

# Correlação e Concordância entre Medidas Ecocardiográficas Obtidas Durante o Exame no Ecocardiógrafo com Medidas de Imagens Digitalizadas. Estudo Transversal

## Correlation and Concordance between Echocardiographic Measurements Obtained During Echocardiography and Digitized Image Measurements – Transversal Study

Maria Amélia Bulhões Hatem, Iran Castro, Domingos M. Hatem, Marcos Zuccolotto, Adalberto Schuck Júnior, Lucia C. Pellanda, Fernanda Pandolfo, Flávia Feier  
Instituto de Cardiologia do Rio Grande do Sul/Fundação Universitária de Cardiologia - Porto Alegre, RS

### OBJETIVO

Avaliar a correlação e concordância entre medidas ecocardiográficas das dimensões cardíacas, obtidas através do aplicativo *Echo off-line* (programa para obtenção de medidas de imagens digitalizadas em estação de trabalho dedicada), com as realizadas convencionalmente.

### MÉTODOS

Estudo transversal, contemporâneo, sendo randomizados 56 pacientes. Através do programa *Echo off-line* foram mensuradas as medidas ao modo M e 2D ao nível dos ventrículos, do átrio esquerdo e da aorta. Estas medidas foram comparadas às realizadas por outro profissional, através do teste de correlação de Pearson ( $r$ ), com alfa crítico de 0,05 e pela análise de concordância (Bland e Altman).

### RESULTADOS

As mensurações realizadas no sistema *Echo off-line* demonstraram  $r$  de 0,85 a 0,98. A análise de concordância mostrou que, para a maioria das medidas, a diferença média entre os métodos foi aproximadamente zero. A variação de valores absolutos não apresentou, em média, significância clínica. O aplicativo *Echo off-line* permite uma redução de, aproximadamente, 30% no tempo para realização das medidas.

### CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou a acurácia do programa *Echo off-line* para mensurar as dimensões cardíacas em estação de trabalho dedicada, podendo ser utilizado rotineiramente nos laboratórios de ecocardiografia.

### PALAVRAS-CHAVE

Interpretação de imagem guiada por computação, ecocardiografia, programa de domínio público.

### OBJECTIVE

To evaluate the correlation and concordance between the measurements of echocardiographic analysis of cardiac dimensions obtained through the *Echo off-line* applicative (software for obtaining digitized image measurements in a dedicated workstation) available to public domain, and those obtained through the conventional method.

### METHOD

Transversal contemporary study, of 56 randomized patients whose images were obtained during examinations. The measurements of the M mode and 2D, were done in the ventricles, left atrium, and aorta by the *Echo off-line* program. These measurements were compared to those obtained by another professional, through Pearson's correlation test ( $r$ ), alpha = 0.05 and by concordance analysis (Bland and Altman).

### RESULT

The measurements carried out by the *Echo off-line* system showed  $r$  that varied from 0.85 to 0.98. The analysis of concordance showed that for most measurements, the mean difference between the methods was approximately zero. The variation of absolute values did not show, in average, a clinical significance. The *Echo off-line* applicative allows a reduction of approximately 30% in the time spent to obtain the measurements.

### CONCLUSION

This study demonstrated the accuracy of the *Echo off-line* program to measure cardiac dimensions in a dedicated workstation, showing that it can be routinely used in echocardiography labs.

### KEY WORDS

Interpretation of image guided by computer, echocardiography, public domain program.

Correspondência: Iran Castro • Rua Disnard, 42 - 90850-030 - Porto Alegre, RS  
E-mail: iran.castro@cardiologia.org.br

Recebido em 07/03/05 • Aceito em 22/04/05

Desde os estudos iniciais da ecocardiografia, por Edler e Hertz, em 1953, muito se tem pesquisado em tecnologia para a otimização desse método diagnóstico.

O protocolo do exame ecocardiográfico, além do diagnóstico propriamente dito, inclui a realização de um conjunto de medidas das estruturas cardíacas, já bem validadas em literatura<sup>1</sup>, que são utilizadas como parâmetros para avaliação de desempenho cardíaco e acompanhamento da evolução de cardiopatias.

Os valores dos volumes sistólicos e diastólicos do ventrículo esquerdo, fração de ejeção e da massa ventricular, já estão bem validados por meio de estudos que demonstraram haver bom índice de correlação com os achados de medidas angiocardiógráficas<sup>2,3</sup>. Os valores normais das dimensões das cavidades para átrios e ventrículos foram estabelecidos previamente<sup>4,5</sup>, para o eco bidimensional e para o modo M<sup>6,7</sup>.

Feigenbaum<sup>8</sup>, em 1988, foi o primeiro a descrever o uso da aquisição da imagem, em formato digital, em doenças cardiovasculares. A utilização da ecocardiografia digital permite a obtenção de imagens de alta qualidade que podem ser revistas, possibilitando a análise de dados ecocardiográficos em uma estação de trabalho dedicada, permitindo a comparação imediata com exames prévios<sup>9</sup>.

Uma estação de trabalho dedicada consiste em um computador dotado de placas de captura de imagens e um programa que permite calibrar e mensurar as imagens, obtidas durante o exame convencional e armazenadas sob forma digital.

A digitalização das imagens pode reduzir o tempo para a realização dos exames e, conseqüentemente, seu custo, permitindo, também, o envio de imagens a centros de referência, sem a necessidade de transporte de pacientes.

Em se apresentando estas vantagens, é fundamental que se estabeleça a acurácia das medidas realizadas em uma estação de trabalho dedicada, para que seja possível a sua utilização na prática clínica. Portanto, o objetivo primário deste trabalho é avaliar a correlação e a concordância entre as medidas de análise ecocardiográficas pelo modo M e bidimensional, obtidas através do programa para obtenção de medidas de imagens digitalizadas em estação de trabalho dedicada, desenvolvido em nosso meio, com as medidas realizadas convencionalmente durante a realização rotineira dos exames, demonstrando, assim, a aplicabilidade deste programa.

## MÉTODOS

Foi realizado um estudo transversal, do tipo contemporâneo, em que foram estudados 56 pacientes, encaminhados ao setor de métodos gráficos para a realização de exame ecocardiográfico, no período de agosto a novembro de 2002, por indicação clínica de seu médico assistente; independente da presença, ou não, de condição patológica cardíaca e do tipo de doença cardiológica. Estes pacientes eram selecionados de forma aleatória, através de programa especialmente

desenvolvido para tal tarefa (disponível livremente em: [www.cardiologia.org.br](http://www.cardiologia.org.br)).

Cada paciente selecionado foi comunicado da natureza do trabalho realizado, assinando um termo de consentimento informado, aprovado pelo Comitê de Ética da instituição onde foi realizado o estudo, permitindo a captura e a utilização de suas imagens para fins da pesquisa.

Foram excluídos seis pacientes da amostra, sendo estabelecidos os seguintes critérios de exclusão: 1º) janela ecocardiográfica paraesternal longitudinal esquerda limitada; 2º) presença de alterações segmentares das paredes septal e posterior; e 3º) recusa em assinar consentimento informado.

*Sistema de mensuração de medidas ecocardiográficas* - Foi desenvolvido um sistema que possui dois modos de aquisição e registro dos dados: um, que é o acesso ao banco de dados local, permitindo a integração com o sistema de laudos do hospital, automatizando o processo de registro de dados dos exames efetuados; e o outro, o acesso a arquivos, no qual a imagem é lida diretamente de um arquivo tipo JPEG (opcionalmente de um arquivo BMP) e os resultados são gravados em um arquivo texto. Este modo permite a utilização do aplicativo *Echo off-line* em qualquer situação, sem a necessidade de acesso ao banco de dados da instituição (o programa está disponível livremente em: [www.cardiologia.org.br](http://www.cardiologia.org.br)).

O *software* LAUDOS foi desenvolvido em Delphi 5.0, utilizando, inicialmente, o banco de dados no formato MDB - *Microsoft Database*. Posteriormente, o aplicativo foi reescrito, utilizando-se o padrão SQL, visando à sua integração com o banco de dados *Oracle* da instituição.

O módulo de interpretação, na estação de trabalho (*off-line*), utiliza uma interface gráfica, na qual são ajustados os parâmetros de escala. As medidas são realizadas sobre imagens estáticas, em formato JPEG ou BMP, adquiridas por meio de *hardware* e *software* da *ATI Technologies*, acoplados a um microcomputador da linha PC, com sistema operacional *Microsoft Windows*. O aplicativo, além da interface gráfica, permite ao usuário definir grupos de medidas, frases e modelos de laudos que facilitam o processo descritivo e possibilitam o cruzamento de dados para trabalhos científicos.

Para a implementação do *Echo off-line*, utilizou-se a ferramenta C++ Builder, na versão 5.0, da empresa Inprise. O C++ *Builder* é uma ferramenta tipo RAD (*Rapid Application Development*) que utiliza a linguagem C++ na implementação do código. A interface com o usuário foi construída através do uso de componentes denominados *Form* (formulários).

Foi utilizado, na realização dos exames, o aparelho ecocardiógrafo (Sonos 2500, *Hewlett Packard*, Andover, Mass., USA) com transdutor multifrequencial de 2 a 2,5 MHz, tendo a ele acoplada uma placa de captura de vídeo *ATI all-in-wonder*, instalada em um microcomputador PC *Pentium II*, conectado à rede corporativa da instituição.

O programa de medidas, em uma estação de trabalho dedicada *Echo off-line*, foi instalado em um único

computador, na instituição, com a seguinte configuração: Pentium 4, com 256 Mb de memória, rodando sistema operacional Windows 2000, monitor *LG Studioworks 995E* de 17", com brilho regulado em 66 e contraste em 68, placa de vídeo *Hauppauge win/TV 878* e mouse *Logitech* modelo DPGPF.

Foram capturadas imagens ecocardiográficas em corte paraesternal longitudinal ao modo M e bidimensional, no nível de aorta e átrio esquerdo e no nível dos ventrículos em sístole e diástole, seguindo as recomendações da *American Society of Echocardiography Committee on Standards*<sup>2</sup>, por um único ecocardiografista. Cada imagem empregada na mensuração das variáveis foi digitalizada, utilizando-se uma resolução de 640 x 480 pixels, e armazenada sob o formato JPEG. Após a realização da coleta de dados, o exame do paciente prosseguia na sua rotina normal.

Um segundo médico ecocardiografista realizava as mesmas mensurações ao modo M e bidimensional, utilizando o programa *Echo off-line*. Cada imagem foi mensurada duas vezes, com intervalo mínimo de um dia entre as medidas, com o objetivo de realização da análise de correlação intra-observador e da correlação e concordância interobservador, permitindo avaliar a reprodutibilidade da ferramenta.

Para cada corte ao modo M e bidimensional, o programa *Echo off-line* era calibrado para permitir medidas de maior fidelidade, utilizando-se a escala fornecida pelo programa. O tempo para a realização destas medidas foi, também, cronometrado através deste aplicativo.

As medidas foram anotadas em uma ficha de exame, registrando-se a hora de ingresso e saída do paciente. Todo o procedimento foi gravado em fita de vídeo VHS.

O desenho da tela principal do programa *Echo off-line* é apresentado na figura 1. A maior parte da tela é ocupada pela imagem ecocardiográfica. Procurou-se criar uma organização visual simples e clara. Os botões foram dispostos em uma ordem que segue a seqüência natural de uso da ferramenta. Inicia-se abrindo a imagem a ser mensurada, segue-se com a calibração da escala e, depois, procede-se à realização das medidas (fig. 1).

As medidas ao modo M e bidimensional são apresentadas sob a forma de médias e desvios padrão.

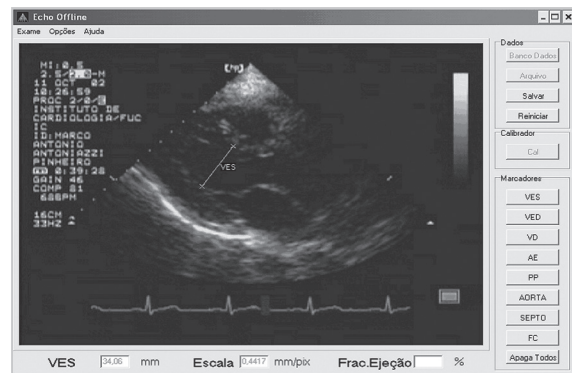


Fig. 1 - Tela de apresentação do programa Echo off-line

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson entre as medidas obtidas durante a realização do exame convencional e as obtidas através do programa para obtenção de medidas de imagens digitalizadas em estação de trabalho dedicada, considerando um alfa crítico de 0,05. Este coeficiente indica o quanto duas variáveis estão linearmente relacionadas, porém, não expressa, corretamente, a concordância entre as medidas. Os dois métodos foram adicionalmente comparados pela análise de concordância descrita por Bland e Altman, que permite estabelecer limites de concordância entre medidas clínicas realizadas através de dois métodos diferentes<sup>11</sup>.

Foi realizada a análise da variação intra-observador para as medidas obtidas com o referido programa, utilizando-se a análise de concordância de Bland e Altman<sup>11</sup>.

## RESULTADOS

Foram estudados 56 pacientes, sendo 32 (57%) do sexo feminino e 24 (43%), do sexo masculino, com média de idade de 48 anos, variando de 14 a 86 anos. As imagens foram capturadas durante a realização de exame ecocardiográfico, no período de agosto a novembro de 2002.

Na tabela 1, são apresentados as médias e os respectivos coeficientes de correlação entre as medidas realizadas convencionalmente e com o programa *Echo off-line*, ao modo M, e, na tabela 2, são descritos as

**Tabela 1 - Médias e coeficientes de correlação entre as medidas realizadas convencionalmente e com o programa Echo off-line, ao modo M**

Dimensões	Convencional Média ± dp	Echo off-line Média ± dp	R Pearson	p
AO	31,54 ± 3,48	31,07 ± 3,44	0,88	0,0000001
AE	37,78 ± 9,03	37,03 ± 8,51	0,97	0,0000001
VD	20,74 ± 4,13	21,07 ± 3,83	0,90	0,0000001
VED	50,48 ± 7,00	48,89 ± 6,80	0,96	0,0000001
VES	31,64 ± 8,21	30,66 ± 8,14	0,97	0,0000001
Septo	8,81 ± 1,70	9,01 ± 1,69	0,90	0,0000001
PP	8,64 ± 1,76	8,88 ± 1,82	0,91	0,0000001

AO – aorta; AE – átrio esquerdo; VD – ventrículo direito; VED – ventrículo esquerdo em diástole; VES – ventrículo esquerdo em sístole; PP – parede posterior

médias e os respectivos coeficientes de correlação entre as medidas realizadas convencionalmente e com o programa *Echo off-line*, ao modo Bidimensional.

Estas duas tabelas demonstram que existem índices de correlação adequados entre as medidas realizadas pelos dois métodos, sendo que estes índices variaram de 0,85 a 0,98. Observamos, também, que as mensurações ao modo bidimensional demonstraram índices de correlação superiores às realizadas no modo M, tendo uma variação intra e interobservador de aproximadamente 10%.

As medidas que apresentaram no nosso estudo maiores variações entre os métodos foram as da aorta, do ventrículo direito e das espessuras parietais, ao modo M, já descritas na literatura como as que apresentam maior variabilidade interobservador<sup>21</sup>. A dimensão do ventrículo direito apresenta a maior variação entre todas as medidas, pois é dependente da posição do paciente.

No gráfico, é exibida a análise da concordância realizada para o ventrículo esquerdo, em sístole e diástole, entre os dois métodos de mensuração das dimensões cavitárias ecocardiográficas ao modo M e bidimensional (fig. 2).

A análise de concordância entre as medidas ao modo M e bidimensional mostraram-se adequadas para a grande maioria das medidas, pois a diferença média entre os métodos foi muito próxima a zero.

Foi realizada a análise da variação das medidas intra-observador, ao modo M e bidimensional, utilizando-se o índice de correlação de Pearson, para avaliar a reprodutibilidade da realização das medidas pelo mesmo observador, realizando as mesmas, com o aplicativo *Echo off-line*. Os índices de correlação variaram de 0,81 a 0,98, mostrando-se adequada a utilização desta ferramenta, pois a reprodutibilidade das medidas foi adequada.

A comparação entre os tempos utilizados nos dois métodos indica que, utilizando-se a ferramenta *Echo off-line*, obtém-se uma redução de, no mínimo, 30% do tempo empregado para realização das medidas, quando comparado com o tempo para realizá-las no ecocardiógrafo (método convencional).

A análise das medidas ecocardiográficas, no programa *Echo off-line*, permitiu uma redução média

de tempo de uso do aparelho de 1.000 min/mês, possibilitando um incremento no número de exames realizados de, aproximadamente, 50 exames ao mês, por ecocardiógrafo.

## DISCUSSÃO

A rotina dos exames ecocardiográficos inclui, além de um detalhado exame do paciente, a obtenção de imagens e mensurações de variáveis quantitativas. O desejo de realizar tais medidas fora da sala de exames foi, por vários anos, prejudicada pelo fato de que as estações de trabalho, dedicadas a esta função, não eram custo-efetivas, o desenvolvimento tecnológico de computação passou a permitir um custo operacional mais acessível.

A vantagem da utilização da ecocardiografia digital é a obtenção de imagens de alta qualidade, que podem ser revistas, possibilitando a análise de dados ecocardiográficos *off-line*, com cálculo de medidas de dimensões e Doppler, necessitando de espaços menores e mais organizados para armazenamento das imagens. A quantificação é simplificada com a informação de calibração DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), permitindo realizar medições diretas, gerar relatórios eletrônicos e banco de dados.

A gravação de imagens em fitas VHS é universalmente utilizada para armazenar imagens, pois, o custo para arquivar os dados, no sistema de compressão do tipo JPEG, gira em torno de U\$ 1.90 dólares por paciente, enquanto o custo para arquivar em fita VHS, de 120 minutos, fica em torno de U\$ 0.32 dólares. Assim, o custo para realização de armazenamento digital é seis vezes maior<sup>13</sup>. Esse custo, porém, justifica-se, já que a aquisição de programas de informatização agiliza a entrega dos resultados, inclusive disponibilizando os mesmos em rede local (Intranet) e rede externa (Internet), permitindo uma relação direta entre o arquivo médico (prontuário informatizado) e os dados de exames, e reduz a duração do tempo para a realização dos exames.

Outra vantagem do armazenamento de imagens de forma digital é a menor possibilidade da degradação de imagem, com permuta e transmissão de dados mais

**Tabela 2 - Médias e coeficientes de correlação entre as medidas realizadas convencionalmente e com o programa *Echo off-line*, ao modo bidimensional**

Dimensões	Convencional Média ± dp	Echo off-line Média ± dp	R Pearson	p
AO	29,78 ± 3,38	29,83 ± 3,58	0,90	0,000000
AE	34,51 ± 9,51	34,13 ± 8,48	0,98	0,000000
VD	22,57 ± 3,01	22,76 ± 2,88	0,85	0,000000
VED	49,06 ± 6,99	48,41 ± 6,92	0,95	0,000000
VES	32,18 ± 8,43	32,11 ± 8,36	0,98	0,000000
Septo	8,40 ± 1,81	8,96 ± 1,84	0,91	0,000000
PP	8,56 ± 1,98	8,81 ± 1,91	0,89	0,000000

AO – aorta; AE – átrio esquerdo; VD – ventrículo direito; VED – ventrículo esquerdo em diástole; VES – ventrículo esquerdo em sístole; PP – parede posterior

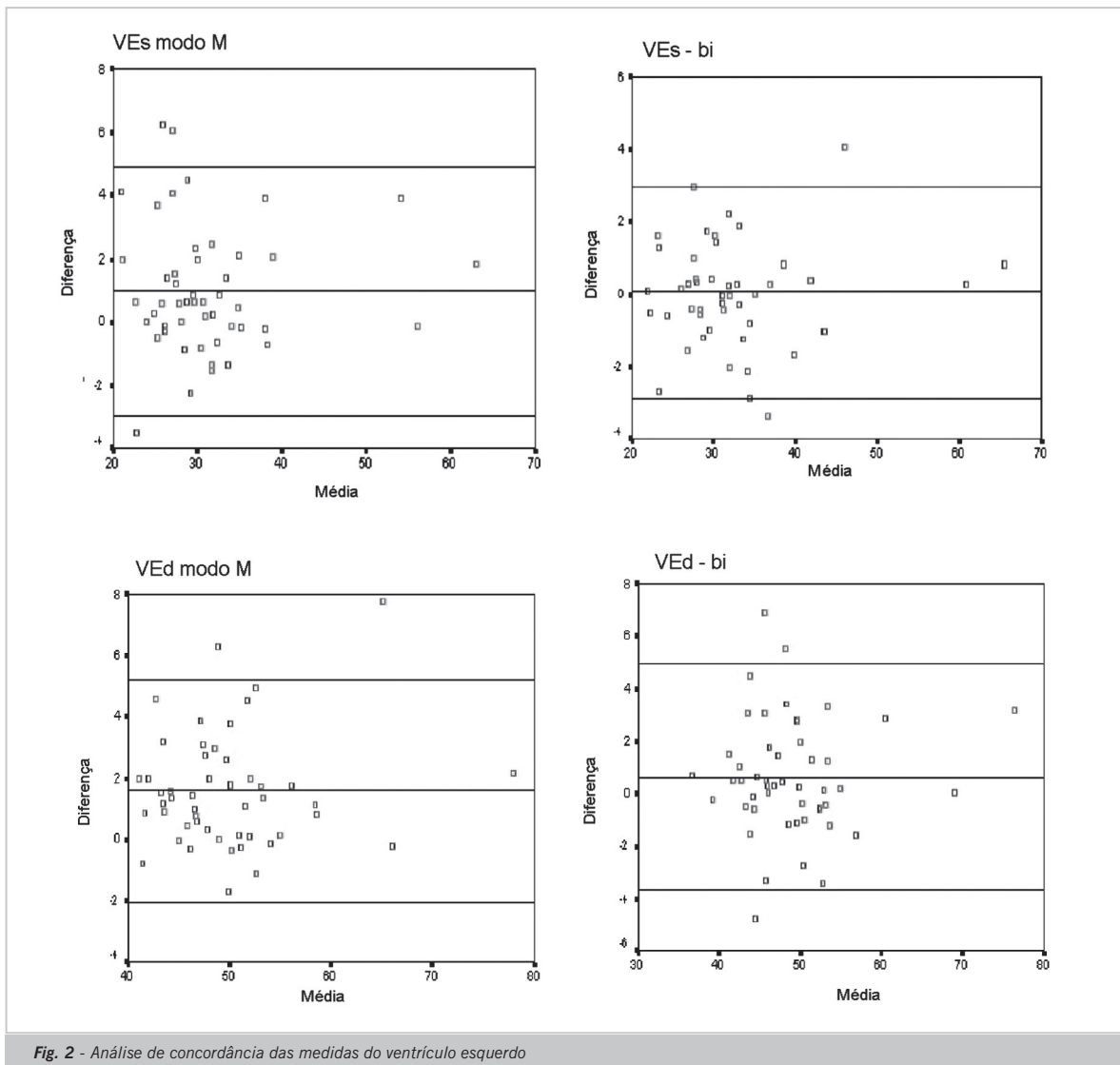


Fig. 2 - Análise de concordância das medidas do ventrículo esquerdo

fáceis, possibilitando a comparação de forma rápida e simultânea com exames prévios<sup>13</sup>.

A possibilidade do envio de imagens médicas a centros de referência permite que os pacientes, atendidos em centros de atenção primária e secundária, recebam um tipo de assistência médica de melhor qualidade, evitando transportá-los, desnecessariamente, para hospitais terciários, além de favorecer uma educação à distância dos médicos daqueles serviços, qualificando melhor a equipe que presta serviço nestes centros.

Mohler e cols.<sup>15</sup> compararam interpretações de ecocardiogramas digitais e de vídeoteipes em pacientes com dor torácica de um departamento de emergência. A taxa de concordância dos dois métodos para análise da contratilidade segmentar foi de 94%.

Karson e cols.<sup>16</sup> demonstraram que o armazenamento digital permite uma qualidade superior de imagens comparadas com vídeoteipe, com uma compressão de até 20:1. Este estudo observou 179 pacientes, embora apenas

um pequeno número de imagens tenha sido avaliado.

Soble e cols.<sup>17</sup> compararam análises de imagens MPEG-1 com imagens por vídeoteipe numa série de 58 pacientes, encontrando uma concordância de 83%.

No estudo de Segar e cols.<sup>18</sup>, foram avaliados 110 exames gravados, simultaneamente, em vídeoteipe e digitalizados, encontrando uma taxa de concordância de cerca de 83%.

O estudo de Mobarek e cols.<sup>19</sup> sugere que a acurácia, na interpretação em sistemas digitalizados, não é sacrificada, apesar da necessidade de realizar uma “compressão clínica” significativa, ou seja, o operador limitar as gravações a segmentos ou *loops* de 1 ou 2 ciclos cardíacos. Em 93 pacientes consecutivos, os dados digitais que sofreram este tipo de compressão eram comparados com um estudo completo gravado em vídeoteipe. A concordância na interpretação entre estas duas técnicas foi estimada em 99%, com uma redução significativa no tempo de interpretação.

Haluska e cols.<sup>20</sup> avaliaram o uso de imagens digitalizadas no diagnóstico de pacientes com doenças valvulares. Cento e um pacientes portadores de deficiências valvulares foram selecionados e seus exames foram digitalizados, utilizando o padrão JPEG, com compressão de 20:1, bem como gravados em fita VHS. Os parâmetros mensurados foram altamente concordantes entre os dois métodos.

Este estudo demonstrou que a ferramenta de medidas em estação de trabalho dedicada, desenvolvida na nossa instituição, apresenta índices de correlação comparáveis aos dos outros trabalhos, já descritos em literatura, além de bons índices de reprodutibilidade das medidas intra-observador.

O sistema avaliado permite uma melhor utilização de equipamentos de custo mais elevados, os ecocardiógrafos, transferindo, para a unidade de trabalho dedicada, as tarefas de mensurações e emissão de laudos, sem ônus

para a acurácia diagnóstica. Com isso, há uma redução no custo unitário dos exames, permitindo que mais pessoas se beneficiem com a realização dos mesmos.

Em função dos resultados obtidos, a ferramenta foi incorporada no sistema de laudos utilizado no SAME da nossa instituição. O protótipo do aplicativo, utilizado neste estudo, encontra-se disponível, gratuitamente, na página da Internet [www.cardiologia.org.br](http://www.cardiologia.org.br). O programa, incorporado ao sistema de laudos, permite a avaliação da função diastólica e das lesões orovalvares, devendo-se realizar novos estudos com a finalidade de testar a acurácia deste aplicativo, para esta função.

Concluindo, este trabalho demonstrou a acurácia e praticidade do programa *Echo off-line* para mensurar medidas ecocardiográficas das dimensões cardíacas em estação de trabalho dedicada, podendo este programa ser utilizado rotineiramente nos laboratórios de ecocardiografia.

## REFERÊNCIAS

1. Popp RL, Wolfe SB, Hirata T, Feigenbaum H. Estimation of right and left ventricular size by ultrasound. A study of the echoes from the interventricular septum. *Am J Cardiol* 1969; 24: 523-30.
2. American Society of Echocardiography Comitee on Standars Recommendations for quantification of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1989; 2: 358-67.
3. Kaye HH, Tynan M, Hunter S. Validity of echocardiographic estimates of left ventricular size and performance in infants and children. *Br Heart J* 1975; 37: 371.
4. Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J, Weyman A. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: Results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 1978; 58: 1072.
5. Trail TA, Gibson DG, Brown DJ. Study of left ventricular wall thickness and dimension changes using echocardiography. *Br Heart J* 1978; 40: 162.
6. Byrd BF, Finkbeiner W, Bouchard A, Silverman NH, Schiller NB. Accuracy and reproducibility of clinically acquired two-dimensional echocardiographic mass measurements. *Am. Heart J* 1989; 118: 133.
7. Felner JM, Blumenstein BA, Schlant RC et al. Sources of variability in echocardiographic measurements. *Am J Cardiol* 1980; 45: 995.
8. Feigenbaum H. Digital recording, display, and storage of echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1988; 1: 378-83.
9. Garcia MJ, Thomas JD, Greenberg NL et al. Comparison of MPEG – 1 digital video with S-VHS tape for quantitative echocardiographic measurements. *J Am Soc Echocardiogr* 2001; 14: 114-21.
10. Fleiss J. Statistical methods for rates and proportions. New York: John Wiley; 1981.
11. Bland Martin J, Douglas Altman G. Statistical Methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986: 307-310.
12. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33: 159-74.
13. Mathewson James W, Perry James C, Maginot Kathleen R, Cocalis Mark. Pediatric digital echocardiography: A study of the analog-to-digital transition. *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 561-9.
14. Finley JP, Sharrat GP, Nanton MA et al. Paediatric echocardiography by telemedicine – nine years' experience. *J Telmed Telecare* 1997; 3(4): 200-204.
15. Mohler ER, Ryan T, Segar DS, Sawada SG, Fineberg NS, Feigenbaum H. Comparison of digital with videotape echocardiography in patients with chest pain in the emergency department. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 501-08.
16. Karson TH, Zepp RC, Chandra S, Morehead A, Thomas JD. Digital storages of echocardiograms offer superior image quality to analog storage even with 20:1 digital compression: results of the digital ERA (Echo record Access) study. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 769-78.
17. Soble JS, Yurow G, Brar R et al. Comparison of MPEG digital video with super VHS tape for diagnostic echocardiographic readings. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 819-25.
18. Segar DS, Skolnick D, Sawada SG et al. A comparison of the interpretation of digitized and videotape recorded echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 714-19.
19. Mobarek SK, Gilliland YE, Bernal A, Murgo JP. Is a full digital echocardiography laboratory feasible for routine daily use? *Echocardiography* 1996; 13: 473-82.
20. Haluska B, Washi S, Mayer EM et al. Accuracy and cost and time-effectiveness of digital clip versus videotape interpretation of echocardiograms in patients with valvular heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2001; 14: 292-8.
21. Collins HW, Kronenberg MW, Byrd BF. Reproducibility of left ventricular mass measurements by two-dimensional and M-mode echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1989; 14: 2.