de 0,6798, apontando para a aceitação da hipótese nula (ou seja, equivalência dos métodos).

d) Análise de concordância entre métodos de Bland-Altman^{9,10}

A Figura 11 mostra o gráfico de Bland-Altman, que indica a concordância entre os dois métodos ao atender o item c) dos critérios de validação. Há uma indicação de diferenças % maiores para valores absoluto (módulo) de GLS < 10%.

Discussão

Análise de concordância entre métodos

Por atenderem os critérios de validação, os resultados da análise de validação indicam equivalência entre medições de GLS do EchoPAC e D-Station. Em uma análise detalhada dos dados, observa-se que, para medidas inferiores a 10%, houve tendência para diferenças percentuais maiores.

Data: cran\$Dif
W = 0.96266, p-value = 0.1293

Figura 8 – Shapiro-Wilk normality test.

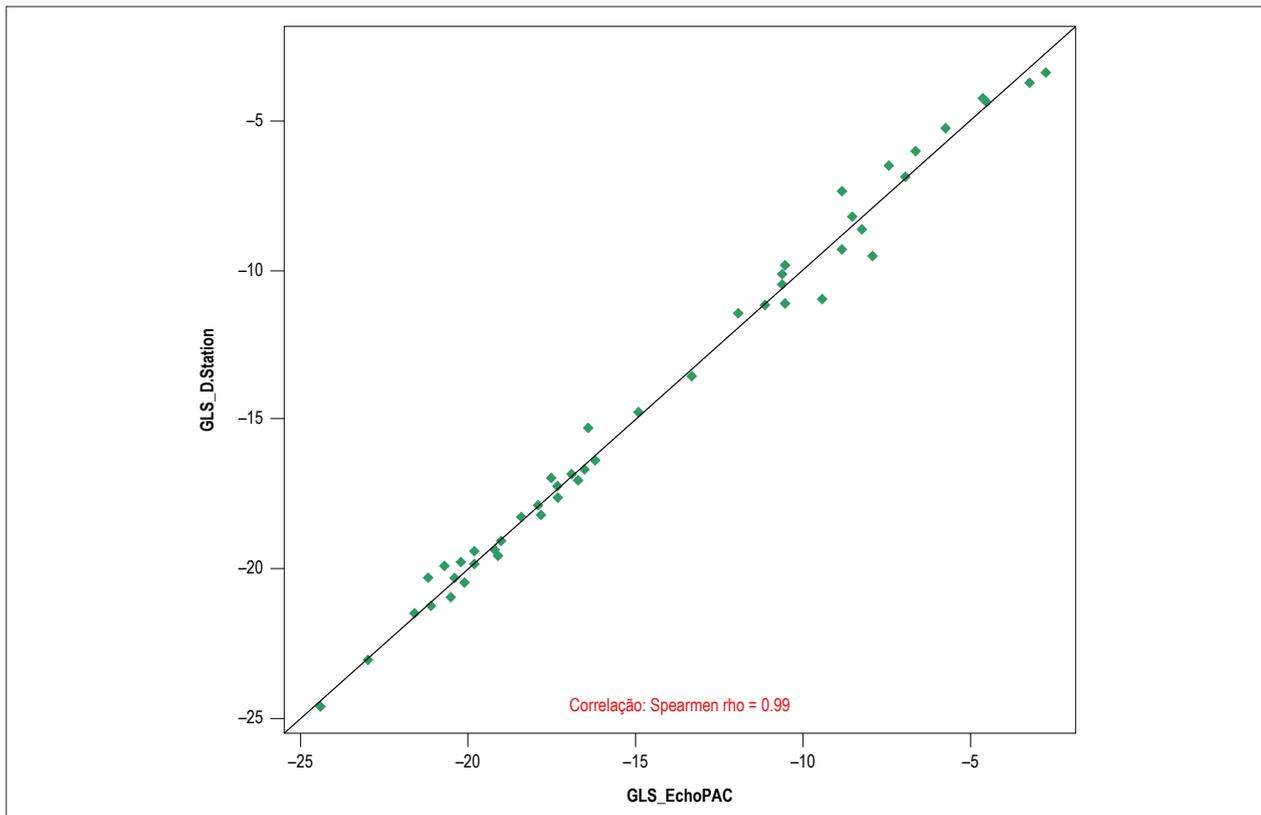


Figura 9 – Valores de Global Longitudinal Strain (GLS) fornecidos pelo EchoPAC e pelo D-Station com a linha de igualdade.

```
data: GLS_Echopac and GLS.D.Station
t = -0.41525, df = 47, p-value = 0.6798
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2033456 0.1337622
sample estimates:
-0.03479167
```

Figura 10 – Paired t-test.

Curiosamente, todos esses sujeitos eram portadores de disfunção ventricular importante com dissincronia tipo bloqueio de ramo esquerdo. Alguns fatores podem precipitar as discrepâncias apontadas:

- 1) Valores absolutos baixos resultam em diferenças percentuais maiores;
- 2) O padrão de dissincronia tipo bloqueio de ramo esquerdo costuma apresentar o "stretching" do segmento

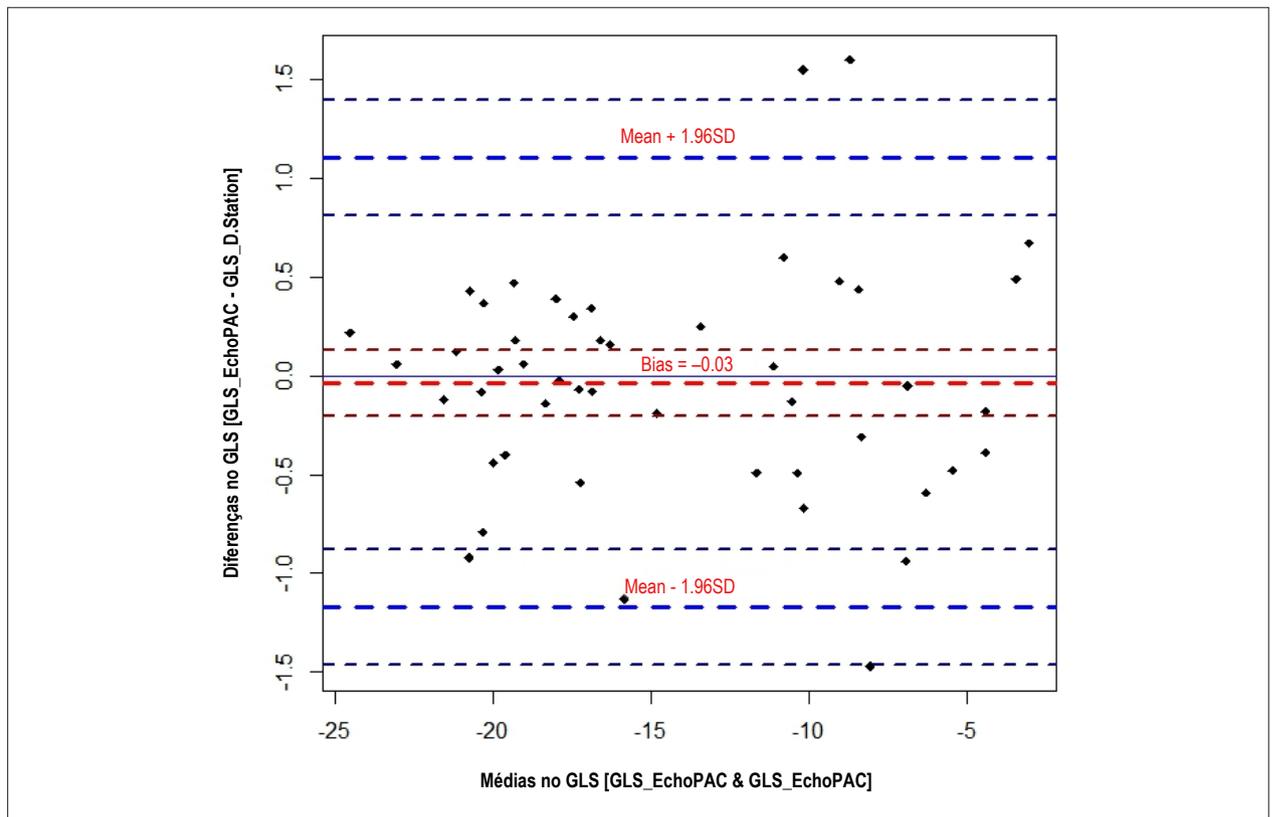


Figura 11 – Diferenças e médias dos valores de global longitudinal strain (GLS) obtidos pelo EchoPAC e pelo D-station.

basal da parede inferolateral e/ou anterolateral no início da sístole, bem como movimentos erráticos médio e telessistólicos do septo após o característico "septal flash". Ambos podem resultar no surgimento de picos positivos. Enquanto o D-Station considera como o *systolic peak* o valor mais negativo, independentemente do pico positivo ou menos positivo em caso de curvas exclusivamente positivas, o EchoPAC utiliza como regra de pico sistólico (*peak systolic strain*), o pico positivo quando este supera 75% do valor modular do pico sistólico negativo, como detalhado anteriormente na Figura 4. Ademais, no EchoPAC, é comum utilizar ajustes manuais nesses casos, porém optamos por não incluir estes ajustes visando maior rigor metodológico.

Em suma, a divergência na definição do *systolic peak* reduz a reprodutibilidade do GLS entre os softwares nos pacientes com dissincronia tipo bloqueio de ramo esquerdo. Essa questão deve ser abordada em estudos subsequentes.

Tais discrepâncias, contudo, não têm impacto significativo, especialmente quando consideramos a variabilidade intraexaminador do GLS reportada na literatura (estimada em 5,2%),¹⁶ bem como as divergências entre softwares pertinentes aos algoritmos de filtragem (*speckle filtering and tracking*).¹⁷⁻¹⁹

Assim, as análises dos dados apresentados validam o D-Station como alternativa ao EchoPAC.

Potenciais aplicações do software D-Station

As possibilidades de utilização do software são diversas: a avaliação simultânea de diferentes câmaras permite estudar a interação entre as deformações entre ventrículos esquerdo e direito, e entre ventrículo esquerdo e átrio esquerdo, o que pode ser relevante nos contextos de insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada, pericardiopatias e dissincronia interventricular.

A interface do D-Station com o modelo Circadapt associado ao MultiPatch Module permite formulação de hipóteses e comparação com sinais de pacientes reais como já realizado previamente.¹²⁻¹⁴ Isso gera recursos de ensino da fisiopatologia da deformação cardíaca, além de potencialmente reduzir o tempo da escolha das variáveis de interesse e poupar recursos com elaboração de modelos animais em alguns cenários de pesquisa.

A aplicação de *Machine Learning* pode ser configurada para processamento de uma grande quantidade de sinais, identificar variáveis de interesse por meio da mineração de dados (*data mining*), além de permitir o uso de todos os pontos da curva de *strain*/SR como o descrito por Tabassian et al.¹⁵ Esse raciocínio pode ter desdobramentos em como extrair mais dados relevantes a partir do estudo de deformação cardíaca potencializada pelas técnicas de *machine learning*, sobretudo com a chegada iminente do "High Frame Rate Speckle Tracking".²⁰

Por fim, atualizações futuras devem expandir as opções para análise com *Strain Radial*, *Circunferencial* e *Twist*, e otimizar a interface entre os *softwares* proprietários incorporando aos parâmetros de deformação, sinais extraídos de Doppler, volumes das câmaras, *Tissue Doppler*, dentre outros. Isto permitirá a extração automatizada de uma nova série de parâmetros predeterminados a critério do usuário.

Limitações

A versão atual do *software* D-Station não permite que as visualizações sejam atualizadas. Isto é, para alterar a escolha das câmaras que terão suas curvas de Strain/SR exibidas, o usuário deve reiniciar o programa. O mesmo acontece caso haja marcação errada no sinal de ECG.

A diferença de aferição do *strain* cardíaco entre diferentes fabricantes é uma questão crítica a técnica de speckle tracking, com o problema já discutido adequadamente por Mirea et al.¹⁸ Estudos adicionais são necessários para avaliar o impacto deste *software* nas divergências de resultados entre fabricantes.

Conclusão

O *software* D-station é uma ferramenta adicional de avaliação das curvas de deformação cardíaca obtidas por meio do *raw data* exportado de outro *software* proprietário, com boa correlação da aferição do GLS quando comparada ao *software* EchoPAC (GE).

Agradecimentos

Os autores agradecem à GE por fornecer licenças do *software* EchoPAC e à Pró Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós Graduação do IFPB pelo apoio financeiro.

Referências

1. Almeida ALC, Gjesdal O, Newton N, Choi EY, Teixeira-Tura C, Yoneyama K, et al. Speckle Tracking echocardiography – clinical applications. *Rev Bras Ecocardiogr Imagem Cardiovasc*. 2013;26(1):38-49.
2. Haugaa KH, Grenne BL, Eek CH, Ersbøll M, Valeur N, Svendsen JH, et al. Strain echocardiography improves risk prediction of ventricular arrhythmias after myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6(8):841-50.
3. Mentz RJ, Khouri MG. Longitudinal strain in heart failure with preserved ejection fraction: is there a role for prognostication? *Circulation*. 2015;132(5):368-70.
4. Claus P, D'hooge J, Langeland TM, Bijns B, Sutherland GR. SPEQLE (Software package for echocardiographic quantification LEuven) an integrated approach to ultrasound-based cardiac deformation quantification. *Comput Cardiol*. 2002;29:69-72.
5. D'hooge J, Bijns B, Thoen J, Van de Werf F, Sutherland GR, Suetens P. Echocardiographic strain and strain-rate imaging: a new tool to study regional myocardial function. *IEEE Trans Med Imaging*. 2002;21(9):1022-30.
6. Mada RO, Lysyansky P, Daraban AM, Duchenne J, Voigt JU. How to define end-diastole and end-systole?: impact of timing on strain measurements. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8(2):148-57.
7. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle H, Baumann R, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(1):1-11.
8. Kaseno H, Toyama T, Okaniwa H, Toide H, Yamashita E, Kawaguchi R, et al. Diastolic stunning as a marker of severe coronary artery stenosis: analysis by Speckle Tracking radial strain in the resting echocardiogram. *Echocardiography*. 2016;33(1):30-7.
9. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res*. 1999;8(2):135-160.
10. Hirakata VN, Camesa SA. Análise de Concordância entre Métodos de Bland-Altman. *Rev HCPA*. 2009;29(3):261-268.
11. Walmsley J, Arts T, Derval N, Bordachar P, Cochet H, Ploux S, et al. Fast simulation of mechanical heterogeneity in the electrically asynchronous heart using the multipatch module. *PLoS Comput Biol*. 2015;11(7):e1004284.
12. Aalen J, Storsten P, Remme EW, Sirnes PA, Gjesdal O, Larsen CK, et al. Afterload hypersensitivity in patients with left bundle branch block. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(6):967-977.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa e Análise e interpretação dos dados: Hortegal RA; Obtenção de dados: Sousa RD, Santos I, Hortegal RA, Abensur H; Análise estatística: Szewierenko P, Hortegal RA; Obtenção de financiamento: Regis CDM, Abensur H; Redação do manuscrito: Sousa RD, Regis CDM, Santos I, Hortegal RA, Szewierenko P; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Regis CDM, Hortegal RA, Abensur H.

Potencial conflito de interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de financiamento

O presente estudo foi parcialmente financiado pela Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba e pelo Dr. Henry Abensur do setor de Ecocardiografia do Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo.

Vinculação acadêmica

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

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa/Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo sob o número de protocolo CAEE 91350318.4.0000.5483. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo.

13. Koeken Y, Arts T, Delhaas T. Simulation of the Fontan circulation during rest and exercise. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012;2012:6673-6.
14. Lumens J, Delhaas T. Cardiovascular modeling in pulmonary arterial hypertension: focus on mechanisms and treatment of right heart failure using the CircAdapt model. *Am J Cardiol.* 2012;110(6):39s-48s.
15. Tabassian M, Alessandrin M, Herbots L, Mirea O, Pagourelas ED, Jasaityte R, et al. Machine learning of the spatio-temporal characteristics of echocardiographic deformation curves for infarct classification. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2017;33(8):1159-67.
16. Farsalinos KE, Daraban AM, Ünlü S, Thomas JD, Badano LP, Voigt JU. Head-to-Head Comparison of Global Longitudinal Strain Measurements among Nine Different Vendors: the EACVI/ASE Inter-Vendor Comparison Study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(10):1171-1181.
17. Nagata Y, Takeuchi M, Mizukoshi K, Wu VC, Lin FC, Negishi K, et al. Intervendor variability of two-dimensional strain using vendor-specific and vendor-independent software. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(6):630-41.
18. Mirea O, Pagourelas ED, Duchenne J, Bogaert J, Thomas JD, Badano LP, et al. Intervendor Differences in the Accuracy of Detecting Regional Functional Abnormalities: A Report From the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2018;11(1):25-34.
19. Loizou CP, Pattichis CS, D'Hooge J. Handbook of speckle filtering and tracking in cardiovascular ultrasound imaging and video. 1st ed. London: Institution of Engineering and Technology; 2018.
20. Joos P, Porée J, Liebgott H, Vray D, Baudet M, Faurie J, et al. High-frame-rate speckle-tracking echocardiography. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control.* 2018;65(5):720-8.

***Material suplementar**

Para informação adicional, por favor, clique aqui.



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