HELOISA AMARAL GASPAR GONÇALVES

**Ecocardiografia em terapia intensiva: avaliação de
treinamento voltado para intensivistas e emergencistas
pediátricos**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Doutor em Ciências

Programa de Pediatria

Orientador: Dr. Artur Figueiredo Delgado

**SÃO PAULO
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Gonçalves, Heloisa Amaral Gaspar

Ecocardiografia em terapia intensiva : avaliação de treinamento voltado para intensivistas e emergencistas pediátricos / Heloisa Amaral Gaspar Gonçalves. -- São Paulo, 2014.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Programa de Pediatria.

Orientador: Artur Figueiredo Delgado.

Descritores: 1.Ecocardiografia 2.Unidades de terapia intensiva
3.Capacitação 4.Educação médica 5.Médicos 6.Pediatria 7.Crianças 8.Função ventricular

USP/FM/DBD-211/14

*"A mente que se abre a uma nova ideia nunca
mais volta ao seu tamanho original."*

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Elaine Amaral Gaspar, presente em todos os momentos de minha vida, pelo exemplo de amor, dedicação, honestidade, caráter e força de vontade. Todos os elogios seriam pouco para falar desta pessoa maravilhosa.

Ao meu pai Roberto Gaspar, que teve participação muito importante na minha formação profissional, sempre me incentivando e apoiando e cujo orgulho foi o combustível para a realização desta tese.

Ao meu irmão Thiago Amaral Gaspar, meu amigo e companheiro. Desde sempre, um pequeno grande homem... E a sua esposa Luiza, pela excelente parceria.

Ao meu marido Paulo Eduardo Gonçalves, exemplo de dedicação e competência, toda minha admiração, meu amor e meu agradecimento pelo seu carinho, compreensão e por dar sentido à vida e me fazer feliz.

À minha família por toda união, em especial meus padrinhos Orlando e Marlene Sales, que são para mim meus segundos pais, e à família Gonçalves, considerada por mim como minha família.

As minhas grandes amigas da Faculdade de Medicina do ABC, Melina Gouveia Castro, Patrícia Xavier Santi e Rafaela Sarmento Pereira, que estiveram ao meu lado na formação médica e iniciação à pesquisa científica, mas principalmente, sempre ao meu lado fora do campus da Faculdade, em todos os momentos.

As minhas amigas de Terapia Intensiva Pediátrica, sabiamente intituladas de “Pérolas”: Camila Metran, Fabiane Regalio, Fernanda Kamei, Fernanda Ejzenberg, Josiane Simas, Natascha Correa, Patrícia Tuma e Priscila Tarandach pelo imenso apoio e incentivo nos diversos momentos difíceis que passei ao longo da pós-graduação, e foram muitos...

AGRADECIMENTOS

Aos pacientes e seus familiares que, pacientemente, colaboraram com este estudo.

Ao Prof. Dr. Werther Brunow de Carvalho, Professor Titular da Disciplina de Neonatologia e Cuidados Intensivos em Pediatria da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, agradeço as oportunidades, orientações, incentivo e a confiança em mim depositada.

Ao Dr. Artur Figueiredo Delgado, modelo de sucesso acadêmico e profissional, meu respeito, admiração e gratidão pela orientação desta jornada.

Ao Dr. Eduardo Juan Troster pelo grande incentivo para realização desta tese.

Aos ecocardiografistas José Andrade, Alessandro Lianza e em especial a Dra. Samira Morhy Saad, extremamente competentes e que por amor a medicina, ao ensino e a ciência permitiram a execução deste trabalho.

Aos dezesseis médicos que voluntariamente participaram do treinamento, cumprindo com rigor o cronograma proposto. Em especial, a Dra Denise Katz, que mesmo com problemas pessoais nos últimos dias do estudo não hesitou em completar o protocolo proposto.

A bibliotecária Mariza Yoshikawa e a Monica Souza secretária da pós-graduação pela competência e agilidade que foram fundamentais para execução deste trabalho.

Aos enfermeiros, auxiliares e técnicos de enfermagem pela paciência e colaboração com a execução deste estudo em pacientes graves que estavam sob os seus cuidados diretos.

A todos os professores que durante minha vida dedicaram seu tempo, boa vontade e amor à minha formação. Em especial, aos Assistentes e Colegas da Disciplina de Terapia Intensiva Pediátrica do Instituto da Criança da FMUSP, aos residentes mais velhos e mais novos pela troca de conhecimentos, convívio, amizade e colaboração profissional em diversos níveis.

A Sra. Maria Helena Vargas por toda dedicação na edição da tese.

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referencias: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*.

Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3^a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentações; 2011.

Abreviatura dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas e siglas

Lista de figuras

Lista de quadros

Lista de tabelas

Resumo

Summary

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Ecocardiografia de Emergência.....	10
1.1.1 Princípio físicos da ultrassonografia e da ecocardiografia	10
1.1.2 Equipamentos de ecocardiograma	13
1.1.3 Modalidades de imagem ecocardiográficas	15
1.1.4 Janelas ecocardiográficas.....	18
1.1.5 Avaliações ecocardiográficas	22
1.2 Treinamento de Médicos Não Ecocardiografistas - Revisão da Literatura	27
2 OBJETIVOS	34
3 MÉTODOS	36
3.1 Seleção dos Participantes	37
3.2 Cronograma e Conteúdo do Treinamento.....	38
3.2.1 Treinamento teórico	39
3.2.2 Treinamento prático	39
3.3 Janelas e Variáveis Ecocardiográficas	41
3.4 Avaliações	44
3.5 Análise Estatística.....	45
4 RESULTADOS	46
5 DISCUSSÃO.....	54
5.1 Fisiopatologia do Choque Séptico.....	56
5.1.1 Cardiomiopatia associada à sepse	56
5.1.2 Ressuscitação volêmica na sepse	59
5.2 Avaliações Ecocardiográficas	60
5.2.1 Função subjetiva de ventrículo esquerdo.....	60
5.2.2 Função objetiva de ventrículo esquerdo: fração de ejeção e índice cardíaco	63
5.2.3 Função subjetiva de ventrículo direito.....	65
5.2.4 Resposta volêmica: Índice de distensibilidade de veia cava inferior....	65
5.2.5 Derrame pericárdico e tamponamento cardíaco	67
5.2.6 Refluxos de valva mitral e tricúspide	68
5.3 Considerações Gerais e Limitações.....	69
6 CONCLUSÕES.....	70
7 ANEXOS	73
8 REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	-	Átrio direito
AE	-	Átrio esquerdo
Ao	-	Aorta
CAP	-	Cateter de artéria pulmonar
CCE	-	<i>Critical Care Echocardiography</i>
dB	-	Decibéis
DC	-	Débito cardíaco
DDVE	-	Diâmetro diastólico do ventrículo esquerdo
DIVC	-	Índice de variação respiratória de veia cava inferior
DP	-	Derrame pericárdico
DSVE	-	Diâmetro sistólico do ventrículo esquerdo
dVCI	-	Índice de distensibilidade de veia cava inferior
DVSVE	-	Diâmetro da via de saída de ventrículo esquerdo
f	-	Frequência
FE	-	Fração de ejeção
FOCUS	-	<i>Focused Cardiac Ultrasound</i>
FVD	-	Função subjetiva de ventrículo direito
FVE	-	Função subjetiva de ventrículo esquerdo
GEE	-	<i>Generalized Estimation Equation</i>
IC	-	Índice cardíaco
IVS	-	Septo interventricular
MHz	-	Mega-hertz
RVM	-	Regurgitação de valva mitral
RVT	-	Regurgitação de valva tricúspide
UTI	-	Unidades de terapia intensiva
UTIP	-	Unidade de terapia intensiva pediátrica
VCI	-	Veia cava inferior

VD	-	Ventrículo direito
VDVE	-	Volume diastólico do ventrículo esquerdo
VE	-	Ventrículo esquerdo
VH	-	Veia hepática
VSVE	-	Via de saída de ventrículo esquerdo
VTI	-	Integral velocidade-tempo aórtica
γ	-	Comprimento de onda

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Principais dispositivos para medida minimamente invasiva de débito cardíaco	4
Figura 2 -	Espectro sonoro das diversas frequências de som	10
Figura 3 -	Características físicas das ondas de ultrassom.....	11
Figura 4 -	Reflexão e refração	12
Figura 5 -	Modelos de equipamentos de ecocardiograma	14
Figura 6 -	Imagem pelo modo bidimensional.....	16
Figura 7 -	Imagem do Modo M	16
Figura 8 -	(A) Doppler pulsado na via de saída do ventrículo esquerdo; (B) Doppler colorido demonstrando refluxo de válvula tricúspide.....	17
Figura 9 -	Janelas ecocardiográficas - Posição do probe do ultrassom no tórax	18
Figura 10 -	Janela paraesternal eixo longo	19
Figura 11 -	Janela paraesternal eixo curto	19
Figura 12 -	Janela apical 4-câmaras	20
Figura 13 -	Janela apical 5-câmaras.	21
Figura 14 -	Janela subcostal.....	21
Figura 15 -	Cálculo da fração de ejeção do ventrículo esquerdo pelo Modo M, método do cubo, pela janela paraesternal eixo longo.....	23
Figura 16 -	Cálculo do débito cardíaco	24
Figura 17 -	Subgrupos A1, A2, B1 e B2 - Esquema de aulas teóricas, práticas e avaliações.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - CCE nível básico - Definido pelo American College of Chest Physician.....	8
Quadro 2 - Velocidade de propagação do ultrassom nos diversos tecidos	12
Quadro 3 - Equipamentos de ecocardiograma portáteis – opções de modelos disponíveis com as modalidades ecocardiográficas e peso.	14
Quadro 4 - Conteúdo do treinamento teórico.....	39
Quadro 5 - Variáveis ecocardiográficas	42
Quadro 6 - Variáveis e janelas ecocardiográficas utilizadas nas aulas práticas e avaliações.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Porcentagem de exames e número de casos em que determinada medida não foi realizada ao longo do treinamento por incapacidade de captação da imagem.....	48
Tabela 2 -	Concordância entre aluno e cardiologista nas três etapas de avaliação	50
Tabela 3 -	Descrição das diferenças absolutas de fração de ejeção (FE) e índice cardíaco (IC) entre os alunos e o cardiologista nas três etapas de avaliação.....	52
Tabela 4 -	Análise comparativa entre quais das três avaliações houve diferença estatística pela equação múltipla de Bonferroni	53
Tabela 5 -	Resultado das comparações múltiplas de Bonferroni para as diferenças absolutas no índice cardíaco entre as três etapas de avaliação	53

RESUMO

Gonçalves HAG. *Ecocardiografia em Terapia Intensiva: Avaliação de treinamento voltado para intensivistas e emergencistas pediátricos* [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2014.

Introdução: O exame ecocardiográfico direcionado realizado por médicos intensivistas e emergencistas pode ser uma ferramenta valiosa para a avaliação e manejo do estado hemodinâmico de crianças gravemente doentes. O objetivo do presente estudo foi avaliar o aprendizado de médicos pediatras de setores de emergência submetidos a um programa de treinamento teórico e prático supervisionado em ecocardiografia de emergência. **Método:** Treinamento com componente teórico e prático foi realizado por dois ecocardiografistas experientes e teve como alvo 16 médicos intensivistas/emergencistas pediátricos. O programa incluiu análises qualitativas de função do ventrículo esquerdo (VE) e ventrículo direito (VD), avaliação de derrame pericárdio/tamponamento cardíaco, regurgitação valvar e avaliação de variação respiratória de veia cava inferior através do índice de distensibilidade da veia cava inferior (dVCI), além de medidas objetivas de fração de ejeção (FE) e índice cardíaco (IC). As aulas práticas foram realizadas na unidade de terapia intensiva pediátrica do Instituto da Criança do Hospital das Clínicas e cada aluno realizou 24 exames direcionados de ecocardiograma durante o treinamento. Os alunos foram avaliados de forma prática, sendo os resultados dos exames realizados pelos alunos comparados com os exames realizados pelo ecocardiografista experiente. As avaliações ocorreram após 8, 16 e 24 exames práticos. **Resultados:** A taxa de concordância entre o aluno e ecocardiografista na análise subjetiva da função do VE foi de 81,3% na primeira avaliação, 96,9% na segunda avaliação e 100% na terceira avaliação ($p < 0,001$). Para o dVCI, observou-se uma concordância de 46,7% na primeira avaliação, 90,3% na segunda avaliação e 87,5% na terceira avaliação ($p = 0,004$). As médias das diferenças entre os alunos e ecocardiografista na medida de fração de ejeção e índice cardíaco foram 7% e $0,56 \text{ L/min/m}^2$, respectivamente, após

a terceira etapa do treinamento. **Conclusões:** O treinamento proposto demonstrou ser suficiente para capacitar os médicos pediatras na análise de função do VE de forma subjetiva e também para as medidas objetivas de dVCI, FE e IC. Este modelo de curso pode facilitar o desenho de outros treinamentos médicos em ecocardiografia de emergência e auxiliar na implementação destes cursos de forma isolada ou inserido em programas de residência médica, gerando melhoria nas habilidades técnicas dos médicos dos setores de emergência e desta forma culminando com melhor cuidado dos pacientes criticamente enfermos.

Palavras-chave: Ecocardiografia. Unidades de terapia intensiva. Capacitação. Educação médica. Médicos. Pediatria. Crianças. Função ventricular.

SUMMARY

Gonçalves HAG. *Focused cardiac ultrasound: a training course for pediatric intensivists and emergency physicians* [thesis]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2014.

Background: Focused echocardiographic examinations performed by intensivists and emergency room physicians can be a valuable tool for diagnosing and managing the hemodynamic status of critically ill children. The aim of this study was to evaluate the learning curve achieved using a theoretical and practical training program designed to enable pediatric intensivists and emergency physicians to conduct targeted echocardiograms. **Methods:** Theoretical and practical training sessions were conducted with 16 pediatric intensivist/emergency room physicians. The program included qualitative analyses of the left ventricular (LV) and right ventricular (RV) functions, evaluation of pericardial effusion/cardiac tamponade and valvular regurgitation and measurements of the distensibility index of the inferior vena cava (dIVC), ejection fraction (EF) and cardiac index (CI). The practical training sessions were conducted in the intensive care unit; each student performed 24 echocardiograms. The students in training were evaluated in a practical manner, and the results were compared with the corresponding examinations performed by experienced echocardiographer. The evaluations occurred after 8, 16 and 24 practical examinations. **Results:** The concordance rates between the students and echocardiographers in the subjective analysis of the LV function were 81.3% at the first evaluation, 96.9% at the second evaluation and 100% at the third evaluation ($p < 0.001$). For the dIVC, we observed a concordance of 46.7% at the first evaluation, 90.3% at the second evaluation and 87.5% at the third evaluation ($p=0.004$). The means of the differences between the students' and echocardiographers' measurements of the EF and CI were 7% and 0.56 L/min/m^2 , respectively, after the third stage of training. **Conclusions:** The proposed training was demonstrated to be sufficient for enabling pediatric physicians to analyze subjective LV function and to

measure dIVC, EF and CI. This training course should facilitate the design of other echocardiography training courses that could be implemented in medical residency programs to improve these physicians' technical skills and the care of critically ill patients.

Keywords: Echocardiography. Intensive care units. Training. Medical education. Physicians. Pediatrics. Children. Ventricular function.

1 INTRODUÇÃO

Situações que levam à instabilidade hemodinâmica são frequentes em Unidades de Terapia Intensiva (UTI). O choque séptico é a principal doença em Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica (UTIP) que cursa com instabilidade hemodinâmica e apresenta elevada mortalidade (entre 2%-10%), sendo esta intimamente associada à presença de hipovolemia severa e disfunção miocárdica (Oliveira, 2010, Dellinger *et al.*, 2013). O paciente que apresenta alteração do estado hemodinâmico deve ter a função cardíaca e a condição volêmica prontamente avaliadas, sendo a monitorização hemodinâmica um ponto chave no cuidado do paciente gravemente enfermo (Pinsky, 2007; Ramsingh *et al.*, 2013).

A monitorização hemodinâmica pode ser estabelecida através de métodos invasivos e não invasivos (Vincent *et al.*, 2011). O método invasivo mais conhecido e difundido é o Cateter de Artéria Pulmonar (CAP) com medida de débito cardíaco por termodiluição (cateter de Swan-Ganz) que, desde seu desenvolvimento em 1970, se tornou parte central do manejo de pacientes adultos instáveis hemodinamicamente em UTIs (Todres *et al.*, 1979; Pollack *et al.*, 1980; Yoshizato *et al.*, 1989; Connors *et al.*, 1996, Oliveira, 2010).

No entanto, alguns estudos demonstraram que o uso do CAP para medida do débito cardíaco apresenta riscos e que os seus benefícios são questionáveis (Connors *et al.*, 1996, Squara *et al.*, 2002; Peters *et al.*, 2003). Em 1996, Connors *et al.* publicaram resultado de estudo multicêntrico com inclusão de 5.735 pacientes em

unidades de cuidados intensivos, e concluíram que pacientes monitorizados com cateter de artéria pulmonar apresentavam maior taxa de mortalidade (Connors *et al.*, 1996). Em seguida, existiram outros estudos evidenciando que a interpretação incorreta dos dados fornecidos pelo CAP pode determinar aumento da morbidade e mortalidade (Squara *et al.*, 2002; Peters *et al.*, 2003). O uso de valores de pressão de enchimento (pressão capilar pulmonar e pressão venosa central) como indicadores da resposta à fluidoterapia tem pouca utilidade e diversos trabalhos demonstram correlação pobre entre estas medidas e a resposta individual do paciente à ressuscitação fluídica (Della Rocca *et al.* 2002; Kumar *et al.* 2004; Hofer *et al.*, 2005). Estes dados somados à dificuldade técnica e riscos da implantação do dispositivo na faixa etária pediátrica fazem com que o cateter de Swan-Ganz tenha uso muito restrito nesta população (Iberti *et al.*, 1990; Pulmonary Artery Catheter Conference, 1997).

Após 10 anos da publicação de Connors *et al.* (1996), ocorreu uma conferência sobre monitorização hemodinâmica da Sociedade Europeia de Terapia Intensiva, e o documento resultante, publicado em 2007, demonstrou a necessidade da incorporação de novas ideias e tecnologias menos invasivas no âmbito da monitorização hemodinâmica (Antonelli *et al.*, 2007). Desta forma, a monitorização hemodinâmica vem sofrendo grande mudança na última década, com notável redução do uso do cateter de Swan-Ganz e grande incentivo ao uso de ferramentas não invasivas (Pinsky, 2007). Publicação recente e de título bastante interessante descreve o obituário do cateter de artéria pulmonar e reflete o real desuso do CAP que está ocorrendo nas UTIs de todo o mundo e em todas as faixas etárias (Marik, 2013).

Para pacientes adultos foram desenvolvidos métodos não invasivos de medida do Débito Cardíaco (DC), seja através de capnografia com reinalação parcial de CO₂ (NiCO[®]), através de dispositivos baseados na análise da pressão de pulso (*lithium indicator dilution calibration* [LiDCO], FloTrac/Vigileo[®] e PiCCO[®]) ou ainda através de Doppler contínuo obtido por ultrassom (Ultrasonic Cardiac Output Monitor - USCOM[®]) (Kotake *et al.*, 2003; Tachibana *et al.*, 2003; Rocco *et al.*, 2004; Gueret *et al.*, 2006; Hamzaoui *et al.*, 2008; Chong e Peyton, 2012). Os principais dispositivos estão representados na Figura 1.

Figura 1 - Principais dispositivos para medida minimamente invasiva de débito cardíaco: (A)Vigileo[®]; (B) LiDCO[®]; (C)PiCCO[®] e (D) USCOM[®] [Fonte: Imagens fornecidas pela Edwards Lifesciences, Lidco Limited, Pulsion Medical System e USCOM, respectivamente]

Os métodos de análise da pressão de pulso apresentam uma série de limitações técnicas para serem utilizados em crianças, em especial no que diz respeito aos dados incertos sobre a complacência e resistência vascular destes pacientes, que são informações cruciais para o funcionamento destes dispositivos. Por este motivo, a medida do DC pela análise da pressão de pulso não é disponível na faixa etária pediátrica e não aparece como tecnologia promissora em pacientes pediátricos (Gazit e Cooper, 2011).

A medida de DC por reinalação de CO₂ é um método que pode apenas ser utilizado em pacientes sob ventilação mecânica, com alterações pulmonares mínimas e parâmetros ventilatórios fixos e, mesmo neste grupo seletivo de pacientes, os estudos mostram resultados ruins quando comparado com medidas de DC por termodiluição ou ecodopplercardiograma (Kotake *et al.*, 2003; Tachibana *et al.*, 2003; Rocco *et al.*, 2004; Gueret *et al.*, 2006).

O USCOM[®] é um dispositivo que avalia o DC a beira leito através de medida de Doppler contínuo obtida por ultrassom. Consiste na colocação de um *probe* de ultrassom na região supraesternal, que capta a fluxo sanguíneo transaórtico e desta forma estima a Velocidade Integral Tempo (VTI) na via de saída do ventrículo esquerdo. A medida do diâmetro da aorta (que junto com o VTI são as variáveis necessárias para o cálculo do débito cardíaco) não é realizada, mas sim pré-estabelecida a partir da estatura e sexo do paciente. Este método encontra-se disponível para todas as faixas etárias, inclusive para neonatos, porém os dados da literatura ainda são controversos a respeito da sua acurácia (Chong e Peyton, 2012).

O ecocardiograma transtorácico vem ganhando crescente aceitação como ferramenta de monitorização hemodinâmica capaz de identificar causas potencialmente reversíveis de instabilidade hemodinâmica e rapidamente orientar a terapêutica (Vieillard-Baron *et al.*, 2003; Vignon, 2005). O exame apresenta-se como um método não invasivo, isento de riscos ao paciente e com elevada especificidade e sensibilidade quando realizado por ecocardiografistas a beira leito. O progresso contínuo no desenvolvimento tecnológico permitiu a criação de pequenos aparelhos portáteis de ecocardiograma, de menor custo, operado por bateria e de mais fácil manuseio. Estes equipamentos já foram previamente validados para utilização a beira

do leito em situações de emergência, inclusive na população pediátrica, o que facilitou e difundiu o uso do ecocardiograma em UTIs (Spevack *et al.*, 2003; Vignon *et al.*, 2003; Dalla Pozza *et al.*, 2010).

Uma série de estudos demonstrou o efeito positivo da realização de ecocardiograma à beira do leito no manejo de pacientes criticamente enfermos, revelando mudança na conduta clínica em 30%-60% dos casos após a realização do exame (Heidenreich, 2000; Colreavy *et al.*, 2002; Croft *et al.*, 2006; Manasia *et al.*, 2005). Desta forma, os recentes consensos e revisões de especialistas a respeito de monitorização hemodinâmica já inserem o ecocardiograma a beira leito no arsenal de opções para monitorização do paciente gravemente doente (Vincent e De Backer, 2013). Na faixa etária pediátrica existem publicações que estabelecem o ecocardiograma transtorácico como o método de escolha para medida de débito cardíaco e avaliação de função cardíaca (Mellander *et al.*, 1987; Mandelbaum-Iskem e Linderkamp, 1991) e uma recente revisão sobre monitorização hemodinâmica em pediatria enfatizou o papel do ecocardiograma transtorácico como crucial na monitorização hemodinâmica de crianças criticamente enfermas (Klugman *et al.*, 2011).

A limitação de dispositivos eficazes de monitorização hemodinâmica não invasiva, associada às crescentes publicações sobre o uso benéfico do ecocardiograma transtorácico a beira leito, a disponibilidade restrita de ecocardiografistas nas UTIs em tempo integral e a criação de aparelhos portáteis de fácil manuseio promoveram grande interesse nos médicos não ecocardiografistas (como emergencistas, intensivistas, cirurgiões e anestesistas) no aprendizado e capacitação para realização deste exame (DeCara *et al.*, 2003, Vignon, 2007, Longjohn *et al.*, 2011, Royse *et al.*, 2012, Tanzola *et al.*, 2013).

O interesse dos médicos não ecocardiografistas na realização do exame de ecocardiograma a beira do leito culminou com a execução deste exame pelos mais variados profissionais nos diversos setores do atendimento do paciente grave, de forma desordenada e não padronizada. Este fato gerou grande preocupação no meio médico e em especial nas Sociedades de Ecocardiografia, uma vez que o ecocardiograma é exame examinador dependente e que avaliações incorretas podem levar a interpretações e condutas equivocadas e desta forma gerar malefício ao paciente. Assim, algumas dúvidas rapidamente surgiram sobre este assunto. A primeira delas a respeito do conteúdo do exame de ecocardiograma a beira leito e quais seriam as análises ecocardiográficas pertinentes para serem avaliadas nas situações de emergência e a segunda, a respeito de como deve ser delineado um currículo para capacitar os médicos não ecocardiografistas na realização do ecocardiograma a beira leito (Beaulieu, 2007a e 2007b).

Os questionamentos pontuados acima geraram algumas reuniões em congressos, artigos de revisão e consensos de especialistas sobre o assunto. Em 2009, o American College of Chest Physicians, em conjunto com La Société de Réanimation de Langue Française, definiu o conteúdo do exame de ecocardiograma realizado por médicos não ecocardiografistas em situações de emergência e o nomeou de *Critical Care Echocardiography* (CCE). Neste consenso o CCE foi dividido em dois grupos: básico e avançado. O CCE básico foi definido como aquele realizado de forma direcionada e objetiva, com intuito de responder um número limitado de questões clínicas. O conhecimento necessário para realização do CCE básico foi estabelecido naquela ocasião e consiste na análise de função ventricular, variação respiratória de veia cava inferior como marcador de volemia, avaliação de refluxos valvares graves e da presença

de derrame pericárdico/tamponamento cardíaco (Quadro 1). Por outro lado, o CCE avançado é exame mais detalhado, com avaliação minuciosa de disfunção valvar e endocardite infecciosa, realização de Doppler tecidual com avaliação de disfunção ventricular diastólica, além da realização do exame de ecocardiograma transesofágico em associação ao transtorácico (Mayo *et al.*, 2009; Expert Round Table on Echocardiography in ICU, 2014).

Quadro 1 - CCE nível básico - Definido pelo American College of Chest Physician (Mayo *et al.*, 2009)

Princípios da Ecocardiografia
Função sistólica de VE e dilatação de VE
Análise de disfunção segmentar de VE
Função Sistólica de VD e dilatação de VD
Avaliação de derrame pericárdico/tamponamento
Variação respiratória e tamanho de veia cava inferior
Regurgitação valvar grave pelo Doppler

VE: ventrículo esquerdo; VD: ventrículo direito

Em 2010, a American Society of Echocardiography e o American College of Emergency Physicians publicaram um consenso sobre ecocardiograma na emergência e definiram o conceito de *Focused Cardiac Ultrasound* (FOCUS) que, de forma semelhante ao CCE básico, trata-se de exame de ecocardiograma realizado de forma direcionada por médico não ecocardiografista, com o objetivo de avaliar a função cardíaca, volemia, presença de derrame pericárdico, auxiliar na pericardiocentese e também na colocação do fio de marcapasso transvenoso (Labovitz *et al.* 2010). Desde então, os termos CCE básico e FOCUS são utilizados na literatura como sinônimos e juntos definem o conteúdo a ser avaliado no exame de ecocardiograma direcionado de emergência.

Em outubro de 2011, uma mesa redonda realizada durante o 23º Congresso Europeu de Medicina Intensiva contou com representantes das principais Sociedades de Terapia Intensiva onde debateram a respeito do papel da ultrassonografia e ecocardiografia para médicos não radiologistas/ecocardiografistas, abordando sobre o treinamento necessário para adquirir a competência em CCE/FOCUS. Nesta reunião concluiu-se, com 100% de concordância entre os especialistas, que a capacitação no exame de CCE básico deve fazer parte da formação de todo intensivista, que o programa teórico deve ser constituído por aulas expositivas, discussão de imagens e ter duração de pelo menos 10 horas. Foi ressaltada naquela ocasião a inexistência de consenso sobre o número de exames práticos necessários para o treinamento do médico intensivista (Cholley *et al.*, 2011). Mais recentemente, a Sociedade Americana de Ecocardiografia, em novo consenso publicado a respeito do FOCUS, sugeriu que o treinamento prático para capacitação de médicos não ecocardiografistas para realização do exame de ecocardiograma de emergência deve ser realizado em sua maior parte em seres humanos (ao invés de simuladores), em especial dentro de um ambiente hospitalar e em pacientes reais, na tentativa de reproduzir todas as dificuldades técnicas que ocorrerão na rotina prática destes médicos. Além disso, reforçou a dúvida a respeito da quantidade de exames práticos a serem realizados para tal capacitação (Spencer *et al.*, 2013).

As importantes sociedades médicas supracitadas definiram o conteúdo do exame de ecocardiograma de emergência a beira do leito e a dúvida sobre a melhor forma de desenvolver um currículo de treinamento para proporcionar ao médico não especialista o conhecimento e habilidade técnica para realização do exame foi tema de recentes pesquisas.

1.1 Ecocardiografia de Emergência

1.1.1 Princípio físicos da ultrassonografia e da ecocardiografia

Um som é caracterizado por vibrações (variação de pressão) no ar ou tecidos. O ser humano consegue ouvir sons na faixa de frequência que se estende de 20 Hz a 20.000 Hz aproximadamente. Acima deste intervalo, os sinais são conhecidos como ultrassons e abaixo dele, infrassons (Figura 2). Para realização do exame de ecocardiograma, as frequências utilizadas pelo equipamento são muito acima das detectadas pelo ouvido humano, variando entre 1,5 MHz - 7,5 MHz (Noble e Nelson, 2011).

Figura 2 - Espectro sonoro das diversas frequências de som [Fonte: Cavaleiro, 2006]

As ondas de ultrassom apresentam algumas características físicas básicas: ciclo, frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade de propagação (Figura 3) (Noble e Nelson, 2011).

- Ciclo: conjunto de uma compressão e uma rarefação.
- Frequência (f): representa número de ciclos de ultrassom por segundo e sua unidade de medida é o Hertz, abreviado Hz. Uma frequência de um milhão de ciclos/segundo equivale a um mega-hertz (MHz). Quanto maior a frequência menor a penetração da onda do ultrassom e o oposto é verdadeiro, por este motivo, para realização do exame em pacientes pequenos utilizam-se frequências de ultrassom mais elevadas do que as utilizadas em adolescentes e adultos.

- Amplitude: magnitude da onda - mudança em relação à linha de base. Medida em decibéis (dB).
- Comprimento de onda (γ): distância entre duas ondas adjacentes, de pico a pico de onda (medida em mm). O comprimento de onda está intimamente relacionado com a profundidade de penetração da onda. Comprimentos de onda mais curtos penetram profundidades menores que comprimentos de ondas mais longos.

Figura 3 - Características físicas das ondas de ultrassom. (A) Ciclo e frequência; (B) Amplitude [A] e (C) comprimento de onda [γ] [FONTE: Chenzbraun, 2009]

- Velocidade de propagação: é a velocidade com que a onda se propaga em determinado meio e depende de características deste meio (densidade, propriedades elásticas e temperatura) sendo diferente para cada tecido do corpo humano (Quadro 2).

Quadro 2 - Velocidade de propagação do ultrassom nos diversos tecidos

Tecido	Velocidade (m/s)
Pulmão	600
Gordura	1460
Fígado	1555
Sangue	1560
Rim	1565
Músculo	1600
Osso	4080

Fonte: Szejnfeld e Filho (1984)

A imagem ecocardiográfica é gerada pela propriedade de cristais, localizados no transdutor do ecocardiograma, de transformar a oscilação mecânica (som) em variação elétrica. Este fenômeno é chamado de efeito piezoelétrico. As ondas de ultrassom interagem com os tecidos de quatro maneiras distintas: reflexão, dispersão, refração e atenuação. O resultado desta interação é captado pelo transdutor (cristal piezoelétrico) e de acordo com sua intensidade, velocidade e duração é transformado em imagem ultrassonográfica/ecocardiográfica (Otto, 2009).

- **Reflexão** é a base da imagem ultrassonográfica. Ela representa o feixe de onda que retorna após o contato com o novo meio e é maior quanto mais perpendicular o feixe de ultrassom for da interface (Figura 4). O feixe de onda refletido é captado pelo transdutor e gera a imagem ultrassonográfica.
- **Refração** é desvio da onda após atravessar o meio (Figura 4).

Figura 4 - Reflexão e refração

- **Dispersão** ocorre após contato do som com pequenas estruturas, como as hemácias e consiste em dispersão da energia em todas as direções, de tal forma que apenas uma pequena quantidade do sinal disperso atinge o cristal do transdutor. A dispersão do ultrassom através das hemácias em movimento é a base utilizada para gerar sinais de Doppler.
- **Atenuação** é a perda da força do sinal de ultrassom na medida em que interage com os tecidos. Os tecidos possuem diferentes coeficientes de atenuação.

1.1.2 Equipamentos de ecocardiograma

Os equipamentos de ecocardiograma são tradicionalmente grandes, pesados (acima de 100 kg), de difícil manipulação e de elevado custo (entre US\$ 200.000 e US\$ 400.000) o que limita o seu uso para realização de exames a beira no leito em unidades de terapia intensiva e emergência (Kimura e DeMaria, 2005).

Nos últimos 20 anos, os equipamentos de ultrassonografia/ecocardiografia sofreram avanços tecnológicos que permitiram a idealização de aparelhos portáteis, leves e de mais fácil manipulação. O ideal de um equipamento portátil de ecocardiografia foi concretizado, em 1978, por Roelandt *et al.*, responsável por introduzir o primeiro equipamento portátil de ecocardiograma na prática clínica (Minivisor, Organon Teknika). Esta experiência fez com que o potencial impacto clínico do uso do ecocardiograma portátil fosse reconhecido e incentivou a indústria a criar diversos equipamentos portáteis de ecocardiograma.

Desta forma, foi desenvolvida uma grande gama de modelos de equipamentos portáteis, que pesam em torno de 3 kg, possuem o tamanho de um notebook e variam

de custo (entre U\$ 20.000 a U\$ 80.000) e de qualidade de acordo com fabricante e modelo, mas de uma forma geral realizam imagem pelos modos M, bidimensional e Doppler e possuem resolução adequada o suficiente para avaliação ecocardiográfica a beira leito, sendo seu uso com esta finalidade já validado em diversos estudos (Kimura e DeMaria, 2005; Dalen *et al.*, 2013) (Figura 5, Quadro 3).

Figura 5 - Modelos de equipamentos de ecocardiograma. (A) Plataforma tradicional de ecocardiograma; (B) Equipamento portátil utilizado para exames a beira leito; (C) equipamento de “bolso” para avaliações rápidas [FONTE: Imagens fornecidas pela GE Healthcare]

Quadro 3 - Equipamentos de ecocardiograma portáteis – opções de modelos disponíveis com as modalidades ecocardiográficas e peso. 2D - bidimensional; M - Modo M; DC - Doppler a cores; DE - Doppler espectral (pulsado e contínuo)

Modelo (Fabricante)	Modo	Peso (kg)
Tringa 50S (Esaote)	2D/M	1,0
Ilook 15 (Sonosite)	2D	1,5
SonoHeart Elite (Sonosite)	2D/M/DC/DE	2,5
Optigo (Philips Technologies)	2D/DC	3,0
Terason 2000 (Teratech)	2D/M/DC/DE	3,5
MicroMaxx (Sonosite)	2D/M/DC/DE	3,5
M-Turbo (Sonosite)	2D/M/DC/DE	3,5
Vivid (GE Healthcare)	2D/M/DC/DE	4,5

FONTE: Adaptado de Kimura e DeMaria (2005)

Nos últimos cinco anos vêm sendo desenvolvidos equipamentos ecocardiográficos ainda menores, chamados de *pocket* ultrassom ou ainda de “ecocardioscópio” em analogia ao estetoscópio, equipamento consagrado na medicina para propedêutica cardíaca. Estes equipamentos pesam menos de 0,5 kg e foram idealizados para permitir ao médico ter o aparelho sempre disponível, podendo ser utilizado de forma rápida com a finalidade de complementar o exame físico habitualmente realizado. A qualidade da imagem destes equipamentos está sendo avaliada em alguns estudos, mas algumas publicações já reforçam a boa qualidade da imagem e utilidade prática (De Backer e Fagnoul, 2012; Bials *et al.*, 2012) (Figura 5).

1.1.3 Modalidades de imagem ecocardiográficas

Três modos ecocardiográficos são utilizados rotineiramente na prática clínica: modo bidimensional, modo M (*Motion*) e o Doppler (nas suas três modalidades - contínuo, pulsado e cores) (Perera *et al.*, 2014).

O modo bidimensional fornece uma fotografia no tempo de diversos cortes do coração, a depender da posição no tórax em que o transdutor é posicionado. O sinal de ultrassom sai do transdutor e faz uma varredura de toda uma área triangular imediatamente abaixo do mesmo. Estas imagens são produzidas de forma rápida e sequencial na tela do equipamento, gerando uma imagem contínua e em tempo real do coração, com suas câmaras, vasos e válvulas (Otto, 2009, Perera *et al.*, 2014) (Figura 6).

Figura 6 - Imagem pelo modo bidimensional. AD - Átrio D; AE - Átrio E; VD - Ventrículo D e VE - Ventrículo E. A seta indica o local onde o transdutor está posicionado, emitindo e captando o sinal do ultrassom. As linhas brancas demonstram a área triangular abaixo do transdutor que recebem os feixes ultrassonográficos

O modo M é produzido através da transmissão e recepção do sinal de ultrassom em uma única linha, o que proporciona maior sensibilidade (maior que o modo bidimensional) para análise de estruturas em movimento naquela linha específica (ex: abertura e fechamento valvar e movimentação da parede ventricular) (Otto, 2009, Perera *et al.*, 2014) (Figura 7).

Figura 7 - Imagem do Modo M (abaixo) na qual apenas a linha definida na imagem bidimensional (acima) é avaliada ao longo do tempo

O efeito Doppler, descrito pelo físico austríaco Johann Doppler, é uma característica observada nas ondas que são dispersas por um objeto que está em movimento. Na ecocardiografia, o objeto que está em movimento e promove a dispersão das ondas sonoras emitidas pelo transdutor é a hemácia. Através do movimento das hemácias pode ser registrado o sinal do Doppler, que pode ser analisado a partir de três modalidades: o Doppler pulsado, o Doppler contínuo e o Doppler colorido (Otto, 2009, Perera *et al.*, 2014).

O Doppler pulsado analisa a velocidade do fluxo sanguíneo em um determinado ponto específico do coração, com um espectro de velocidade limitado (Figura 8A). O Doppler contínuo analisa o somatório das velocidades de todos os fluxos em uma determinada faixa do coração onde é posicionado o cursor, e permite registrar o fluxo em altas velocidades. O Doppler colorido ou Mapeamento de fluxo a cores analisa o fluxo sanguíneo e suas direções e as cores determinam a direção do fluxo de sangue dentro das cavidades cardíacas, definindo se o fluxo se aproxima (cor vermelha) ou se afasta (cor azul) do transdutor (Chenzbraun, 2009, Perera *et al.*, 2014) (Figura 8B).

Figura 8 - (A) Doppler pulsado na via de saída do ventrículo esquerdo; (B) Doppler colorido demonstrando refluxo de válvula tricúspide (cor azul representa fluxo de sangue se afastando do transdutor)

1.1.4 Janelas ecocardiográficas

Existem posições padronizadas na parede torácica para a colocação do transdutor de ecocardiograma objetivando boa penetração do feixe de ultrassom até o coração sem alteração da condução do mesmo pelo pulmão e costelas. Estas posições são chamadas de janelas ecocardiográficas. Para a realização do ecocardiograma de emergência é preconizada a avaliação através de três janelas: paraesternal, apical e subcostal (Figura 9). Além da posição pré-estabelecida do transdutor em relação ao tórax do paciente existe também a padronização da posição direcional do transdutor de acordo com uma marca existente em um dos quatros lados do transdutor (Kaddoura, 2009, Perera *et al*, 2014) (Figuras 10, 11 e 12).

Figura 9 - Janelas ecocardiográficas - Posição do *probe* do ultrassom no tórax. (A) Janela paraesternal; (B) Janela subcostal e (C) Janela apical [FONTE: Adaptado de Guimarães *et al.* (2004)]

Janela paraesternal é composta por dois eixos, o longo e o curto. No paraesternal eixo longo o transdutor é colocado na região paraesternal esquerda, com a marca do transdutor voltada para o ombro direito do paciente, ao nível do terceiro e quinto espaços intercostais. Nesta posição se faz um corte longitudinal do coração permitindo a visualização do átrio esquerdo, valva mitral, ventrículo esquerdo e a via de saída do ventrículo esquerdo (Figura 10). Na janela paraesternal eixo curto o

transdutor é mantido na mesma localização do paraesternal eixo longo e rodado 90° no sentido horário para que a marca do *probe* fique voltada para o ombro esquerdo do paciente. Desta forma, realiza-se um corte transversal de ventrículo esquerdo e direito e mudando-se a angulação do transdutor é possível realizar este corte em diferentes alturas: ao nível da mitral, ao nível dos músculos papilares e ao nível do ápice cardíaco (Figura 11) (Kaddoura, 2009, Otto, 2009).

Figura 10 - Janela paraesternal eixo longo. (A) Posicionamento do transdutor longitudinalmente ao coração, com a marca do transdutor [○] voltada para o ombro D, na altura do 3º ao 5º espaços intercostais; (B) Imagem anatômica e (C) Imagem ecocardiográfica da imagem obtida no paraesternal eixo longo. Átrio esquerdo [AE], ventrículo esquerdo [VE], aorta [Ao] e ventrículo direito acima [VD] [FONTE: Imagens C adaptada de Solomon (2009)]

Figura 11 - Janela paraesternal eixo curto - A - transdutor com marca (○) orientada para ombro esquerdo do paciente fazendo um corte transversal na altura dos ventrículos; B- imagem anatômica de ambos os ventrículos cortados transversalmente ao nível dos músculos papilares e C - imagem ecocardiográfica. VD: ventrículo direito, VE: ventrículo esquerdo [FONTE: Imagem C adaptada de Solomon (2009)]

Na janela apical realizam-se duas importantes imagens ecocardiográficas, as imagens de 4-câmaras e 5-câmaras cardíacas. Para janela apical 4-câmaras o transdutor é posicionado no ápice cardíaco, com a marca voltada para o lado esquerdo do paciente e o feixe do ultrassom direcionado ao ombro direito do paciente. Permite um corte longitudinal para visualização dos dois átrios e dos dois ventrículos (Figura 12) (Kaddoura, 2009, Otto, 2009).

Figura 12 - Janela apical 4-câmaras. (A) posicionamento do transdutor no ápice cardíaco com a marca voltada para o lado esquerdo do paciente [○]; (B) imagem anatômica das 4-câmaras cardíacas e (C) imagem ecocardiográfica. AD: átrio direito, AE: átrio esquerdo, BM: banda moderadora, VD: ventrículo direito, VE: ventrículo esquerdo [FONTE: Imagem C adaptada de Solomon (2009)]

Ainda na janela apical, alterando-se a angulação do transdutor para baixo, tornando o feixe de ultrassom mais superficial, obtêm-se a imagem da aorta saindo do ventrículo esquerdo, que juntamente com os dois átrios e dois ventrículos forma a chamada imagem apical 5-câmaras (Figura 13) (Kaddoura, 2009, Otto, 2009).

Figura 13 - Janela apical 5-câmaras. AD: átrio direito, AE: átrio esquerdo, Ao: aorta, IVS: septo interventricular, VD: ventrículo direito, VE: ventrículo esquerdo. [FONTE: Imagem adaptada da Asociación Española de Imagen Cardíaca (http://www.ecocardio.com/rincon_tecnico/apical_5_camaras.asp)].

A terceira janela ecocardiográfica obtida no ecocardiograma de emergência é a janela subcostal. Ela se divide em subcostal 4-câmaras e subcostal veia cava inferior. Em ambas o transdutor é colocado abaixo do apêndice xifoide. Sendo que a marca do transdutor deve ser posicionada para esquerda do paciente para obtenção da imagem das 4-câmaras cardíacas, e posteriormente o transdutor é rodado 90° em sentido anti-horário para posicionamento de sua marca em direção à cabeça do paciente, proporcionando a visualização longitudinal da veia cava inferior (Figura 14) (Kaddoura, 2009, Otto, 2009).

Figura 14 - Janela subcostal. (A) transdutor posicionado abaixo do apêndice xifoide com a marca para o lado esquerdo do paciente [○] para obtenção do subcostal 4-câmaras; (B) imagem das 4-câmaras cardíacas pela janela subcostal e (C) imagem longitudinal da veia cava inferior [VCI] obtida quando se direciona a marca do transdutor para direção cefálica do paciente. AD: átrio direito, AE: átrio esquerdo, VD: ventrículo direito, VH: veia hepática, VE: ventrículo esquerdo. [FONTE: Imagens B e C adaptadas de Solomon (2009)]

1.1.5 Avaliações ecocardiográficas

As principais avaliações ecocardiográficas pertinentes ao ecocardiograma básico de emergência são:

- Avaliação da função sistólica de ventrículo esquerdo;
- Avaliação da volemia/resposta a ressuscitação volêmica; e,
- Análise de derrame pericárdico/tamponamento cardíaco.

A função sistólica de ventrículo esquerdo pode ser realizada de forma subjetiva ou por meio de medidas objetivas.

Subjetiva: a análise da função sistólica de ventrículo esquerdo de forma subjetiva consiste na impressão visual do examinador a respeito da função contrátil do miocárdio. Apesar de estar sujeita a variações intra e inter-observador, existem estudos demonstrando que a avaliação subjetiva da função de VE tem correlação linear com o método padrão ouro (ventriculografia) (Van Royen *et al.*, 1996) e com outros métodos objetivos consagrados de medida de FE (Gudmundsson *et al.*, 2005). É o método que atualmente mais vem sendo utilizado nos treinamentos de médicos não ecocardiografistas para realização do exame em situações de emergência (Unluer *et al.*, 2014). A função de VE pode subjetivamente ser classificada em normal ou deprimida de grau leve, moderado ou grave.

Objetiva: consiste na medida de fração de ejeção do ventrículo esquerdo e medida de débito/índice cardíaco.

A fração de ejeção (FE) do VE pode ser realizada através do modo M ou do modo bidimensional. O cálculo da FE pelo modo M é o mais utilizado na prática clínica e consiste na medida dos diâmetros sistólico e diastólico de ventrículo esquerdo na janela paraesternal eixo longo ou curto, sendo que a divisão da diferença

destes diâmetros (diâmetro diastólico – diâmetro sistólico) pelo diâmetro diastólico de VE correspondente a Fração de Encurtamento ($\Delta D\%$). Para o cálculo da fração de ejeção parte-se do pressuposto que o ventrículo possui um formato cilíndrico e utiliza-se no lugar dos diâmetros a diferença entre os volumes sistólicos e diastólicos de VE, que são calculados, e não medidos, elevando-se ao cubo os valores dos diâmetros (volume = diâmetro³) e por este motivo recebe o nome de método do cubo (Schiller *et al.*, 1989).

Figura 15 - Cálculo da fração de ejeção do ventrículo esquerdo pelo Modo M, método do cubo, pela janela paraesternal eixo longo. DDVE: diâmetro diastólico do VE; DSVE: diâmetro sistólico do VE; VDVE: volume diastólico do VE; VSVE: volume sistólico do VE [FONTE: Adaptado de Otto (2009)]

O cálculo da FE pelo modo bidimensional (método de Simpson) requer o traçado manual de toda a borda endocárdica na sístole e na diástole, sendo indispensável uma adequada qualidade de imagem para sua mensuração e ainda assim é mais sujeito a imprecisão na medida. Por este motivo não é método preconizado para médicos não ecocardiografistas.

O débito cardíaco é estimado através da medida do volume sistólico do VE multiplicado pela frequência cardíaca. O volume sistólico, ou seja, volume ejetado a cada sístole através da aorta é calculado através do produto da medida do diâmetro da raiz da aorta (DVSVE – diâmetro da via de saída de ventrículo esquerdo) e da integral da velocidade-tempo do fluxo sanguíneo pela aorta (Calafiore e Stewart, 1990). A avaliação do DVSVE é realizada no plano paraesternal eixo longo e a do VTI aórtico no plano apical 5-câmaras. O DVSVE é medido na raiz da aorta, no local de inserção das cúspides da válvula aórtica, durante a mesossístole. O VTI é calculado através da curva de Doppler pulsado do fluxo ejetado pela aorta (Figura 16).

Figura 16 - Cálculo do débito cardíaco: medida do diâmetro da via de saída de VE (DVSVE) pelo paraesternal eixo longo e uso do Doppler pulsado para medida do VTI aórtico. DC - débito cardíaco; FC - frequência cardíaca; VS - volume sistólico; VTI: velocidade integral tempo aórtica [FONTE: Adaptado de Otto (2009)]

A principal forma de avaliação de volemia através do ecocardiograma é realizada pela análise do diâmetro da veia cava inferior. Porém, a análise estática do diâmetro da VCI apresenta correlação ruim com a resposta individual do paciente à ressuscitação volêmica, em especial em pacientes pediátricos onde o diâmetro da VCI está relacionado a dados pondero-estaturais da criança (Haines *et al.*, 2012). A variação respiratória do diâmetro da veia cava inferior é o método mais usado para

avaliar a resposta volêmica pelo ecocardiograma. O racional para seu uso é o de que quanto mais hipovolêmico o paciente se apresentar, maior será a repercussão da ventilação com pressão positiva no retorno venoso e consequentemente maior será a variação respiratória do diâmetro da VCI. Ecocardiograficamente consiste na análise da variação do diâmetro da VCI com a respiração (inspiração e expiração), pelo modo M e/ou bidimensional, através da janela subcostal.

Existem diversos índices (fórmulas) descritos para avaliar a variação de VCI e tentar correlacioná-la com a responsividade aos fluidos do paciente. Em 2004, Feissel *et al.* avaliaram a relação entre variação respiratória de VCI e fluido responsividade de 39 pacientes com choque séptico em ventilação mecânica. Os autores descreveram um índice nomeado como índice de variação respiratória de VCI (Δ DIVC) que pode ser calculado através da seguinte fórmula: diâmetro máximo de VCI – diâmetro mínimo de VCI/média dos diâmetros. Naquela ocasião, os autores demonstraram uma correlação linear entre o Δ DIVC e a capacidade do indivíduo de aumentar o débito cardíaco frente à infusão de volume, e encontraram como melhor ponto de corte para prever fluido responsividade o Δ DIVC de 12%, com valor preditivo positivo de 93% e negativo de 92%. No mesmo ano, Barbier *et al.* publicaram um estudo com desenho bastante semelhante ao realizado por Feissel *et al.* (2004) e descreveram outro índice relacionado à variação respiratória da VCI, intitulado de índice de distensibilidade de VCI (dVCI), e calculado através da seguinte fórmula: índice distensibilidade de VCI (dVCI) = diâmetro máximo da VCI – diâmetro mínimo da VCI/diâmetro mínimo da VCI. Barbier *et al.* (2004) demonstraram forte correlação ($r=0,9$) entre dVCI e fluido responsividade quando “cutoff” de 18% foi utilizado. De forma similar ao Δ DIVC, o dVCI foi capaz de

discriminar, com sensibilidade e especificidade acima de 90%, os indivíduos volume-responsivos (dVCI maior que 18%) daqueles não volume-responsivos (dVCI menor de 18%). Desde então a variação respiratória de VCI vem sendo utilizado na prática clínica como ferramenta não invasiva capaz de prever a resposta volêmica do paciente. É relevante o fato de que ambos os estudos foram realizados em pacientes sob ventilação mecânica, e que os dados a respeito do uso da variação respiratória de VCI em pacientes em respiração espontânea ainda são controversos, não podendo até o presente momento a avaliação da variação respiratória da VCI ser extrapolada para pacientes em respiração espontânea (Muller *et al.*, 2012). Não existem trabalhos semelhantes na população pediátrica.

O derrame pericárdico é reconhecido ecocardiograficamente como um espaço ecolucente adjacente as estruturas cardíacas. Pode ser visualizado tanto no plano paraesternal quanto no plano apical e subcostal. Usualmente são difusos e promovem clara separação entre os pericárdios parietal e visceral. O derrame é considerado pequeno quando a separação entre o coração e o pericárdio visceral é $< 0,5$ cm, moderado quando mede entre 0,5 cm e 2 cm e grande quando ultrapassa 2 cm (Otto, 2009).

O tamponamento cardíaco é uma situação emergencial e sabidamente de diagnóstico clínico, porém depende invariavelmente da presença de derrame pericárdico para seu estabelecimento. A ocorrência de tamponamento não depende do volume de líquido presente no saco pericárdico, mas sim da relação entre volume e tempo de instalação do DP, associado a uma maior ou menor complacência pericárdica (Tsang e Seward, 1999; Tsang *et al.*, 2000). O tamponamento cardíaco ocorre quando a pressão pericárdica suplanta a pressão intracavitária, resultando em redução do enchimento cardíaco e consequentemente do débito cardíaco. Pode ser sugerido

ecocardiograficamente através de uma série de alterações fisiopatológicas que ocorrem em decorrência do aumento da pressão intrapericárdica e culminam com o sofrimento das câmaras cardíacas de paredes mais finas e menor pressão (átrio direito e ventrículo direito), gerando inversão de suas paredes durante seu período diastólico. Assim, são alterações ecocardiográficas sugestivas de tamponamento cardíaco: colapso (inversão da parede) diastólico do AD, colapso diastólico do VD e presença de dilatação da VCI sem variação respiratória da mesma (chamado de pletora de VCI) (Goodman *et al.*, 2012). O ecocardiograma a beira leito têm papel importante em identificar a presença do derrame pericárdico em caso de suspeita de tamponamento cardíaco e principalmente em funcionar como guia para realização da pericardiocentese, uma vez que as complicações da pericardiocentese guiada por ecocardiograma são muito reduzidas em relação ao procedimento realizado às cegas (Salem *et al.*, 1999; Gudmundsson *et al.*, 2005; Degirmencioglu *et al.*, 2013).

1.2 Treinamento de Médicos Não Ecocardiografistas - Revisão da Literatura

Existem estudos demonstrando que curtos treinamentos realizados em pacientes de setores de emergência, com duração de até 12 horas, são suficientes para capacitar o médico não especialista a realizar algumas avaliações ecocardiográficas específicas em pacientes adultos (Randazzo *et al.*, 2003; DeCara *et al.*, 2003; Pershad *et al.*, 2004; Manasia *et al.*, 2005; Spurney *et al.*, 2005; Vignon *et al.*, 2007; Melamed *et al.*, 2009; Vignon *et al.*, 2011; Longjohn *et al.*, 2011; Royse *et al.*, 2012; Caronia *et al.*, 2013; Tanzola *et al.* 2013).

Randazzo *et al.* (2003) realizaram treinamento de quatro médicos emergencistas através de três horas de aulas teóricas, discussão de imagens e cinco exames supervisionados em pacientes do setor de emergência. O treinamento enfatizou avaliação subjetiva de função de VE e estimativa de volemia através de variação respiratória do diâmetro de VCI. Os autores demonstraram elevada concordância na diferenciação de função de VE normal da função reduzida nos exames realizados pelos emergencistas em treinamento e pelos ecocardiografistas (92%), sendo a concordância em relação à avaliação de variação de VCI menos expressiva.

Estudo realizado na Universidade de Chicago, por DeCara *et al.* (2003), procedeu ao treinamento de três residentes de clínica médica através de 20 horas de aulas didáticas e realização de 20 exames ecocardiográficos sob supervisão do ecocardiografista. Em seguida, 149 pacientes com exames agendados ambulatorialmente foram avaliados por um dos médicos em treinamento e em seguida por um dos três ecocardiografistas do setor. O treinamento em questão não foi focado para alterações ecocardiográficas pertinentes as situações de emergência, mas sim direcionado a diversas patologias cardíológicas como insuficiência/estenose valvares, hipertrofia e/ou dilatação de câmaras, presença de comunicações interatriais/interventriculares, disfunção segmentar contrátil e endocardite infecciosa. Os autores demonstraram que a sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e negativo do exame foi semelhante quando realizado pelo ecocardiografista e pelo médico em treinamento.

Manasia *et al.* (2005) analisaram a concordância da qualidade de imagem e de medidas ecocardiográficas relacionadas à volemia e função do ventrículo esquerdo entre ecocardiogramas realizados por seis intensivistas e por ecocardiografistas experientes no método. Os intensivistas foram submetidos a um treinamento teórico-

prático, com duração de 10 horas, porém a composição do treinamento não foi especificada. Foram realizados exames em 90 pacientes e os resultados revelaram que os intensivistas obtiveram imagens ecocardiográficas satisfatórias em 94% dos casos e interpretação diagnóstica correta em 84% dos casos, com influência imediata da conduta terapêutica a ser seguida em 37% dos pacientes. Os autores concluíram que após breve treinamento os intensivistas foram capazes de obter imagens adequadas e avaliar corretamente a função ventricular esquerda e o estado volêmico de pacientes gravemente enfermos, e que essa análise alterou a conduta em significativa parte dos casos analisados.

Em estudo publicado na Revista *Chest*, em 2009, Melamed *et al.* analisaram a concordância do resultado de exames ecocardiográficos realizados por quatro intensivistas após treinamento de seis horas (duas horas de treinamento teórico e quatro horas de treinamento prático) com aqueles realizados por ecocardiografistas. Foram avaliados 44 pacientes especificamente quanto à análise subjetiva de função ventricular esquerda e os resultados mostraram que os intensivistas foram capazes de diferenciar a função ventricular esquerda normal da alterada em 86% dos pacientes, com valor preditivo positivo de 89% e negativo de 85%, ($p < 0,001$). Quando avaliado o grau da disfunção ventricular esquerda em leve/moderada ou grave os intensivistas foram capazes de classificar corretamente 82% dos casos.

De forma similar, Vignon *et al.* (2007) demonstraram que quatro médicos residentes após treinamento de oito horas (três horas de curso teórico e cinco horas de curso prático) foram capazes de diferenciar função ventricular esquerda normal de comprometida em 88% dos pacientes de UTI clínico-cirúrgica, tendo a interpretação do ecocardiografista experiente como referência.

Em 2011, Vignon *et al.* avaliaram pela primeira vez a capacitação de médicos não intensivistas no currículo proposto como CCE básico. A análise de regurgitação valvar não foi realizada por problemas com o método Doppler do equipamento. O estudo consistiu no treinamento de seis médicos não cardiologistas (cinco anestesistas e um pneumologista), por meio de quatro horas de aulas teóricas, duas horas de discussão de casos clínicos interativos e seis horas de aulas práticas, onde cada aluno realizou entre 10 a 12 exames práticos de treinamento. Em seguida, foram avaliados 201 pacientes pelos médicos recém-treinados e por intensivistas experientes em ecocardiografia e os resultados demonstraram que os intensivistas experientes realizaram o exame de forma mais rápida, com melhor obtenção da imagem e menor número de questões clínicas não resolvidas. Quando comparados os dados obtidos pelos alunos com os adquiridos pelos intensivistas experientes observou-se classificação incorreta na análise subjetiva da função ventricular esquerda em apenas 8% dos casos. Os alunos identificaram, de forma adequada, a presença de dilatação de veia cava inferior (k 0,79), mas subestimaram a sua variação respiratória (k 0,66). A presença de derrame pericárdico ocorreu de forma mais frequente nos exames realizados pelo intensivista experiente, porém os alunos foram capazes de detectar de forma correta os dois casos de tamponamento pericárdico. Os autores concluíram que o treinamento proposto foi adequado para capacitar o médico não ecocardiografista na realização do CCE básico.

Em 2013, Caronia *et al.*, treinaram sete médicos residentes através de cinco horas de aulas didáticas e três horas de exames práticos supervisionados (cinco exames práticos/residente) seguindo o conteúdo proposto como CCE básico, porém excluíram avaliações da veia cava inferior para estimativa de volemia e incluíram a

medida objetiva da fração de ejeção. Após o treinamento inicial foi realizado um total de 102 exames, sendo o número muito variado de exames ecocardiográficos realizados por cada residente (de cinco a 31 exames/residente) e o resultado destes exames foi comparado com o do ecocardiografista experiente. O estudo demonstrou boa correlação na avaliação realizada pelo médico residente para medida de fração de ejeção e identificação de derrame pericárdico, com concordância moderada para disfunção valvar e ruim para disfunção de ventrículo direito. Os autores discutem que seus resultados foram menos acurados quanto comparados ao estudo de Vignon *et al.* (2011) e sugere que o ocorrido seja atribuído ao fato do seu treinamento ter sido mais curto se comparado ao dos outros autores.

Royse *et al.* (2012) treinaram 100 médicos através de apresentações multimídia e aulas práticas em voluntários saudáveis, sem a realização de exames em pacientes reais. A avaliação dos alunos foi realizada também através da análise de vídeos e demonstrou taxas de acerto dos alunos em 95% das questões sobre avaliação da volemia e 99% sobre análise da função ventricular esquerda. Recentemente, Tanzola *et al.* (2013) executaram o treinamento de 10 residentes de anestesiologia através de sessões teóricas e *hands-on* sessão usando indivíduos normais. O treinamento incluiu análises subjetivas de função de VD e VE, a avaliação de volemia e pericárdio e as avaliações dos alunos foram realizadas de forma teórica por meio de 50 perguntas e de múltipla escolha. Os resultados foram apresentados como positivos, com melhora na pontuação do pós-teste em relação ao pré-teste, mas não existiu nenhuma avaliação prática do aprendizado. O exame do paciente in loco na UTI apresenta dificuldades técnicas relacionadas com a captura de imagens ecocardiográficas, devido a fatores relacionados especificamente com pacientes

críticos, tais como presença de edemas, uso de ventilação mecânica, mobilidade reduzida com dificuldade no posicionamento do paciente para o exame, etc.; estas questões não foram consideradas nestes dois estudos acima mencionados.

Na faixa etária pediátrica os dados são escassos. Spurney *et al.* (2005) demonstraram que, após uma hora de treinamento teórico e duas horas de treinamento prático a beira leito, intensivistas e médicos residentes em terapia intensiva pediátrica foram capazes de identificar corretamente a presença de derrame pericárdico em 91% dos 23 crianças avaliadas e classificar subjetivamente a função de ventrículo esquerdo de forma adequada em 96% delas. Os autores não discriminam o número de médicos treinados, assim como não forneceram detalhes a respeito do treinamento realizado.

Estudo realizado por Pershad *et al.* (2004) avaliaram a acurácia e qualidade do exame realizado por ecocardiografista *versus* não ecocardiografista, sendo o último um único médico emergencista pediátrico com conhecimento prévio em ultrassonografia que foi treinado com três horas de aulas práticas, onde realizou cinco exames em pacientes aleatórios, além de oito horas de aulas teóricas. Este estudo avaliou 31 crianças e demonstrou diferença média na medida de fração de encurtamento de ventrículo esquerdo de 4,4%, quanto comparado o ecocardiografista com o médico em treinamento. Em relação ao diâmetro de veia cava inferior houve boa concordância entre os examinadores ($r = 0,8$), com diferença média de 0,068 mm, não sendo esta diferença estatisticamente significativa ($p = 0,14$).

Longjohn *et al.* (2011) avaliaram o exame de ecocardiograma de emergência realizado por dois médicos emergencistas pediátricos, com conhecimento prévio de ultrassonografia abdominal (mais de 50 exames abdominais realizados), submetidos

a duas horas de treinamento teórico em ecocardiografia, 10 exames em voluntários saudáveis e cinco exames práticos em pacientes pediátricos e demonstraram boa concordância entre ecocardiografista e emergencista nas três variáveis avaliadas (derrame pericárdico, avaliação subjetiva da função de ventrículo esquerdo e colapsabilidade de veia cava inferior).

Atualmente é aceito o conceito de que o médico não ecocardiografista pode ser capaz de realizar avaliações ecocardiográficas no paciente criticamente enfermo, com intuito de orientar e guiar a terapêutica de emergência. No entanto, os estudos sobre o assunto apresentam metodologia heterogênea, em especial no que diz respeito ao conhecimento prévio do aluno em ultrassonografia, ao tipo de paciente avaliado (voluntário saudável vs. paciente real), à duração do treinamento, ao número de exames práticos realizados, às janelas e variáveis ecocardiográficas avaliadas e presença/ausência de supervisão do especialista durante o treinamento, de tal forma que juntos são insuficientes para delinear um currículo de treinamento possível de ser inserido na capacitação e formação dos médicos não ecocardiografistas.

2 OBJETIVOS

a) Avaliar a eficácia do treinamento teórico-prático para habilitar médicos intensivistas e emergencistas pediátricos na execução das análises ecocardiográficas propostas como nível básico de ecocardiografia de emergência pelo American College of Chest Physicians/ La Société de Réanimation de Langue Française.

b) Avaliar a eficácia do treinamento teórico-prático de médicos intensivistas e emergencistas pediátricos para realização de medidas objetivas de função de ventrículo esquerdo (fração de ejeção e índice cardíaco).

c) Avaliar a aquisição de conhecimento ao longo do treinamento e desta forma avaliar qual o número necessário de exames práticos supervisionados para a capacitação do médico emergencista e intensivista pediátrico na realização do nível básico de ecocardiografia de emergência e das medidas objetivas de função de ventrículo esquerdo.

3 MÉTODOS

3.1 Seleção dos Participantes

O treinamento foi ministrado por dois ecocardiografistas pediátricos experientes, graduados como nível avançado de competência de acordo com a Sociedade Americana de Ecocardiografia (Lai *et al.*, 2006).

Para o cálculo amostral utilizamos a variável índice cardíaco (pela relevância clínica) e com confiança de 95% e poder de 80%, esperando redução da diferença entre a medida do índice cardíaco realizada pelo aluno e pelo ecocardiografista de pelo menos $1\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$, o cálculo revelou serem necessários 16 avaliações em cada uma das três etapas de avaliação. Baseado neste cálculo, optamos por realizar o treinamento de um total de 16 alunos, atingindo 16 avaliações totalmente independentes em cada uma das três etapas de avaliação. Participaram do treinamento dezesseis médicos emergencistas e/ou intensivistas pediátricos/neonatais.

O grupo de indivíduos participantes do treinamento como aluno foi recrutado dentre os médicos assistentes das unidades de emergência, terapia intensiva pediátrica e terapia intensiva neonatal do Instituto da Criança. Foram considerados aptos os médicos assistentes vinculados a estes setores de emergência, que apresentassem interesse e disponibilidade para cumprimento do cronograma do treinamento integralmente e que não possuíssem nenhum conhecimento prévio em ultrassonografia e ecocardiografia. Vinte médicos preenchiem os critérios de seleção e por este motivo foi realizado sorteio para escolha dos dezesseis participantes finais. O grupo final de 16

alunos foi composto por 10 médicos pediatras intensivistas, dois emergencistas e quatro neonatologistas, sendo dois deles do sexo masculino e 14 do sexo feminino, com mediana de idade de 33 anos (28 a 50 anos). O tempo médio de formação médica dos participantes foi de 13 anos (seis a 26 anos) e dentre os 16 alunos, dois possuíam pós-graduação nível mestrado e um nível doutorado. Não existiu a participação de médicos residentes. Os médicos participantes assinaram termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo A).

3.2 Cronograma e Conteúdo do Treinamento

O treinamento completo teve duração de seis meses, sendo subdividido em dois módulos, designados de módulo A e B, com duração de três meses/módulo. Cada módulo contou com participação de um ecocardiografista e oito alunos. O treinamento foi composto por aulas teóricas e aulas práticas (Figura 17).

Figura 17 - Subgrupos A1, A2, B1 e B2 - Esquema de aulas teóricas, práticas e avaliações.

3.2.1 Treinamento teórico

O curso teórico foi composto por 10 horas, com aulas expositivas, discussão de vídeos e casos clínicos e abordou todo o conteúdo necessário para realização das análises ecocardiográficas propostas (Quadro 4).

Quadro 4 - Conteúdo do treinamento teórico

1 - Princípios básicos da ultrassonografia/ecocardiografia
2 - Manuseio do equipamento portátil
3 - Anatomia cardíaca
4- Obtenção das imagens ecocardiográficas
5 - Doppler pulsado e mapeamento pelo Doppler a cores
6 - Avaliação subjetiva de função de ventrículo esquerdo e medida de fração de encurtamento/ejeção
7 - Avaliação subjetiva da função de ventrículo direito
8- Avaliação de volemia - Índice de distensibilidade de veia cava inferior (dVCI). $[dVCI = D_{\text{máx}} - D_{\text{min}}/D_{\text{min}}]$
9 - Índice cardíaco - Medida de velocidade integral tempo da aorta e diâmetro da vida de saída de ventrículo esquerdo
10 - Avaliação das valvas cardíacas e pericárdio

3.2.2 Treinamento prático

Os exames do treinamento prático, assim como os das avaliações, foram realizados na Unidade de Terapia Intensiva do Instituto da Criança do Hospital das Clínicas de São Paulo. O Instituto da Criança é hospital de nível de complexidade terciário, classificado como nível I pela Sociedade de Terapia Intensiva (Rosenberg e Moss, 2004) e sua Unidade de Terapia Intensiva dispõe de 18 leitos, com média de internação de 40 pacientes/mês e tempo médio de internação de sete dias. Aproximadamente 60% dos pacientes internados apresentam doenças crônicas, sendo comorbidades neurológicas, hepatológicas e oncológicas as mais frequentes. No momento da admissão, 40% dos pacientes apresentam-se com disfunção de múltiplos

órgãos e sistemas, sendo a taxa de utilização de ventilação mecânica próxima de 60% e do uso de drogas vasoativas acima de 30%, com mortalidade em torno de 10% (dados do censo interno referente aos anos de 2012-2013).

Durante o treinamento prático foram realizados exames ecocardiográficos em crianças (de recém-nascidos de termo até adolescentes de 16 anos) que estivessem internadas na Unidade de Terapia Intensiva nas datas previamente estabelecidas (amostra não sequencial). Foi dada preferência para realização do exame em pacientes cuja causa de internação estivesse relacionada com instabilidade hemodinâmica. Foram excluídos pacientes com cardiopatia congênita e aqueles nas quais as janelas ecocardiográficas eram muito limitadas pela avaliação do ecocardiografista (quando o próprio ecocardiografista não era capaz de captar imagens ecocardiográficas de qualidade pela limitação da janela). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da Instituição e consentimento livre e esclarecido foi obtido de todos os responsáveis legais (Anexos B e C).

O treinamento prático, assim como o teórico, foi realizado em dois módulos semelhantes de oito alunos em cada módulo (módulo A e B). Para as aulas práticas os alunos foram ainda subdivididos em dois subgrupos em cada módulo (subgrupos A1, A2, B1 e B2, com a presença de quatro alunos em cada subgrupo) com o intuito de manter uma proporção entre ecocardiografista e aluno de 1:4. Cada subgrupo foi composto por 12 aulas práticas, com quatro horas de duração cada. As aulas práticas ocorreram com frequência semanal, e desta forma cada aluno permaneceu 12 semanas em treinamento. A opção de o treinamento prático ocorrer com frequência semanal visou maior rotatividade dos pacientes da UTI.

O aluno em treinamento realizou dois exames completos em dois diferentes pacientes em cada aula, de tal forma que ao final do treinamento cada aluno atingiu a realização de 24 exames completos sob a supervisão do ecocardiografista. O aluno participou ainda da interpretação conjunta dos exames realizados pelos outros três colegas de aula prática (mais seis exames práticos por aula), totalizando a interpretação de 96 exames por aluno ao final do curso (Figura 17). Os alunos participantes não possuíam nenhum conhecimento prévio em ultrassonografia ou ecocardiografia e não realizaram nenhum tipo de treinamento além do proposto pelo estudo.

3.3 Janelas e Variáveis Ecocardiográficas

Foi realizado treinamento para captação de imagens através do modo-M, modo bidimensional e modo Doppler, utilizando as seguintes janelas ecocardiográficas: • paraesternal - eixo longo e curto; • apical - 4-câmaras e 5-câmaras; • subcostal - 4-câmaras e veia cava inferior (Quadro 5). O aparelho de ecocardiograma portátil foi fornecido pela empresa Sonosite (Sonosite, modelo MicroMaxx[®], Bothell – Estados Unidos), com dois transdutores setoriais de frequências 1- 5 MHz e 4-8 MHz.

Quadro 5 - Variáveis ecocardiográficas

Modo M
1 - Diâmetro sistólico e diastólico de ventrículo esquerdo (paraesternal eixo longo)
2 - Fração de encurtamento (paraesternal eixo longo)
3 - Fração de ejeção do ventrículo esquerdo (paraesternal eixo longo)
4 - Índice de distensibilidade de veia cava inferior (subcostal)
Bidimensional
1 - Avaliação qualitativa da função de ventrículo esquerdo (paraesternal, subcostal e apical)
2 - Avaliação qualitativa da função de ventrículo direito (paraesternal, subcostal e apical)
3 - Presença e gravidade do derrame pericárdico (paraesternal, subcostal e apical)
4 - Diâmetro da via de saída de ventrículo esquerdo (paraesternal eixo longo)
Doppler pulsátil
1 - Medida integral velocidade - tempo aórtico - VTI aórtico (apical 5-câmaras)
Color Doppler
1 - Avaliação de regurgitação mitral e tricúspide (apical 4-câmaras)

A função ventricular esquerda (FVE) foi classificada subjetivamente através de avaliação visual pelo modo bidimensional em: • 0 – normal: estimada uma fração de ejeção acima de 55%, • 1 - discretamente deprimida: entre 40-55%, • 2 - moderadamente deprimida: entre 30-40% e • 3 - disfunção grave: estimada uma fração de ejeção abaixo de 30% (Quadro 6). A mesma classificação foi utilizada para avaliação subjetiva da função de ventrículo direito (FVD).

Os diâmetros máximo e mínimo de VCI foram medidos através do modo M, janela subcostal, aproximadamente dois centímetros de distância do átrio direito, imediatamente antes da confluência da veia hepática na VCI. O índice de distensibilidade de veia cava inferior foi calculado através da diferença entre diâmetro máximo e mínimo da veia cava inferior utilizando a seguinte fórmula: $dVCI = D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}/D_{\text{mín}}$. Para análise estatística este dado foi categorizado em maior de 18% e menor ou igual a 18%, pela importância clínica que tal classificação apresenta (Barbier *et al.*, 2004) (Quadro 6).

O derrame pericárdico (DP) foi analisado pelo modo bidimensional e graduado em ausente, leve, moderado ou grave de acordo com a sua espessura (Quadro 6).

As regurgitações de valva mitral (RVM) e tricúspide (RVT) foram avaliadas pelo Doppler colorido e também classificadas como ausente, leve, moderada e grave (Quadro 6).

Quadro 6 - Variáveis e janelas ecocardiográficas utilizadas nas aulas práticas e avaliações. Graduação do derrame pericárdico, índice de distensibilidade de VCI e regurgitação valvar

Variável	Janela ecocardiográfica
Diâmetro diastólico de VE (cm)	Paraesternal eixo longo
Diâmetro sistólico de VE (cm)	Paraesternal eixo longo
Fração de encurtamento (%)	Paraesternal eixo longo
Fração de ejeção(%)	Paraesternal eixo longo
Maior diâmetro de VCI (cm)	Subcostal
Menor diâmetro de VCI (cm)	Subcostal
Índice de distensibilidade de VCI (dVCI)*	Subcostal
Função subjetiva de VE (0-3)	Paraesternal/subcostal/apical
Função subjetiva de VD (0-3)	Paraesternal/subcostal/apical
Derrame pericárdico (0-3)	Paraesternal/subcostal/apical
Integral da velocidade-tempo da aorta(cm)	Apical 5-câmaras
Diâmetro da via de saída de VE (cm)	Paraesternal eixo longo
Índice cardíaco (L/min/m ²)	Apical/Paraesternal
Volume sistólico (mL)	Apical/Paraesternal
Regurgitação mitral (0-3)	Apical 4-câmaras
Regurgitação tricúspide (0-3)	Apical 4-câmaras
* <18% ou 18% 0 - normal/ausente 1 - leve 2 - moderada 3 – severa	
Derrame pericárdico	Regurgitação Mitral e Tricúspide
Leve: < 0,5 cm	Leve: < 1/3 cavidade atrial
Moderado: 0,5 cm -2 cm	Moderada: 1/3-2/3 cavidade atrial
Severo: > 2 cm	Severa: atinge o teto atrial

VCI: Veia Cava Inferior; VD: ventrículo direito; VE: ventrículo esquerdo.

Para o cálculo objetivo da fração de ejeção, as medidas das dimensões internas de ventrículo esquerdo na sístole e diástole foram obtidas ao nível da cúspide da mitral por meio do modo-M na janela paraesternal eixo longo.

O cálculo do índice cardíaco (IC) foi realizado através das medidas da integral velocidade-tempo aórtica pela janela apical 5-câmaras e do diâmetro da via de saída do ventrículo esquerdo pelo paraesternal eixo longo.

3.4 Avaliações

Ao final de cada quatro aulas (quarta, oitava e 12^o aulas), foram aplicadas duas avaliações práticas por aluno, através da realização de exames práticos completos em dois diferentes pacientes (Figura 17). Desta forma, ao término da quarta aula foram realizados 32 exames de avaliação (duas avaliações diferentes para cada um dos 16 alunos), seguidos de 32 avaliações após oitava aula e após a 12^a aula, totalizando 96 exames ecocardiográficos de avaliação ao longo do treinamento.

A avaliação foi prática, documentada através gravação de imagens e preenchimento de formulário contendo as variáveis ecocardiográficas em questão (Quadro 6). As mesmas medidas ecocardiográficas foram realizadas pelo aluno e pelo ecocardiografista experiente em um intervalo menor que uma hora, para que não houvesse alteração no quadro clínico e hemodinâmico do paciente. Ambos, aluno e ecocardiografista, desconheciam o resultado da avaliação realizada pelo outro médico participante do estudo.

Na última etapa de avaliação os 16 alunos responderam individualmente um questionário sobre o grau de dificuldade que tiveram ao longo do treinamento para a realização de cada uma das análises ecocardiográficas estudadas (graduadas em pequena, moderada ou grande), e também a respeito de como se sentiam ou não capacitados para realização das mesmas ao término do treinamento (Anexo D).

3.5 Análise Estatística

A análise estatística para as variáveis contínuas, FE e IC, foi realizada através de comparação das médias das diferenças absolutas entre a avaliação do aluno e do ecocardiografista com uso de equação de estimação generalizada (*Generalized Estimation Equation* - GEE).

Para as demais medidas (dVCI, FVE, FVD, DP, RVM e RVT) foram criadas categorias de concordância ou não com o cardiologista e a concordância entre aluno e cardiologista também comparada através de equação de estimação generalizada (Quadro 6).

A equação de estimação generalizada foi escolhida para a análise estatística por avaliar as medidas repetidas, considerando o fato do mesmo aluno ter realizado de forma sequencial as avaliações, em três etapas distintas, e também por ponderar a dependência que existe em cada uma das etapas de avaliação, onde o mesmo aluno realizou duas avaliações em pacientes diferentes em cada uma das etapas.

Os modelos que apresentaram significância estatística pela equação de estimação generalizada receberam análise estatística complementar através de comparações múltiplas de Bonferroni para identificar entre quais as etapas de avaliações (primeira, segunda e terceira) ocorreram estas diferenças.

Os testes foram realizados com nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS

Foram excluídos do estudo três pacientes por possuírem janela ecocardiográfica limitada. Não houve exclusão por cardiopatia congênita.

Foram realizados 96 exames práticos durante as etapas de avaliações. Entre os exames, 44% deles ocorreram em pacientes do sexo masculino e 56% em pacientes do sexo feminino, a média de idade dos casos foi de 63 meses e deles, 66 (69%) estavam em ventilação mecânica e 44 (45%) estavam em uso de drogas vasoativas. O diagnóstico mais frequente foi choque séptico (39%) seguido de insuficiência respiratória aguda (33%) e doenças neurológicas (16%). Houve um caso de hipertensão pulmonar. Observamos a presença de RVT em 35 (37%) casos, sendo 27 (28%) deles classificados como leves, cinco (5%) como moderado e três como RVT grave (3%); RVM foi encontrado em 21 (22%) indivíduos, todos eles classificados como leve; derrame pericárdico ocorreu em 15 (16%) indivíduos, disfunção do VE em 10 indivíduos (10%) e disfunção do VD em apenas dois (2%) indivíduos. Não houve caso de tamponamento cardíaco.

O percentual em que determinada medida ecocardiográfica não foi realizada, por incapacidade técnica do aluno na captação de imagem apropriada, decresceu ao longo do treinamento. Em relação à FE, a medida não foi realizada em 15,6% dos exames de avaliação na primeira etapa (cinco casos), seguido de 3,1% na segunda (um caso) e 6,3% (dois casos) na terceira. Em relação ao IC, na primeira fase não foi obtida esta medida em 15,6% das avaliações (cinco casos), com melhora ao longo do

treinamento. O mesmo ocorreu para dVCI e para RVM e RVT. As demais análises foram realizadas em todas as três avaliações por todos os alunos (Tabela 1).

Tabela 1 - Porcentagem de exames e número de casos em que determinada medida não foi realizada ao longo do treinamento por incapacidade de captação da imagem

Medida	Avaliação	Não avaliados % (casos)
Fração de ejeção	1 ^a	15,6 (5)
	2 ^a	3,1 (1)
	3 ^a	6,3 (2)
Índice cardíaco	1 ^a	15,6 (5)
	2 ^a	6,3 (2)
	3 ^a	3,1 (1)
Índice de distensibilidade de VCI	1 ^a	4,2 (1)
	2 ^a	3,1 (1)
	3 ^a	0 (0)
Refluxo mitral	1 ^a	3,1 (1)
	2 ^a	6,3 (2)
	3 ^a	0 (0)
Refluxo tricúspide	1 ^a	3,1 (1)
	2 ^a	3,1 (1)
	3 ^a	0 (0)

A taxa de concordância para análise da FVE foi de 81,3% na primeira avaliação, 96,9% na segunda e 100% na terceira avaliação ($p < 0,001$). Em relação à FVD a taxa de concordância foi de 93,8%, 100% e 100% em cada uma das etapas, respectivamente (Tabela 2, Gráfico 1). Ao término do treinamento todos os 16 alunos referiram se sentirem aptos para realizar a avaliação de FVE e 14 alunos (87,5%) para FVD.

Para medida do dVCI verificamos uma concordância de 46,7% na primeira etapa, 90,3% na segunda e 87,5% na terceira ($p=0,004$) (Tabela 2, Gráfico 1). Por problemas técnicos no arquivo dos dados houve perda dos valores desta variável dos

exames realizados pelo ecocardiografista na primeira etapa de avaliação no módulo B do treinamento, por este motivo os resultados dos alunos, que seriam pareados com este resultado do ecocardiografista, foram desconsiderados e desta forma o total de exames na primeira avaliação foi reduzido de 32 para 16 exames, exclusivamente para esta variável. Todos os 16 alunos relataram sentirem-se aptos a realizar a avaliação de dVCI após o término treinamento.

Na avaliação de derrame pericárdico evidenciamos uma melhora na taxa de concordância entre aluno e cardiologista quando comparadas primeira e segunda avaliações (93,8% vs 100%), com queda da concordância na terceira avaliação para 84,4% ($p = 0,25$). Não existiram casos de derrame pericárdico importante e tamponamento cardíaco em nenhuma fase do estudo (Tabela 2, Gráfico 1). Os 16 alunos relataram sentirem-se aptos a identificar a presença de DP, porém apenas 75% deles acreditavam ser capaz de graduar/classificar o DP em leve, moderado ou importante.

A identificação e graduação correta do RVM foram realizadas em 71%, 93,3% e 90,6% dos exames em cada fase de avaliação ($p = 0,04$) e do RVT em 74,2%, 77,4 e 81,3%, respectivamente ($p = 0,75$) (Tabela 2, Gráfico 1). Dos 16 alunos, 12 (75%) referiam segurança para identificar e também para graduar os RVM e RVT.

Tabela 2 - Concordância entre aluno e cardiologista nas três etapas de avaliação

Variável	Concordância	Avaliação						p
		1		2		3		
		n	%	n	%	n	%	
dVCI	Discorda	8	53,3	3	9,7	4	12,5	0,004
	Concorda	7	46,7	28	90,3	28	87,5	
	TOTAL	15	100	31	100	32	100	
FVE	Discorda*	6	18,8	1	3,1	0	0	< 0,001
	Concorda	26	81,3	31	96,9	32	100	
	TOTAL	32	100	32	100	32	100	
FVD	Discorda*	2	6,3	0	0	0	0	#
	Concorda	30	93,8	32	100	32	100	
	TOTAL	32	100	32	100	32	100	
DP	Discorda*	2	6,3	0	0	5	15,6	0,258
	Concorda	30	93,8	32	100	27	84,4	
	TOTAL	32	100	32	100	32	100	
RVM	Discorda*	9	29	2	6,7	3	9,4	0,043
	Concorda	22	71	28	93,3	29	90,6	
	TOTAL	31	100	30	100	32	100	
RVT	Discorda*	8	25,8	7	22,6	6	18,8	0,758
	Concorda	23	74,2	24	77,4	26	81,3	
	TOTAL	31	100	31	100	32	100	

dVCI: índice de distensibilidade de veia cava inferior; FVE: função subjetiva de ventrículo esquerdo; FVD: função subjetiva de ventrículo direito; RVM: refluxo valva mitral; RVT: refluxo valvar tricúspide. # análise prejudicada pelo reduzido número de casos de FVD alterada. *Discordância para todas as variáveis foi de apenas um grau.

Gráfico 1 - Representação gráfica da concordância entre aluno e cardiologista nas três etapas de avaliação para as variáveis categorizadas

dVCI: índice de distensibilidade de veia cava inferior; DP: derrame pericárdico; FVE: função subjetiva de ventrículo esquerdo; FVD: função subjetiva de ventrículo direito; RVM: refluxo de valva mitral.

As análises das variáveis contínuas, FE e IC, foram expressas através das médias das diferenças (Tabela 3). A média da diferença entre as medidas dos alunos e cardiologistas para medida de fração de ejeção na primeira avaliação foi de 9,1%, sendo 8% na segunda e 7% terceira avaliação ($p = 0,6$).

A média da diferença na medida do IC foi de $1,31 \text{ L/min/m}^2$ na primeira, $1,29 \text{ L/min/m}^2$ na segunda e $0,56 \text{ L/min/m}^2$ (Tabela 3). A análise estatística demonstrou que houve redução estatisticamente significativa na diferença média da medida de IC ($p=0,001$). Assim como ocorreu em relação à avaliação subjetiva de função de VE, todos os 16 alunos sentiram-se habilitados para realizar a avaliação objetiva função de VE através de fração de ejeção e índice cardíaco ao término do treinamento. Todos os valores medidos de FE e IC de alunos e ecocardiografistas encontram-se documentados no Anexo E.

Tabela 3 - Descrição das diferenças absolutas de fração de ejeção (FE) e índice cardíaco (IC) entre os alunos e o cardiologista nas três etapas de avaliação

Variável	Avaliação	Média	Mediana	p
FE	1	9,12	8,8	0,639
	2	8,09	6	
	3	7,08	5,2	
IC	1	1,31	1,1	0,001
	2	1,29	0,95	
	3	0,56	0,5	

Os dados com significância estatística pela equação de estimação generalizada apresentada acima (dVCI, FVE, RVM e IC) foram submetidos à complementação da análise estatística com comparações múltiplas de Bonferroni para identificar entre quais avaliações ocorreram as diferenças estatisticamente significantes (Tabelas 4 e 5).

A análise estatística com comparações múltiplas de Bonferroni evidenciou aumento significativo da concordância entre alunos e cardiologista na medida do dVCI na segunda avaliação quando comparada com a primeira ($p = 0,006$), o que não ocorreu quando segunda e terceira etapas foram comparadas ($p > 0,99$). Quanto à avaliação da concordância da avaliação do RVM o mesmo fenômeno foi observado ($p = 0,05$ e entre primeira e segunda avaliação e $p > 0,99$ entre segunda e terceira).

No que diz respeito à avaliação subjetiva de FVE observamos aumento estatisticamente significativo apenas na terceira avaliação ($p = 0,022$), com a ressalva que na segunda avaliação existiu, apesar de não apresentar significância estatística, um aumento percentual de 15,6% na concordância entre aluno e cardiologista quando comparado com a primeira avaliação ($p = 0,111$) com uma taxa de concordância entre aluno e ecocardiografista de 96,9%.

Tabela 4 - Análise comparativa entre quais das três avaliações houve diferença estatística pela equação múltipla de Bonferroni

Variável	Avaliação	Diferença percentual	Erro padrão	p	IC(95%)	
					Inferior	Superior
dVIC	1 ^a - 2 ^a	-43,3	13,9	0,006	-70,6	-16
	1 ^a - 3 ^a	-40,5	14,2	0,013	-68,3	-12,8
	2 ^a - 3 ^a	2,8	8	> 0,999	-12,9	18,4
FVE	1 ^a - 2 ^a	-15,6	7,5	0,111	-30,3	- 0,9
	1 ^a - 3 ^a	-18,7	7	0,022	-32,5	-5
	2 ^a - 3 ^a	-3,1	3,1	0,951	-9,2	3
RVM	1 ^a - 2 ^a	-22,4	9,4	0,05	-40,8	-4,1
	1 ^a - 3 ^a	-19,7	9,7	0,129	-38,8	-0,6
	2 ^a - 3 ^a	2,7	6,9	> 0,999	-10,8	16,3

dVIC: índice de distensibilidade de veia cava inferior; FVE: função subjetiva de ventrículo esquerdo; RVM: refluxo de valva mitral.

Em relação à medida de índice cardíaco, a complementação estatística evidenciou que apenas na terceira etapa de avaliação houve redução estatisticamente significativa na média da diferença entre medida obtida pelos alunos e pelo cardiologista ($p > 0,99$ entre a primeira e a segunda avaliação; $p = 0,004$ entre a segunda e a terceira avaliação) (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultado das comparações múltiplas de Bonferroni para as diferenças absolutas no índice cardíaco entre as três etapas de avaliação

Variável	Avaliação	Diferença percentual	Erro padrão	p	IC(95%)	
					Inferior	Superior
IC	1 ^a - 2 ^a	0,001	0,231	> 0,999	-0,454	0,454
	1 ^a - 3 ^a	0,723	0,221	0,003	0,289	1,157
	2 ^a - 3 ^a	0,722	0,223	0,004	0,285	1,159

IC: índice cardíaco

5 DISCUSSÃO

O ecocardiograma a beira leito pode ser de importância fundamental na avaliação hemodinâmica de crianças instáveis hemodinamicamente, em especial naquelas com choque séptico, pois permite avaliar de forma rápida, sequencial e não invasiva dois dos três importantes componentes presentes na fisiopatologia do choque séptico: a disfunção cardíaca e a hipovolemia.

No presente estudo, realizamos o treinamento para capacitação dos alunos na avaliação da função sistólica de VE de forma subjetiva e objetiva, e função sistólica de VD apenas de forma subjetiva, uma vez que medidas objetivas de função sistólica de VD exigem técnicas consideradas avançadas no ecocardiograma de emergência (ex: Doppler tecidual), o mesmo sendo verdade para disfunção diastólica, e por isso fugiam do escopo do estudo. Realizamos ainda a avaliação da variação respiratória de VCI, refluxos valvares e pericárdio, que em conjunto com a função sistólica de VE constituem o exame de CCE básico/FOCUS. A seguir discutiremos a importância da avaliação hemodinâmica do paciente com choque séptico através do ecocardiograma direcionado, bem como os achados do estudo para cada uma das variáveis ecocardiográficas analisadas.

5.1 Fisiopatologia do Choque Séptico

Choque é uma síndrome complexa de falência cardiovascular, com inadequada perfusão tecidual e desequilíbrio entre oferta e consumo celular de oxigênio, que resultam em disfunção orgânica. O choque é uma via final comum de diversos fatores etiológicos e mecanismos fisiopatológicos, sendo classicamente subdividido em choque cardiogênico, hipovolêmico ou distributivo. O choque séptico é aquele desencadeado por um quadro infeccioso e possui grande complexidade fisiopatológica, podendo se apresentar com graus variados de disfunção cardíaca, hipovolemia e vasoplegia (Biban *et al.*, 2012).

Sepse grave e choque séptico constituem a principal causa de internação e mortalidade em UTIP (Watson *et al.*, 2003, Angus *et al.*, 2001, Odetola *et al.*, 2007). Este fato, associado à complexidade fisiopatológica do choque séptico, fazem com que ele seja o mais relevante quadro de instabilidade hemodinâmica em UTIP e por isso alguns pontos importantes serão discutido com mais detalhes.

5.1.1 Cardiomiopatia associada à sepse

A disfunção miocárdica associada à sepse, também chamada de cardiomiopatia da sepse foi descrita em 1984, por Parker *et al.*, em uma série de 20 pacientes com choque séptico submetidos a angiografia, onde 65% deles apresentavam-se com disfunção ventricular esquerda definida como fração de ejeção abaixo de 45%. Estes resultados foram similares aos encontrados por Jardin *et al.*, em 1990, com o uso do ecocardiograma. Achados semelhantes foram reproduzidos em modelos experimentais com animais, onde a sepse era induzida através da infusão de lipopolissacárides (Natanson *et al.*, 1989, Barraud *et al.*, 2007).

A disfunção miocárdica associada à sepse é uma das mais complexas disfunções orgânicas do paciente grave e se apresenta de forma dinâmica ao longo do tempo, em decorrência da interação entre a doença, o hospedeiro e a terapêutica clínica realizada. A cardiomiopatia induzida pela sepse é de origem multifatorial e mecanismos como alteração do fluxo coronariano, processo inflamatório induzido por citocinas, alteração da contratilidade decorrente da desregulação dos canais de cálcio e disfunção mitocondrial são alguns dos fatores até o momento implicados na fisiopatologia (Flierl *et al.*, 2008, Hochstadt *et al.*, 2011). Não existe uma definição universalmente estabelecida para o diagnóstico da disfunção miocárdica, sendo a redução da função sistólica do VE o principal critério utilizado (Antonucci *et al.*, 2014). No entanto, a disfunção cardíaca pode acometer ventrículo esquerdo ou direito, e ainda comprometer a diástole além da sístole (Vignon, 2013).

A incidência descrita de disfunção sistólica de ventrículo esquerdo é variável, oscilando de 18% a 60% nos diversos estudos e o perfil hemodinâmico do paciente se modifica, assim um mesmo paciente apresenta modificação da sua função cardíaca ao longo do tempo pela interação entre a sua doença e as medidas terapêuticas adotadas (Vieillard-Baron *et al.*, 2008; Vieillard-Baron, 2011). Na faixa etária pediátrica os resultados também são expressivos, Ceneviva *et al.* (1998) monitorizaram 50 crianças com choque séptico refratário a fluidos com uso do CAP e demonstraram que 58% dos pacientes possuíam disfunção cardíaca isolada e 20% deles disfunção cardíaca associada à vasoplegia. Naquela ocasião os autores observaram grande variação do perfil hemodinâmico dos pacientes ao longo do tratamento, com necessidade frequente de ajuste da terapêutica.

A função de ventrículo direito é mais difícil de ser avaliada a beira leito, métodos habituais ecocardiográficos de medida objetiva de fração de ejeção de ventrículo esquerdo não podem ser aplicados ao VD, em decorrência da complexa estrutura tridimensional do VD e da dificuldade técnica de delimitação de suas bordas endocárdicas (Harmankaya *et al.*, 2013). Talvez por este motivo a avaliação da função sistólica de VD tenha ficado por muitos anos em segundo plano. No entanto, com o advento do Doppler tecidual na ecocardiografia transtorácica, a função de VD passou a ser avaliada com mais frequência e estudos recentes têm demonstrado incidência entre 18% e 33% de disfunção ventricular direita em terapia intensiva como componente da cardiomiopatia relacionada à sepse (Pulido *et al.*, 2012; Harmankaya *et al.*, 2013).

O advento do Doppler tecidual permitiu também a avaliação da função diastólica dos ventrículos e cada vez mais tem sido descrita a existência de disfunção diastólica de VD e VE nos pacientes criticamente enfermos, com incidência de aproximadamente 25% nos pacientes com sepse (Brown *et al.*, 2012; Landesberg *et al.*, 2012). Desta forma, maior importância tem sido dada ao componente diastólico da função cardíaca e ao seu tratamento na UTI (Vignon, 2013).

5.1.2 Ressuscitação volêmica na sepse

Além da função cardíaca, a reposição volêmica é um ponto crucial do manejo do paciente com choque séptico. A ressuscitação fluídica agressiva em pacientes críticos, realizada de forma precoce, pode reverter a hipóxia tecidual e a progressão para disfunção orgânica múltipla, melhorando o desfecho clínico destes pacientes (Dellinger *et al.*, 2013). Por outro lado, a ressuscitação fluídica excessiva tem sido associada a aumento de complicações, com aumento do tempo de permanência em UTI e incremento na mortalidade, tanto em pacientes adultos como pediátricos (Rosenberg *et al.*, 2009; Boyd *et al.*, 2011; Maitland *et al.*, 2011; Abulebda *et al.*, 2014). Estes dados somados sugerem que a ressuscitação fluídica deve ser titulada com prudência, evitando-se déficits e excessos volêmicos.

A ressuscitação volêmica tem como objetivo promover aumento do débito cardíaco em consequência ao aumento da pré-carga. No entanto, estudos consistentemente têm demonstrado que apenas 50% dos pacientes instáveis hemodinamicamente são responsivos a volume (definido como aquele indivíduo capaz de aumentar o débito cardíaco em pelo menos 15% após prova de volume), ou seja, são capazes de aumentar a contração da fibra miocárdica em resposta ao aumento de pré-carga, e os outros 50% apenas serão submetidos aos efeitos deletérios da expansão volêmica, pois a fibra miocárdica não possui naquele momento a capacidade de aumentar a sua contração (Boyd *et al.*, 2011). Este fato associado ao conhecimento já estabelecido de que marcadores estáticos de pressão de enchimento (pressão de oclusão de artéria pulmonar e pressão venosa central) são indicadores ruins de resposta volêmica, tanto em adultos como em crianças, culminou com a busca por marcadores dinâmicos capazes de predizer sobre a

responsividade aos fluidos do paciente (Gan *et al.*, 2013). Desta forma, a avaliação ecocardiográfica da VCI tornou-se opção interessante e passou a ser utilizada na prática clínica.

5.2 Avaliações Ecocardiográficas

5.2.1 Função subjetiva de ventrículo esquerdo

A avaliação da função ventricular esquerda é de fundamental importância no manejo do paciente criticamente enfermo e a análise subjetiva da função de VE assumiu o papel de principal análise a ser realizada pelo médico não ecocardiografista em um exame ecocardiográfico direcionado a beira leito, pela sua importância clínica e menor imprecisão na avaliação quando comparado às medidas objetivas de função de VE (Gudmundsson *et al.*, 2005; Unlüer *et al.*; 2014).

No presente estudo, observamos elevadas e crescentes taxas de concordância entre as avaliações subjetivas de função de VE realizadas pelo aluno em comparação às realizadas pelo ecocardiografista ao longo do treinamento, demonstrando boa concordância desde a segunda fase da avaliação (96,9%). De forma similar, Melamed *et al.* (2009) relataram que os intensivistas foram capazes de distinguir a função do VE normal da alterada em 86% dos pacientes adultos avaliados; Vignon *et al.* (2011) demonstraram uma correta avaliação da função do ventrículo esquerdo em 92% dos casos e Manasia *et al.* (2005) em 84% dos pacientes. Recentemente, Unlüer *et al.* (2014) realizaram estudo com objetivo específico de analisar a avaliação de função subjetiva de VE realizada por dois médicos emergencistas em comparação com aquela realizada pelo ecocardiografista e demonstraram que ambos os médicos de emergência foram capazes de detectar disfunção cardíaca pelo ecocardiograma

com elevada sensibilidade (98,7% para ambos), especificidade (86,2% para médico 1 e 87,9% para médico 2), valor preditivo positivo (0,9 para ambos) e negativo (0,98 para ambos). De forma semelhante, Bustam *et al.* (2013) demonstraram que 10 médicos residentes do setor de emergência avaliaram a função de VE de forma subjetiva com elevada concordância em relação ao ecocardiografista (93%, κ : 0,79, $n=100$). Estudando pacientes pediátricos, Spurney *et al.* (2005) avaliaram a concordância da função subjetiva de VE realizada por pediatras e demonstraram uma boa correlação (96%), o mesmo sendo reproduzido por Longjohn *et al.* (2011) (κ : 0,87).

Recentes estudos demonstram o efeito positivo da presença de médicos não ecocardiografistas treinados para realizar a avaliação de função ventricular esquerda nos setores de emergência, no que diz respeito à velocidade de início da terapêutica e ao melhor direcionamento terapêutico quando a avaliação clínica é complementada com o ecocardiograma a beira leito. Estudo realizado na Universidade de Chicago, analisando 50 pacientes adultos com insuficiência cardíaca congestiva (ICC), demonstrou que três residentes de clínica médica (que haviam realizado previamente 20 exames ecocardiográficos de treinamento, sob supervisão e direcionados para avaliação subjetiva da função de VE) apresentaram significativa melhora na capacidade de identificação do subgrupo dos pacientes com ICC que possuíam FE abaixo de 40% quando complementavam a avaliação clínica com o ecocardiograma direcionado, em comparação com a identificação realizada pelos mesmos médicos através apenas de exame físico, exames laboratoriais, radiografia de tórax e eletrocardiograma, mas sem a complementação ecocardiográfica. Os autores demonstraram que o uso do ecocardiograma portátil foi o principal fator para diagnóstico de pacientes com FE < 40% (OR de 154, $p < 0,001$). Além disso, o

estudo acrescentou que o tempo médio para realização do ecocardiograma formal pelo ecocardiografista naquele hospital é de 22 horas (1-70 horas), explicado pela inexistência de ecocardiografista em tempo integral no hospital em questão, e discutiu que sem o auxílio de médicos habilitados realizando a avaliação da função cardíaca com o ecocardiograma portátil o tratamento deste subgrupo de pacientes que merece tratamento rápido seria atrasado em média em um dia (Razi *et al.*, 2011). Resultados semelhantes foram apresentados por Croft *et al.* (2006), onde a identificação de disfunção de VE foi 18% maior ($p < 0,001$) quando os residentes complementavam o exame físico com o ecocardiograma direcionado e a realização da complementação ecocardiográfica impactou (reforçando ou modificando) na decisão terapêutica de 76% dos pacientes Croft *et al.* (2006) e por Martin *et al.* (2009), que demonstraram incremento de 20% ($p < 0,001$) na detecção de disfunção de VE com a complementação da propedêutica habitual com o exame ecocardiográfico direcionado realizado pelo médico não ecocardiografista treinado.

A análise crítica dos dados do nosso estudo, em associação com os dados prévios da literatura nos permite afirmar que o médico não especialista quando submetido a treinamento específico é capaz de avaliar subjetivamente a função de VE, tanto em pacientes adultos quanto pediátricos. Desta forma, a avaliação subjetiva da função de VE pode e deve ser incorporada na prática clínica de rotina de médicos de diversas especialidades clínicas ou cirúrgicas que manejam pacientes clinicamente instáveis, e para tal, deve ser realizada a capacitação profissional destes médicos durante a residência médica ou mesmo através de cursos específicos. O presente estudo reforça a possibilidade de capacitar pediatras para aquisição desta habilidade com a execução de 16 exames de treinamento supervisionados.

5.2.2 Função objetiva de ventrículo esquerdo: fração de ejeção e índice cardíaco

A utilidade clínica das medidas objetivas de FE realizadas pelo ecocardiografista no manejo de pacientes criticamente enfermos é amplamente aceita, tanto em pacientes adultos quanto pediátricos (Vieillard-Baron *et al.*, 2003; Gazit e Cooper, 2011). Em nosso estudo obtivemos uma forte correlação entre as medidas quantitativas da FE realizadas pelos alunos e pelo ecocardiografista em todas as três etapas de treinamento, com a média de diferença absoluta consistentemente menor que dez por cento. Resultados semelhantes foram relatados por Bustam *et al.* (2013), onde nove médicos residentes do setor de emergência, após breve treinamento (cinco exames práticos supervisionados) obtiveram boa correlação na medida de FE através do modo M quando comparado ao ecocardiografista (r : 0,82), sendo a diferença média na medida de FE entre alunos e ecocardiografista de 4,3% (58,9% vs 54,6%, para ecocardiografista e alunos respectivamente). Pershad *et al.* (2004), em uma população pediátrica, demonstraram uma diferença média na medida de fração de encurtamento do VE entre pediatra e ecocardiografista de 4,4%, após um breve curso de formação teórico/prático. A literatura reforça que a primeira opção para análise de função de VE por médicos não ecocardiografistas é a avaliação subjetiva, porém o presente estudo corrobora com dados de estudos prévios, que juntos demonstram que o médico não especialista treinado é capaz de realizar a avaliação objetiva da função de VE através da medida da FE pelo modo M.

O cálculo do IC através do ecocardiograma necessita de medidas mais complexas realizadas através do uso do Doppler e por este motivo é considerado tecnicamente desafiador, no entanto, apesar da conhecida dificuldade técnica, nós

obtivemos uma boa correlação na medida de IC após os 24 exames de treinamento, com uma diferença média de 0,56 L/min/m² entre as medidas realizadas pelos alunos e ecocardiografista. Em pacientes adultos, Dinh *et al.* (2012) demonstraram que dois médicos do setor de emergência, após treinamento prático com duração de 20 horas, foram capazes de medir o IC em 23 pacientes, com boa concordância em relação ao ecocardiografista (r: 0,82) e média da diferença entre ecocardiografista e médico treinado de apenas 0,11L/min/m². Gunst *et al.* (2011) demonstraram resultados menos expressivos, onde um grupo de seis residentes/intensivistas após treinamento breve (seis exames em voluntários saudáveis) realizaram a avaliação do IC com uma média da diferença de 1,3L/min/m² quando comparado ao IC medido através de cateter de artéria pulmonar. Avaliação do IC por pediatras foi realizada de forma pioneira no presente estudo e demonstrou resultados relevantes. Esta avaliação pode fornecer uma nova opção no arsenal para a monitorização hemodinâmica de crianças gravemente doentes, população que sofre da escassez de métodos não invasivos para medida de IC. Porém, a necessidade de treinamento mais extenso que observamos em nosso estudo, o restrito número de pesquisas prévias sobre este assunto específico e alguns resultados controversos da literatura nos fazem ter cautela para afirmar de forma contundente sobre o treinamento de médicos não ecocardiografistas na medida de IC. No entanto, a nossa impressão atual é de ser possível a capacitação de médicos não especialistas na medida ecocardiográfica de IC através de treinamento direcionado mais extenso e de que esta ferramenta pode ser útil no manejo de pacientes instáveis hemodinamicamente, em especial na população pediátrica.

5.2.3 Função subjetiva de ventrículo direito

Em relação à análise subjetiva da função do VD, observamos taxa de concordância entre aluno e ecocardiografista elevada nas três etapas de avaliação, porém na amostra do presente estudo houve apenas duas crianças com disfunção ventricular direita. Estudo recente realizado na Noruega demonstrou que seis médicos residentes do departamento de Clínica Médica após treinamento em ecocardiograma de emergência foram menos acurados na avaliação de função de VD do que na avaliação da função de VE, com concordância apenas moderada na análise de função de VD quando comparados ao ecocardiografista (r : 0,44) (Mjølstad *et al.*, 2013). Estes resultados foram inferiores aos reportados por Vignon *et al.* (2011), onde a identificação de dilatação de VD foi realizada de forma mais acurada pelos médicos em treinamento (κ : 0,76).

No presente estudo, quando questionados ao término do treinamento, apenas 14 alunos (87,5%) se sentiram capazes de realizar avaliação subjetiva da função de VD. Este dado, associado a nossa pequena casuística de disfunção de VD, não nos permite concluir a respeito da capacitação e da curva de aprendizado dos alunos na análise subjetiva da função do VD.

5.2.4 Resposta volêmica: Índice de distensibilidade de veia cava inferior

A variação respiratória de VCI pelo ecocardiograma transtorácico se estabeleceu na prática clínica após dois trabalhos consagrados na literatura que demonstraram forte correlação entre a variação respiratória da VCI e a resposta volêmica do paciente (Feissel *et al* 2004, Barbier *et al*, 2004) e seu uso se difundiu pela vantagem de poder ser realizada de forma rápida, não invasiva e seriada (Mandeville *et al.*, 2012).

No presente estudo, realizamos o treinamento dos médicos não ecocardiografistas para avaliação do dVCI, utilizando o mesmo ponto de corte de 18% proposto por Barbier *et al.* (2004) e observamos uma elevada correlação entre alunos e ecocardiografistas na segunda e terceira etapas de avaliação. Em 2011, Fields *et al.* avaliaram a confiabilidade da avaliação de diâmetro de VCI e variação respiratória de VCI realizada simultaneamente por cinco médicos emergencistas com experiência em ultrassonografia e demonstraram elevado coeficiente de correlação (κ : 0,81) para medida de diâmetro de VCI e moderada correlação na avaliação da variação respiratória (κ : 0,64). Vignon *et al.* (2011) demonstraram boa correlação na avaliação do diâmetro da VCI (κ : 0,79), porém não realizaram avaliação da variação respiratória da VCI, o mesmo sendo reportado por Pershad *et al.* (2004) em um estudo pediátrico (r : 0,8). Carr *et al.* (2007) realizaram estudo comparando a avaliação da variação respiratória de VCI realizada por nove médicos clínicos dos setores de emergência submetidos a treinamento direcionado (realização de 25 exames supervisionados) com os exames realizados pelo ultrassonografista experiente e demonstraram concordância de 65% em 70 pacientes avaliados e de forma semelhante Bustam *et al.* (2013) compararam exames realizados por residentes treinados e médico especialista e reportaram correlação moderada (64,2%, κ : 0,45, n =95). A principal dificuldade técnica na medida da variação respiratória da VCI consiste na inevitável movimentação da VCI em relação à posição do transdutor que acontece em decorrência da movimentação diafragmática (Blehar *et al.*, 2012) e a falta de padronização no local da VCI onde deve ser realizada a medida pode justificar os resultados piores que alguns autores demonstram quando a variação respiratória é avaliada ao invés da medida isolada do diâmetro da VCI. No entanto, os resultados positivos do presente estudo, com concordância próxima de 90% desde a segunda etapa

de avaliação, nos fazem concluir que com padronização técnica rigorosa a medida da variação respiratória de VCI pode ser realizada por médicos não ecocardiografistas.

5.2.5 Derrame pericárdico e tamponamento cardíaco

No que diz respeito à avaliação do DP, observamos uma queda na concordância entre aluno e ecocardiografista na terceira avaliação, porém sem significância estatística. Esta redução da taxa de concordância poderia ser explicada pelo pequeno número de derrames pericárdicos que tivemos na última fase de avaliação, onde três casos classificados como leve pelo ecocardiografista foram considerados pelo aluno como ausente. Este erro de classificação pode ser resultado da dificuldade técnica que existe em distinguir o DP leve da gordura epicárdica o que, a nosso ver, não apresenta implicações no tratamento de emergência do paciente, uma vez o DP leve raramente gera alterações hemodinâmicas. Resultado semelhante foi apresentado por Vignon *et al.* (2011), onde três casos de gordura epicárdica foram erroneamente avaliados pelos residentes como derrame pericárdico mínimo, porém o autor reforçou naquela ocasião que este equívoco não teve importância clínica, que os dois casos existentes de tamponamento cardíaco foram corretamente diagnosticados pelos residentes e que o coeficiente de correlação para diagnóstico de derrame pericárdico entre residentes e ecocardiografista foi elevado (κ : 0,79). Mandavia *et al.* (2001) reportaram apenas quatro casos de falso positivos e oito falso negativos em 103 pacientes avaliados na emergência por médicos rapidamente treinados, o que representou uma sensibilidade de 96% e especificidade de 98%. Resultados positivos na identificação de derrame pericárdico já foram previamente demonstrados também na faixa etária pediátrica (κ : 0,77; $n = 70$) (Longjohn *et al.*, 2011).

Os dados prévios da literatura sugerem que o diagnóstico DP pode ser realizado pelo médico não especialista treinado, no entanto, o número limitado de casos do presente estudo, com ausência de DP grave/tamponamento cardíaco, associado ao fato de que apenas 75% dos alunos treinados referiram ao término do treinamento se sentirem aptos para graduar o DP, não nos permite reforçar a literatura neste sentido.

Vale acrescentar que, apesar de não ser do escopo do presente estudo, é de grande importância que médicos emergencista/intensivista sejam capazes de manipular o equipamento de ecocardiograma para realizar pericardiocentese de forma guiada, o que atualmente é mandatório, pois o uso do ecocardiograma como guia para punção pericárdica reduz drasticamente os riscos relacionados ao procedimento (Salem *et al.*, 1999; Gudmundsson *et al.*, 2005; Jung, 2012).

5.2.6 Refluxos de valva mitral e tricúspide

A análise da insuficiência valvar não parece ser de grande importância clínica na avaliação de emergência de crianças gravemente doentes, devido à rara ocorrência de regurgitação grave com repercussão hemodinâmica em crianças que não apresentam doença cardíaca congênita. Mesmo na população de pacientes adultos, os estudos têm enfatizado a análise das demais variáveis ecocardiográficas em detrimento da avaliação de refluxo valvar. Não existe estudo pediátrico prévio que tenha realizado esta abordagem, no entanto, optamos pela avaliação do RVM e RVT com o objetivo principal de abordar a capacidade do aluno para identificar o refluxo pelas valvas atrioventriculares, para posterior capacitação dos mesmos na realização da medida da pressão pulmonar através da RVT. Observamos uma boa taxa de concordância na avaliação e graduação do RVM após 16 exames de treinamento,

mas não vimos incremento na identificação de RVT durante o treinamento. Além disso, apenas 75% dos alunos se sentiram capazes de detectar e classificar regurgitação após o treinamento. Portanto, apesar do presente estudo ser o primeiro a relatar a identificação e graduação de RVM e RVT por pediatras, o seu resultado não permite afirmar que este aprendizado foi completado com sucesso e, portanto, este tópico ainda requer uma análise mais aprofundada.

5.3 Considerações Gerais e Limitações

O principal valor do presente estudo é o fato de ter sido realizado integralmente na UTI, com todos os exames de ecocardiograma realizados em pacientes criticamente doentes. Além disso, trata-se do primeiro estudo pediátrico com avaliação de todas as variáveis ecocardiográficas propostas como CCE básico/FOCUS e que promoveu o treinamento de maior número de profissionais em comparação com estudos anteriores. Outra vantagem do estudo foi estabelecer a evolução do aprendizado dos pediatras ao longo de treinamento em diversas variáveis ecocardiográficas pertinentes ao exame de ecocardiograma direcionado.

As principais limitações foram: a) os exames de ecocardiograma ocorreram baseados em uma agenda de treinamento pré-definida, assim, apesar de terem sido realizados na UTI, em uma população de pacientes criticamente enfermos, não houve inclusão de todas as possíveis anormalidades ecocardiográficas, tanto durante as fases de treinamento como de avaliação (como ausência de casos de tamponamento cardíaco, ausência de DP grave e reduzida casuística de disfunção de VD); b) o desenho do estudo não permitiu a avaliação de fatores como acurácia e precisão.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo sugere que o treinamento teórico-prático proposto, realizado através de 10 horas de aulas teóricas e 24 exames práticos supervisionados por ecocardiografista experiente, é suficiente para habilitar pediatras intensivistas e emergencistas na realização dos principais componentes do módulo básico do CCE/FOCUS (função sistólica de ventrículo esquerdo e avaliação de variação respiratória de veia cava inferior). A reduzida casuística em relação à disfunção de VD e refluxos valvares importantes, assim como derrame pericárdico grave/tamponamento cardíaco não nos permite acrescentar dados relevantes à literatura sobre a capacitação dos alunos nestes tópicos específicos do exame ecocardiográfico de emergência.

O presente estudo sugere que o treinamento teórico-prático proposto, realizado sob a supervisão do ecocardiografista experiente é suficiente para habilitar pediatras intensivistas e emergencistas na análise objetiva da função de VE através das medidas de fração de ejeção e índice cardíaco.

A avaliação do aprendizado ao longo do treinamento demonstrou que 16 exames práticos supervisionados foram suficientes para instrução de pediatras quanto à análise subjetiva da função de VE e medida de fração de ejeção, além da avaliação da volemia através do índice de distensibilidade de VCI. Com respeito ao índice cardíaco, um treinamento mais extenso com 24 exames práticos supervisionados foi necessário.

O treinamento proposto pode servir como guia para inclusão de cursos de treinamento em ecocardiografia básica a beira leito em programas de residência médica de diversas especialidades médicas e em cursos específicos não vinculados a residência médica, promovendo assim um aumento nas habilidades técnicas dos médicos ligados ao manejo de pacientes criticamente enfermos e desta forma melhoria no cuidado destes pacientes.

Anexo A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido dos Médicos

HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-HCFMUSP

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

- 1 NOME: :.....
 DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : .M ☐ F ☐
 DATA NASCIMENTO:/...../.....
 ENDEREÇO Nº APTO:
 BAIRRO: CIDADE
 CEP:..... TELEFONE: DDD (.....).....

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA. Ecocardiografia em terapia intensiva: validação de treinamento voltado para médicos não cardiologistas
2. PESQUISADOR: Artur F. Delgado
 CARGO/FUNÇÃO: Coordenador UTI Pediátrica. INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 52090
 UNIDADE DO HCFMUSP: Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica.
3. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:
 RISCO MÍNIMO X RISCO MÉDIO ☐
 RISCO BAIXO ☐ RISCO MAIOR ☐
4. DURAÇÃO DA PESQUISA : 6 Meses

HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-HCFMUSP

O estudo que está sendo realizado na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) tem como objetivo treinar e capacitar os médicos da UTI na realização do exame de Ecocardiograma. Este exame auxilia no tratamento das crianças criticamente enfermas, pois ele possibilita avaliação de algumas causas de instabilidade hemodinâmica e guia o manejo terapêutico. No entanto, a indisponibilidade em tempo

integral dos ecocardiografias nas UTI inviabiliza a realização do exame em todas as crianças que necessitem.

Para que os médicos da UTI possam se capacitar a realizar o exame é necessário que se estabeleça um esquema de treinamento. Para tal, realizaremos este projeto com intuito de avaliar a curva de aprendizado e estabelecer o treinamento ideal. O projeto consiste no treinamento de 16 médicos voluntários por um médico cardiologista experiente, através de 10 aulas teóricas e 12 aulas práticas, totalizando a realização de 24 exames por aluno.

Os médicos em treinamento (alunos) serão submetidos a avaliações práticas após o 8º, 16º e 24º exame e os dados analisados estatisticamente.

As informações obtidas de cada médico serão analisadas em conjunto com as demais, não sendo divulgada a identidade de nenhum dos médicos.

É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e interrupção da participação no estudo, sem qualquer prejuízo do médico em relação à instituição.

Não existem despesas pessoais para o participante do estudo, assim como não existe compensação financeira relacionada à sua participação.

Os resultados obtidos serão confidenciais e utilizados única e exclusivamente com a finalidade descrita para esta pesquisa.

Em qualquer momento do treinamento, você pode ter acesso aos profissionais responsáveis pelo estudo para o esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador é o Dr Artur F. Delgado, que pode ser encontrado na UTI do Instituto da Criança, tel: 3069-8594. Se você tiver alguma dúvida ou consideração sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) – R. Ovídio Pires de Campos, 225 – 5º andar – tel: 3069-6442 ramais 16,17,18 ou 20, Fax: 3069-6442 ramal 26 – e-mail: cappelq@hcnet.usp.br

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li descrevendo o estudo: “Ecocardiografia em terapia intensiva: validação de treinamento voltado para médicos não cardiologistas”.

Eu discuti com o Dr. Artur F. Delgado sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia da desistência se julgar necessária. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízos.

Assinatura do médico

Data ____/____/____

Assinatura da testemunha

Data ____/____/____

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste médico para a participação neste estudo.

Artur F Delgado

Data ____/____/____

Anexo B - Aprovação pelo Comitê de Ética

982

Hospital das Clínicas da FMUSP
Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa
CAPPesq

Nº Protocolo: 0671/11

Título: ECOCARDIOGRAFIA EM TERAPIA INTENSIVA: VALIDAÇÃO DE TREINAMENTO VOLTADO PARA MÉDICOS NÃO CARDIOLOGISTAS

Pesquisador Responsável: Artur Figueiredo Delgado

Pesquisador Executante: Heloíssa Amaral Gaspar

Co-autores: Werther Brunow de Carvalho

Finalidade Acadêmica: Mestrado

Departamento: PEDIATRIA

A Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa – CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, **APROVOU / TOMOU CIÊNCIA** na sessão datada de 23/11/2011, o protocolo acima.

A CAPPesq em obediência à Resolução CNS 196/96, solicita ao pesquisador (a) s elaboração de relatório parcial e final.

No caso de relatório parcial é necessário informar o tempo previsto para a conclusão do protocolo e breve resumo dos resultados obtidos.

CAPPesq, 25 de Novembro de 2011

PROF. DR. EUCLIDES AYRES DE CASTILHO
Coordenador
Comissão de Ética para Análise de
Projetos de Pesquisa - CAPPesq

Rua Dr. Ovídio Pires de Campos, 225 - Prédio da Administração - 5º andar - CEP 05403-010 - São Paulo - SP.
Fone: 55 11 2661-6442 ramais 16, 17, 18 e 20 - e-mail: cappesq@hcnet.usp.br

Anexo C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito da pesquisa ou responsável legal

HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-HCFMUSP

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME:
DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : M ☐ F ☐
DATA NASCIMENTO:/...../.....
ENDEREÇO Nº APTO:
BAIRRO: CIDADE
CEP:..... TELEFONE: DDD (.....).....
2. RESPONSÁVEL LEGAL
NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)
DOCUMENTO DE IDENTIDADE :SEXO: M ☐ F ☐
DATA NASCIMENTO.:/...../.....
ENDEREÇO: Nº APTO:
BAIRRO:CIDADE:
CEP:
TELEFONE: DDD (.....).....

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. **TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA.** Ecocardiografia em terapia intensiva: validação de treinamento voltado para médicos não cardiologistas.
2. **PESQUISADOR:** Artur F. Delgado
CARGO/FUNÇÃO: Coordenador UTI Pediátrica. INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 52090
UNIDADE DO HCFMUSP: Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica.
3. **AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:**
RISCO MÍNIMO X RISCO MÉDIO ☐
RISCO BAIXO ☐ RISCO MAIOR ☐
4. **DURAÇÃO DA PESQUISA :** 6 Meses

HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-HCFMUSP

O estudo que está sendo realizado na UTI tem como objetivo treinar e capacitar os médicos da UTI na realização do exame de Ecocardiograma. Este exame pode ajudar no tratamento das crianças graves internadas na UTI, pois com ele avaliamos o funcionamento do coração. No entanto, até o momento apenas os médicos cardiologistas realizam este tipo de exame e como em muito horários do dia os cardiologistas não estão disponíveis no Hospital, muitas crianças acabam ficando sem o exame que poderia beneficiá-las.

Para que os médicos da UTI possam realizar o exame eles necessitam de um treinamento. Assim, uma médica cardiologista irá realizar o total de 24 aulas para este treinamento. As aulas consistem na realização do exame de ecocardiograma pela cardiologista e em seguida pelo médico da UTI. O exame não apresenta nenhum tipo de risco para a criança, pois funciona como um exame de ultrassonografia e, além disso, não traz nenhum tipo de dor ou desconforto para a criança.

O exame realizado durante a aula pode beneficiar a criança ao fornecer dados em relação ao funcionamento do coração que auxiliem o médico na escolha das melhores medicações a serem realizadas para aquele paciente.

Nenhum exame de rotina deixará de ser realizado na criança que participa do estudo, assim como nenhum cuidado médico e de enfermagem será diferente nesta criança em relação às demais.

Em qualquer momento do treinamento, você pode ter acesso aos profissionais responsáveis pelo estudo para o esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador é o Dr Artur F. Delagado, que pode ser encontrado na UTI do Instituto da Criança, tel: 3069-8594. Se você tiver alguma dúvida ou consideração sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) – R. Ovídio Pires de Campos, 225 – 5º andar – tel: 3069-6442 ramais 16,17,18 ou 20, Fax: 3069-6442 ramal 26 – e-mail: cappesq@hcnet.usp.br

É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo à continuidade de seu tratamento na instituição.

As informações obtidas serão analisadas em conjunto com os demais pacientes, não sendo divulgada a identidade de nenhum paciente.

Não existem despesas pessoais para o participante do estudo, assim como não existe compensação financeira relacionada à sua participação.

Os resultados obtidos serão confidenciais e utilizados única e exclusivamente com a finalidade descrita para esta pesquisa.

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo: “Ecocardiografia em terapia intensiva: validação de treinamento voltado para médicos não cardiologistas”

Eu discuti com o Dr. Artur F. Delgado sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso a tratamento hospitalar quando necessário. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido no meu atendimento neste Serviço.

Assinatura do paciente/representante legal

Data ____/____/____

Assinatura da testemunha

Data ____/____/____

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

Artur F Delgado

Data ____/____/____

Anexo D - Questionário aos alunos pós-curso

Após o término do treinamento você se sente apto a:

- Manipular o equipamento de ecocardiograma: ☐ Sim ☐ Não
- Captar boas imagens ecocardiográficas: ☐ Sim ☐ Não
- Realizar a análise subjetiva da função de VE: ☐ Sim ☐ Não
- Medir a fração de ejeção do VE pelo modo M: ☐ Sim ☐ Não
- Realizar a análise subjetiva da função de VD: ☐ Sim ☐ Não
- Detectar a presença de refluxo valvar mitral ou tricúspide: ☐ Sim ☐ Não
- Classificar o grau do refluxo valvar: ☐ Sim ☐ Não
- Detectar a presença de derrame pericárdico: ☐ Sim ☐ Não
- Quantificar o grau do derrame pericárdico: ☐ Sim ☐ Não
- Medir o índice de distensibilidade de VCI: ☐ Sim ☐ Não
- Medir o VTI aórtico: ☐ Sim ☐ Não

Você julga que o ecocardiograma, após o treinamento realizado, será capaz de te auxiliar em:

- Reconhecimento de disfunção miocárdica: ☐ Sim ☐ Não
- Reconhecimento de parada cardíaca: ☐ Sim ☐ Não
- Reconhecimento de hipovolemia: ☐ Sim ☐ Não
- Reconhecimento de hipervolemia: ☐ Sim ☐ Não
- Reconhecimento de derrame pericárdico: ☐ Sim ☐ Não
- Reconhecimento de refluxos valvares: ☐ Sim ☐ Não
- Manejo na reposição volêmica: ☐ Sim ☐ Não
- Manejo no uso de drogas vasoativas: ☐ Sim ☐ Não
- Guia para pericardiocentese: ☐ Sim ☐ Não

Você julga ser benéfico ao paciente que o intensivista/emergencista pediátrico possua o conhecimento adquirido neste treinamento

☐ Sim ☐ Não

Anexo E - Dados comparativos entre aluno e ecocardiografista

Fração de ejeção nas 3 etapas de avaliação (expresso em porcentagem)

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
	Ecocard.	Aluno		Ecocard	Aluno		Ecocard.	Aluno
1a	78	48	1a	74	61	1a	61	59
1b	58	48	1b	59	58	1b	72	84
2a	78	-	2a	66	-	2a	61	59
2b	58	58	2b	59	57	2b	72	79
3a	78	47	3a	59	56	3a	81	66
3b	58	-	3b	66	61	3b	75	83
4a	64	53	4a	74	70	4a	61	61
4b	61	49	4b	66	67	4b	72	74
5a	50	73	5a	66	70	5a	66	67
5b	63	62	5b	78	86	5b	59	82
6a	50	-	6a	66	36	6a	66	66
6b	63	50	6b	78	74	6b	59	78
7a	50	38	7a	60	97	7a	61	56
7b	62	57	7b	59	89	7b	64	—
8a	50	-	8a	60	51	8a	66	—
8b	62	-	8b	59	51	8b	59	62
9a	65	51	9a	69	60	9a	71	67
9b	77	62	9b	80	84	9b	66	78
10a	65	75	10a	69	89	10a	71	79
10b	77	88	10b	80	71	10b	80	75
11a	65	61	11a	69	64	11a	71	72
11b	77	81	11b	80	86	11b	80	72
12a	65	65	12a	69	60	12a	74	62
12b	77	91	12b	80	86	12b	66	87
13a	71	84	13a	63	66	13a	71	60
13b	74	27	13b	65	76	13b	80	80
14a	67	54	14a	63	61	14a	74	41
14b	74	59	14b	65	80	14b	66	84
15a	71	78	15a	63	65	15a	74	80
15b	77	86	15b	65	77	15b	66	76
16a	68	73	16a	63	72	16a	74	49
16b	64	76	16b	65	76	16b	66	59

Índice cardíaco nas 3 etapas de avaliação (expresso em L/min/m²)

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
	Ecocard.	Aluno		Ecocard	Aluno		Ecocard.	Aluno
1a	3	1,13	1a	2,8	2,5	1a	3,7	4,2
1b	4,9	1,6	1b	3	2,4	1b	3,3	3,3
2a	3	-	2a	4,3	—	2a	3,7	3,2
2b	4,9	3,3	2b	3	3,9	2b	3,3	3,3
3a	3	3,9	3a	3	3,3	3a	3,8	4
3b	4,9	3	3b	4,3	3,5	3b	5,1	2,7
4a	4,2	3,1	4a	2,8	2,4	4a	3,6	4
4b	4,1	6,6	4b	4,3	2,9	4b	3,3	2
5a	2,3	2,9	5a	5,7	5,2	5a	3,7	3,8
5b	4,1	3,3	5b	8	7,4	5b	2,7	3
6a	2,3	—	6a	5,7	3,5	6a	3,7	4,4
6b	4,1	4,2	6b	8	8	6b	2,7	2,7
7a	2,3	3	7a	4	-	7a	3	3,4
7b	4	4,7	7b	3,4	2,3	7b	4,5	4,7
8a	2,3	-	8a	4	2,7	8a	3,7	—
8b	4	-	8b	3,4	3,5	8b	2,7	2,7
9a	4	-	9a	5,4	6,8	9a	4,5	3,8
9b	5,5	5,3	9b	8,5	6,4	9b	3,7	4,6
10a	4,1	3,8	10a	4,9	3,6	10a	4,4	4,1
10b	5,5	4,1	10b	8,5	4,7	10b	4	3,5
11a	4	4,6	11a	4,9	5,2	11a	4,4	5,5
11b	4,1	4,1	11b	8,5	6	11b	4	3,5
12a	4	4,6	12a	5,5	5,4	12a	4,5	3,6
12b	4,1	2,6	12b	8,5	4,9	12b	3,9	5,1
13a	3,3	3,9	13a	5,6	9,1	13a	4,5	5,1
13b	6,8	5,2	13b	4,6	3,6	13b	4	3
14a	6,9	5,5	14a	5,6	5	14a	4,5	4,3
14b	6,8	2,8	14b	4,6	1,6	14b	3,9	3,9
15a	3,3	3,4	15a	5,6	6,4	15a	4,5	5
15b	10,4	8	15b	4,6	7,2	15b	3,9	4,4
16a	4,1	7,7	16a	5,6	4,4	16a	4,5	3,6
16b	2,7	1,6	16b	4,6	4,9	16b	3,9	4,4

8 REFERÊNCIAS

Abulebda K, Cvijanovich NZ, Thomas NJ, Allen GL, Anas N, Bigham MT, Hall M, Freishtat RJ, Sen A, Meyer K, Checchia PA, Shanley TP, Nowak J, Quasney M, Weiss SL, Chopra A, Banschbach S, Beckman E, Lindsell CJ, Wong HR. Post-ICU admission fluid balance and pediatric septic shock outcomes: a risk-stratified analysis. *Crit Care Med.* 2014; 42(2):397-403.

Angus DC, Linde Zwirble WT, Liddicker J, et al. Epidemiology of severe sepsis in the U.S.: Analysis of incidence, outcome, and associated costs of care. *Crit Care Med.* 2001; 29:1303-10.

Antonelli M, Levy M, Andrews PJ, Chastre J, Hudson LD, Manthous C, Meduri GU, Moreno RP, Putensen C, Stewart T, Torres A. Hemodynamic monitoring in shock and implications for management. International Consensus Conference, Paris, France, 27-28 April 2006. *Intensive Care Med.* 2007; 33(4):575-90.

Antonucci E, Fiaccadori E, Donadello K, Taccone FS, Franchi F, Scolletta S. Myocardial depression in sepsis: From pathogenesis to clinical manifestations and treatment. *J Crit Care.* 2014 Apr 5. [Epub ahead of print]

Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricôme JL, Jardin F, Vieillard-Baron A. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med.* 2004; 30(9):1740-6.

Barraud D, Faivre V, Damy T, Welschbillig S, Gayat E, Heymes C, Payen D, Shah A, Mebazaa A: Levosimendan restores both systolic and diastolic cardiac performance in lipopolysaccharide-treated rabbits: comparison with dobutamine and milrinone. *Crit Care Med.* 2007, 35: 1376-82.

Beaulieu Y. Bedside echocardiography in the assessment of the critically ill. *Crit Care Med.* 2007b; 35(5 Suppl):S235-49.

Beaulieu Y. Specific skill set and goals of focused echocardiography for critical care clinicians. *Crit Care Med.* 2007a; 35(5 Suppl):S144-9.

Bials M, Carrie C, Delaunay F, Morel N, Revel P, Janvier G. Evaluation of a new pocket echoscopic device for focused cardiac ultrasonography in an emergency setting. *Crit Care.* 2012; 16(3):R82.

Biban P, Gaffuri M, Spaggiari S, Zaglia F, Serra A, Santuz P. Early recognition and management of septic shock in children. *Pediatr Rep.* 2012; 4(1):e13.

Blehar DJ, Resop D, Chin B, Dayno M, Gaspari R. Inferior vena cava displacement during respirophasic ultrasound imaging. *Crit Ultrasound J.* 2012; 4(1):18.

Boyd JH, Forbes J, Nakada TA, Walley KR, Russell JA. Fluid resuscitation in septic shock: a positive fluid balance and elevated central venous pressure are associated with increased mortality. *Crit Care Med.* 2011; 39(2):259-65.

Brown SM, Pittman JE, Hirshberg EL, Jones JP, Lanspa MJ, Kuttler KG, Litwin SE, Grissom CK. Diastolic dysfunction and mortality in early severe sepsis and septic shock: a prospective, observational echocardiography study. *Crit Care Ultrasound J.* 2012; 4(1):8.

- Bustam A, Noor Azhar M, Singh Veriah R, Arumugam K, Loch A. Performance of emergency physicians in point-of-care echocardiography following limited training. *Emerg Med J*. 2013 Feb 21. [Epub ahead of print]
- Calafiore P, Stewart WJ. Doppler echocardiographic quantitation of volumetric flow rate. *Cardiol Clin*. 1990; 8(2):191-202.
- Caronia J, Kutnick R, Sarzynski A, Panagopoulos F, Mahdavi R, Mina G. Focused transthoracic echocardiography performed and interpreted by medical residents in the critically ill. *ICU Director*. July 2013; 4:177-82.
- Carr BG, Dean AJ, Everett WW, Ku BS, Mark DG, Okusanya O, Horan AD, Gracias VH. Intensivist bedside ultrasound (INBU) for volume assessment in the intensive care unit: a pilot study. *J Trauma*. 2007; 63(3):495-500.
- Cavaleiro N. *FQ8 - Sustentabilidade na terra*. Portugal: Asa, 2006.
- Ceneviva G1, Paschall JA, Maffei F, Carcillo JA. Hemodynamic support in fluid-refractory pediatric septic shock. *Pediatrics*. 1998; 102(2):e19.
- ChenZbraun A. *Emergency echocardiography*. 1ª ed. São Paulo: Springer, 2009.
- Cholley BP, Mayo PH, Poelaert J, Vieillard-Baron A, Vignon P, Alhamid S, Balik M, Beaulieu Y, Breitzkreutz R, Canivet JL, Doelken P, Flaatten H, Frankel H, Haney M, Hilton A, Maury E, McDermid RC, McLean AS, Mendes C, Pinsky MR, Price S, Schmidlin D, Slama M, Talmor D, Teles JM, Via G, Voga G, Wouters P, Yamamoto T. International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med*. 2011; 37(7):1077-83.

Chong SW, Peyton PJ. A meta-analysis of the accuracy and precision of the ultrasonic cardiac output monitor (USCOM). *Anaesthesia*. 2012; 67(11):1266-71.

Colreavy FB, Donovan K, Lee KY, Weekes J. Transesophageal echocardiography in critically ill patients. *Crit Care Med*. 2002; 30(5):989-96.

Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE, Wagner D, Desbiens N, Goldman L, Wu AW, Califf RM, Fulkerson WJ Jr, Vidaillet H, Broste S, Bellamy P, Lynn J, Knaus WA. The effectiveness of right heart catheterisation in the initial care of critically ill patients. *JAMA*. 1996; 276(11):889-97.

Croft LB, Duvall WL, Goldman ME. A pilot study of the clinical impact of hand-carried cardiac ultrasound in the medical clinic. *Echocardiography*. 2006; 23(6):439-46.

Dalen H, Haugen BO, Graven T. Feasibility and clinical implementation of hand-held echocardiography. *Expert Rev Cardiovasc Ther*. 2013; 11(1):49-54.

Dalla Pozza R, Loeff M, Kozlik-Feldmann R, Netz H. Hand-carried ultrasound devices in pediatric cardiology: clinical experience with three different devices in 110 patients. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010; 23(12):1231-7

De Backer D; Fagnoul D. Pocket ultrasound devices for focused echocardiography. *Crit Care*. 2012; 16(3):134.

DeCara JM, Lang RM, Koch R, Bala R, Penzotti J, Spencer KT. The use of small personal ultrasound devices by internists without formal training in echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 2003; 4(2):141-7.

Degirmencioglu A, Karakus G, Güvenc TS, Pinhan O, Sipahi I, Akyol A. Echocardiography-guided or "sided" pericardiocentesis. *Echocardiography*. 2013; 30(9):997-1000.

Della Rocca G, Costa GM, Coccia C, Pompei L, Di Marco P, Pietropaoli P. Preload index: pulmonary artery occlusion pressure versus intrathoracic blood volume monitoring during lung transplantation. *Anesth Analg*. 2002; 95(4):835-43.

Dellinger RP, Levy MM, Rhodes A, Annane D, Gerlach H, Opal SM, Sevransky JE, Sprung CL, Douglas IS, Jaeschke R, Osborn TM, Nunnally ME, Townsend SR, Reinhart K, Kleinpell RM, Angus DC, Deutschman CS, Machado FR, Rubenfeld GD, Webb S, Beale RJ, Vincent JL, Moreno R; Surviving Sepsis Campaign Guidelines Committee including The Pediatric Subgroup. Surviving Sepsis Campaign: international guidelines for management of severe sepsis and septic shock, 2012. *Intensive Care Med*. 2013; 39(2):165-228

Dinh VA, Ko HS, Rao R, Bansal RC, Smith DD, Kim TE, Nguyen HB. Measuring cardiac index with a focused cardiac ultrasound examination in the ED. *Am J Emerg Med*. 2012; 30(9):1845-51.

Expert Round Table on Echocardiography in ICU. International consensus statement on training standards for advanced critical care echocardiography. *Intensive Care Med*. 2014; 40(5):654-66.

Feissel M, Michard F, Faller JP, Teboul JL. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med*. 2004; 30(9):1834-7.

- Fields JM, Lee PA, Jenq KY, Mark DG, Panebianco NL, Dean AJ. The interrater reliability of inferior vena cava ultrasound by bedside clinician sonographers in emergency department patients. *Acad Emerg Med*. 2011; 18(1):98-101.
- Flierl MA, Rittirsch D, Huber-Lang MS, Sarma JV, Ward PA. Molecular events in the cardiomyopathy of sepsis. *Mol Med*. 2008; 14(5-6):327-36.
- Gan H, Cannesson M, Chandler JR, Ansermino JM. Predicting fluid responsiveness in children: a systematic review. *Anesth Analg*. 2013; 117(6):1380-92.
- Gazit AZ, Cooper DS. Emerging technologies. *Pediatric Crit Care Med*. 2011; 12(4 Suppl):S55-61.
- Goodman A, Perera P, Mailhot T, Mandavia D. The role of bedside ultrasound in the diagnosis of pericardial effusion and cardiac tamponate. *J Emerg Trauma Shock*. 2012; 5(1):72-5.
- Gudmundsson P, Rydberg E, Winter R, Willenheimer R. Visually estimated left ventricular ejection fraction by echocardiography is closely correlated with formal quantitative methods. *Int J Cardiol*. 2005; 101(2):209-12.
- Gueret G, Kiss G, Rossignol B, Bezon E, Wargnier JP, Miossec A, Corre O, Arvieux CC. Cardiac output measurements in off-pump coronary surgery comparison between NICCO and the Swan-Ganz catheter. *Eur J Anesthesiol*. 2006; 23(10):848-54.
- Guimarães JI, Silva CES, Tasca R, Witzel LH, Moisés WA, Ferreira LDC, Tavares GMP, Ortiz J, Mewdeiros CCJ, Monaco CG, Peixoto Lb. Normatização dos equipamentos e técnicas de exame para realização de exames ecocardiográficos. *Arq Bras Cardiol*. 2004; 82(Suppl. 2).

Gunst M, Matsushima K, Sperry J, Ghaemmaghami V, Robinson M, O'Keeffe T, Friese R, Frankel H. Focused bedside echocardiography in the surgical intensive care unit: comparison of 3 methods to estimate cardiac index. *J Intensive Care Med.* 2011; 26(4):255-60.

Haines EJ, Chiricolo GC, Aralica K, Briggs WM, Van Amerongen R, Laudénbach A, O'Rourke K, Melniker L. Derivation of a pediatric growth curve for inferior vena caval diameter in healthy pediatric patients: brief report of initial curve development. *Crit Ultrasound J.* 2012; 4(1):12.

Hamzaoui O, Monnet X, Richard C, Osman D, Chemla D, Teboul JL. Effects of changes in vascular tone on the agreement between pulse contour and transpulmonary thermodilution cardiac output measurements within an up to 6-hour calibration-free period. *Crit Care Med* 2008; 36(2):434-40.

Harmanakaya A, Akilli H, Gul M, Akilli NB, Ergin M, Aribas A, Cander B. Assessment of right ventricular functions in patients with sepsis, severe sepsis and septic shock and its prognostic importance: a tissue Doppler study. *J Crit Care.* 2013; 28(6):1111.e7-e11.

Heidenreich PA. Transesophageal echocardiography (TEE) in the critical care patient. *Cardiol Clin.* 2000;18:(4)789-805.

Hochstadt A, Meroz Y, Landesberg G. Myocardial dysfunction in severe sepsis and septic shock: more questions than answers? *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2011; 25(3):526-35.

- Hofer CK, Furrer L, Matter-Ensner S, Maloigne M, Klaghofer R, Genoni M, Zollinger A. Volumetric preload measurement by thermodilution: a comparison with thranseophageal echocardiography. *Br J Anaesth*. 2005; 94(6):748-55.
- Iberti TJ, Fisher EP, Leibowitz AB, Panacek EA, Silverstein JH, Albertson TE. A multicenter study of physicians' knowledge of the pulmonary artery catheter. Pulmonary Artery Catheter Study Group. *JAMA*. 1990; 264(22):2928-32.
- Jardin F, Brun-Ney D, Auvert B, Beauchet A, Bourdarias JP: Sepsis-related cardiogenic shock. *Crit Care Med*. 1990, 18: 1055-60.
- Jung HO. Pericardial effusion and pericardiocentesis: role of echocardiography. *Korean Circ J*. 2012; 42(11):725-34.
- Kaddoura S. *Echo made easy*. 2a ed. Londres: Elsevier, 2009.
- Kimura JB; DeMaria AN. Technology insight: hand-carried ultrasound cardiac assessment - Evolution, not revolution. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med*. 2005; 2(4):217-23.
- Klugman D, Berger JT. Echocardiography as a hemodynamic monitor in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med*. 2011; 12(4 Duppl):S50-4.
- Kotake Y, Moriyama K, Innami Y, Shimizu H, Ueda T, Morisaki H, Takeda J. Performance of noninvasive partial CO₂ rebreathing cardiac output and continuous thermodilution cardiac output in patients undergoing aortic reconstruction surgery. *Anesthesiology*. 2003; 99(2):283-8.

Kumar A, Anel R, Bunnell E, Habet K, Zanotti S, Marshall S, Neumann A, Ali A, Cheang M, Kavinsky C, Parrillo JE. Pulmonary artery occlusion pressure and central venous pressure fail to predict ventricular filling volume, cardiac performance or the response to volume infusion in normal subjects. *Crit Care Med.* 2004; 32(3):691-9.

Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, Porter TR, Spencer KT, Tayal VS, Wei K. Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010; 23(12):1225-30.

Lai WW, Geva T, Shirali GS, Frommelt PC, Humes RA, Brook MM, Pignatelli RH, Rychik J; Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography; Pediatric Council of the American Society of Echocardiography.. Guidelines and Standards for Performance of a Pediatric Echocardiogram: A Report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006; 19(12):1413-30.

Landesberg G, Gilon D, Meroz Y, et al. Diastolic dysfunction and mortality in severe sepsis and septic shock. *Eur Heart J.* 2012; 33:895-903.

Longjohn M, Wan J, Joshi V, Pershard J. Point-of-care echocardiography by pediatric emergenc physicians. *Pediatr Emer Care.* 2011; 27(8):693-6.

Maitland K, Kiguli S, Opoka RO, Engoru C, Olupot-Olupot P, Akech SO, Nyeko R, Mtove G, Reyburn H, Lang T, Brent B, Evans JA, Tibenderana JK, Crawley J, Russell EC, Levin M, Babiker AG, Gibb DM; FEAST Trial Group. Mortality after fluid bolus in African children with severe infection. *N Engl J Med.* 2011; 364(26):2483-95.

Manasia AR, Nagaraj HM, Kodali RB, Croft LB, Oropello JM, Kohli-Seth R, Leibowitz AB, DelGiudice R, Hufanda JF, Benjamin E, Goldman ME. Feasibility and potencial clinical utility of goal-directed transthoracic echocardiography performed by noncardiologist intensivist using small hand-carried device (SonoHeart) in critically ill patients. *J Cardiothoracic Vasc Anesth*. 2005; 19(2):155-9.

Mandavia DP, Hoffner RJ, Mahaney K, Henderson SO. Bedside echocardiography by emergency physicians. *Ann Emerg Med*. 2001; 38(4):377-82.

Mandelbaum-Iskem VH, Linderkamp O. Cardiac output by pulsed Doppler in neonates using apical window. *Pediatr Cardiol*. 1991; 12(1):13-6.

Mandeville JC, Colebourn CL. Can transthoracic echocardiography be used to predict fluid responsiveness in the critically ill patient? A systematic review. *Crit Care Res Pract*. 2012; 2012:513480.

Marik PE. Obituary: pulmonary artery catheter 1970 to 2013. *Annals of Intensive Care*. 2013; 3(1):38.

Martin LD, Howell EE, Ziegelstein RC, Martire C, Whiting-O'Keefe QE, Shapiro EP, Hellmann DB. Hand-carried ultrasound performed by hospitalists: does it improve the cardiac physical examination? *Am J Med*. 2009; 122(1):35-41.

Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, Oropello J, Vieillard-Baron A, Axler O, Lichtenstein D, Maury E, Slama M, Vignon P. American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 2009; 135(4):1050-60.

Melamed R, Sprenkle MD, Ulstad VK, Herzog CA, Leatherman JW. Assessment of left ventricular function by intensivists using hand-held echocardiography. *Chest*. 2009; 135(6):1416-20.

Mellander M, Sabel K, Caidahk K, Solymar L, Eriksson B. Doppler determination of cardiac output in infants and children: comparison with simultaneous thermodilution. *Pediatr Cardiol*. 1987; 8(4):241-6.

Mjølstad OC, Andersen GN, Dalen H, Graven T, Skjetne K, Kleinau JO, Haugen BO. Feasibility and reliability of point-of-care pocket-size echocardiography performed by medical residents. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2013; 14(12):1195-202.

Muller L, Bobbia X, Toumi M, Louart G, Molinari N, Ragonnet B, Quintard H, Leone M, Zoric L, Lefrant JY; the AzuRea group. Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use. *Crit Care*. 2012; 16(5):R188.

Natanson C, Danner RL, Elin RJ, Hosseini JM, Peart KW, Banks SM, MacVittie TJ, Walker RI, Parrillo JE: Role of endotoxemia in cardiovascular dysfunction and mortality. *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* challenges in a canine model of human septic shock. *J Clin Invest*. 1989, 83: 243-51.

Noble VE, Nelson BP. *Emergency and critical care ultrasound*. 2a ed. Nova Iorque: Cambridge University Press 2011.

Odetola FO, Gebremariam A, Freed GL. Patient and hospital correlates of clinical outcomes and resource utilization in severe pediatric sepsis. *Pediatrics*. 2007; 119:487-94.

Oliveira FC. Early goal-directed therapy in treatment of pediatric septic shock. *Shock*. 2010; 34(Suppl. 1):44-7.

Otto CM. *Fundamentos de ecocardiografia clínica*. 4ª ed. São Paulo: Elsevier, 2009.

Parker M, Shelhamer J, Bacharach S, Green M, Natanson C, Frederick T, Damske B, Parrillo J: Profound but reversible myocardial depression in patients with septic shock. *Ann Intern Med*. 1984, 100: 483-90.

Perera P, Lobo V, Williams SR, Gharahbaghian L. Cardiac echocardiography. *Crit Care Clin*. 2014; 30(1):47-92.

Pershad J, Myers S, Plouman C, Rosson C, Elam K, Wan J, Chin T. Bedside limited echocardiography by the emergency physician is accurate during evaluation of the critically ill patient. *Pediatrics*. 2004; 114(6):e667-71.

Peters SG, Afessa B, Decker PA, Schroeder DR, Offord KP, Scott JP. Increased risk associated with pulmonary artery catheterization in the medical intensive care unit. *J Crit Care*. 2003; 18(3):166-71.

Pinsky MR. Hemodynamic evaluation and monitoring in the ICU. *Chest*. 2007; 132(6):2020-9.

Pollack MM, Reed TP, Holbrook PR, Fields AI. Bedside pulmonary artery catheterization in pediatrics. *J Pediatr*. 1980; 96(2):274-6.

Pulido JN, Afessa B, Masaki M, Yuasa T, Gillespie S, Herasevich V, Brown DR, Oh JK. Clinical Spectrum, Frequency, and Significance of Myocardial Dysfunction in Severe Sepsis and Septic Shock. *Mayo Clin Proc.* 2012; 87(7):620-8.

Pulmonary Artery Catheter Conference participants. Pulmonary Artery Catheter Consensus conference: consensus statement. *Crit Care Med.* 1997; 25(6):910-25.

Ramsingh D, Alexander B, Cannesson M. Clinical review: Does it matter which hemodynamic monitoring system is used? *Crit Care.* 2013; 17(2):208.

Randazzo MR, Snoey ER, Binder K. Accuracy of emergency physician assessment of left ventricular ejection fraction and central venous pressure using echocardiography. *Acad Emerg Med.* 2003;10(9):973-7.

Razi R, Estrada JR, Doll J, Spencer KT. Bedside hand-carried ultrasound by internal medicine residents versus traditional clinical assessment for the identification of systolic dysfunction in patients admitted with decompensated heart failure. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011; 24(12):1319-24.

Rocco M, Spadetta G, Morelli A, Dell'Utri D, Porzi P, Conti G, Pietropaoli P. A comparative evaluation of thermodilution and partial CO₂ rebreathing techniques for cardiac output assessment in critically ill patients during assisted ventilation. *Intensive Care Med.* 2004; 30(1):82-7.

Roelandt J, Wladmiroff JW, Baars AM. Ultrasonic real time imaging with a hand-held-scanner. Part II- initial clinical experience. *Ultrasound Med Biol.* 1978; 4(2):93-7.

Rosenberg AL, Dechert RE, Park PK, Bartlett RH; NIH NHLBI ARDS Network. Review of a large clinical series: association of cumulative fluid balance on outcome in acute lung injury: a retrospective review of the ARDSnet tidal volume study cohort. *J Intensive Care Med.* 2009; 24(1):35-46.

Rosenberg D, Moss M, The American College of Critical Care Medicine of the Society of Critical Care Medicine. Guidelines and levels of care for pediatric intensive care units. *Crit Care Med.* 2004; 32(10):2117-27.

Royse CF, Haji DL, Faris JG, Veltman MG, Kumar A, Royse AG. Evaluation of the interpretative skills of participants of a limited transthoracic echocardiography training course (H.A.R.T.scan® course). *Anaesth Intensive Care.* 2012; 40(3):498-504.

Salem K, Mulji A, Lonn E. Echocardiographically guided pericardiocentesis - the gold standard for the management of pericardial effusion and cardiac tamponade. *Can J Cardiol.* 1999; 15(11):1251-5.

Schiller NB, Shah PM, Crawford M, DeMaria A, Devereux R, Feigenbaum H, Gutgesll H, Schnittger I. American Society of Echocardiography Committee on Standards, subcommittee on quantification of two-dimensional echocardiograms. Recommendations for quantification of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 1989; 2(5):358-67.

Solomon SD. *Atlas of echocardiography*. 2^a ed. Boston: Springer, 2009.

Spencer KT, Kimura BJ, Korcarz CE, Pellikka PA, Rahko PS, Siegel RJ. Focused cardiac ultrasound: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013; 26(6):567-81.

Spevack DM, Spevack DM, Tunick PA, Kronzon I. Hand carried echocardiography in the critical care setting. *Echocardiography* 2003; 20(5):455-61.

Spurney CF, Sable CA, Berger JT, Martin GR. Use of a hand-carried ultrasound device by critical care physicians for the diagnosis of pericardial effusions, decreased cardiac function, and left ventricular enlargement in pediatric patients. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005; 18(4):313-9.

Squara P, Bennett D, Perret C. Pulmonary artery catheter: does the problema lie with the users? *Chest*. 2002; 121(6):2009-15.

Szejnfeld J, Filho ASC. Ultra-som diagnóstico - Aplicação do exame no tórax. *J Pneumol*. 1984; 10:110.

Tachibana K, Imanaka H, Takeuchi M, Takauchi Y, Miyano H, Nishimura M.. Noninvasive cardiac output measurement using partial carbon dioxid rebreathing is less accurate at settings of reduce minute ventilation and when spontaneous breathing is present. *Anesthesiology*. 2003; 98(4):830-7.

Tanzola RC, Walsh S, Hopman WM, Sydor D, Arellano R, Allard RV. Brief report: Focused transthoracic echocardiography training in a cohort of Canadian anesthesiology: a pilot study. *Can J Anaesth*. 2013; 60(1):32-7.

Todres ID, Crone RK, Rogers ML. Swan-Ganz catheterization in the critically ill newborn. *Crit Care Med*. 1979; 7(8):330-4.

Tsang TS, Oh JK, Seward JB, Tajik AJ. Diagnostic value of echocardiography in cardiac tamponade. *Herz*. 2000; 25(8):734-40.

Tsang TS, Oh JK, Seward JB. Diagnosis and management of cardiac tamponade in the era of echocardiography. *Clin Cardiol*. 1999; 22(7):446-52.

Unluer EE, Karagoz A, Akoglu H, Bayata S. Visual estimation of bedside echocardiography ejection fraction by emergency physicians. *West J Emerg Med*. 2014; 15(2):221-6.

Unlüer EE, Karagöz A, Akoğlu H, Bayata S. Visual estimation of bedside echocardiographic ejection fraction by emergency physicians. *West J Emerg Med*. 2014; 15(2):221-6.

Van Royen N, Jaffe CC, Krumholz HM, Johnson KM, Lynch PJ, Natale D, Atkinson P, Deman P, Wackers FJ. Comparison and reproducibility of visual echocardiographic and quantitative radionuclide left ventricular ejection fraction. *Am J Cardiol*. 1996; 77(10):843-50.

Vieillard-Baron A, Caille V, Charron C, Belliard G, Page B, Jardin F: Actual incidence of global left ventricular hypokinesia in adult septic shock. *Crit Care Med*. 2008, 36: 1701-6.

Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Dubourg O, Jardin F. Hemodynamic instability in sepsis: bedside assessment by Doppler echocardiography. *Am J Resp Care* 2003; 168(11):1270-6.

Vieillard-Baron A. Septic cardiomyopathy. *Ann Intensive Care*. 2011; 1(1):6.

Vignon P, Chastagner C, Francois B, Martailé JF, Normand S, Bonnivard M, Gastinne H. Diagnostic ability of hand-held echocardiography in ventilated critically ill patients. *Crit Care*. 2003; 7(5):R84-91.

Vignon P, Dugard A, Abraham J, Belcour D, Gondran G, Pepino F, Marin B, François B, Gastinne H. Focused training for goal-oriented hand-held echocardiography performed by noncardiologist residents in the intensive care unit. *Intensive Care Med.* 2007; 33(10):1795-9.

Vignon P, Mucke F, Bellec F, Marin B, Croce J, Brouqui T, Palobart C, Senges P, Truffey C, Wachmann A, Dugard A, Amiel JB. Basic critical care echocardiography: Validation of a curriculum dedicated to noncardiologist residents. *Crit Care Med.* 2011; 39(4):636-42.

Vignon P. Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography Doppler. *Curr Opin Crit Care.* 2005; 11(3):227-34.

Vignon P. Ventricular diastolic abnormalities in the critically ill. *Curr Opin Crit Care.* 2013, 19:242-9

Vincent JL, De Backer D. Circulatory shock. *N Engl J Med.* 2013; 369(18):1726-34.

Vincent JL, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Della Rocca G, Vallet B, Pinsky MR, Hofer CK, Teboul JL, de Boode WP, Scolletta S, Vieillard-Baron A, De Backer D, Walley KR, Maggiorini M, Singer M. Clinical review: update on hemodynamic monitoring - a consensus of 16. *Crit Care.* 2011; 1(4):229.

Watson RS, Carcillo JA, Linde-Zwirble WT, et al. The epidemiology of severe sepsis in the United States. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003; 167:695-701.

Yoshizato T, Hagler DJ. Pulmonary artery catheter placement with two-dimensional echocardiography guidance: A technique applicable in critically ill neonates. *Mayo Clin Proc.* 1989; 64(4):387-91.

APÊNDICE

Apêndice A - Artigo publicado

Gaspar et al. *BMC Medical Education* 2014, **14**:25
http://www.biomedcentral.com/1472-6920/14/25

RESEARCH ARTICLE

Open Access

Focused cardiac ultrasound: a training course for pediatric intensivists and emergency physicians

Heloisa A Gaspar^{1*}, Samira S Morhy², Alessandro C Lianza², Werther B de Carvalho¹, Jose L Andrade², Rogério R do Prado³, Cláudio Schwartsman⁴ and Artur F Delgado¹

Abstract

Background: Focused echocardiographic examinations performed by intensivists and emergency room physicians can be a valuable tool for diagnosing and managing the hemodynamic status of critically ill children. The aim of this study was to evaluate the learning curve achieved using a theoretical and practical training program designed to enable pediatric intensivists and emergency physicians to conduct targeted echocardiograms.

Methods: Theoretical and practical training sessions were conducted with 16 pediatric intensivist/emergency room physicians. The program included qualitative analyses of the left ventricular (LV) and right ventricular (RV) functions, evaluation of pericardial effusion/cardiac tamponade and valvular regurgitation and measurements of the distensibility index of the inferior vena cava (dIVC), ejection fraction (EF) and cardiac index (CI). The practical training sessions were conducted in the intensive care unit; each student performed 24 echocardiograms. The students in training were evaluated in a practical manner, and the results were compared with the corresponding examinations performed by experienced echocardiographers. The evaluations occurred after 8, 16 and 24 practical examinations.

Results: The concordance rates between the students and echocardiographers in the subjective analysis of the LV function were 81.3% at the first evaluation, 96.9% at the second evaluation and 100% at the third evaluation ($p < 0.001$). For the dIVC, we observed a concordance of 46.7% at the first evaluation, 90.3% at the second evaluation and 87.5% at the third evaluation ($p = 0.004$). The means of the differences between the students' and echocardiographers' measurements of the EF and CI were 7% and 0.56 L/min/m², respectively, after the third stage of training.

Conclusions: The proposed training was demonstrated to be sufficient for enabling pediatric physicians to analyze subjective LV function and to measure dIVC, EF and CI. This training course should facilitate the design of other echocardiography training courses that could be implemented in medical residency programs to improve these physicians' technical skills and the care of critically ill patients.

Keywords: Echocardiography, Critical care, Ventricular function, Training course, Medical education, Children

Background

Conditions that lead to hemodynamic instability occur frequently in intensive care units (ICUs) and emergency rooms (ERs) [1,2]. The evaluation of a patient's hemodynamic status should be based on indicators that assess cardiac function and volume status, not only on physical examination findings that might be inaccurate and insufficient. Thus, using hemodynamic monitoring methods is

essential, particularly the noninvasive options [3,4]. Trans-thoracic echocardiogram, which is a widely used method for assessing cardiac function in the ICU and ER, is a valuable tool for diagnosing, monitoring and managing critically ill patients [5,6]. Previous studies have demonstrated that the data obtained from echocardiograms, when performed by experienced echocardiographers in the ICU, may result in improved treatment in 40% of patients [7,8]. A recent review of hemodynamic monitoring in pediatric patients emphasized the importance of echocardiography as a tool for assessing cardiac function in critically ill children [9].

* Correspondence: heloisaagaspar@uol.com.br

¹Pediatric Intensive Care - Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina, São Paulo University, Rua do Carreiro de Pedra 111 apto 152C, Jd. Caravelas, CEP 04728-020 São Paulo, Brazil
Full list of author information is available at the end of the article

© 2014 Gaspar et al.; licensee BioMed Central Ltd. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

The concepts of critical care echocardiography (CCE) [10] and focused cardiac ultrasound (FOCUS) [11] have been developed over the last decade and consist of an examination that is performed and interpreted by the non-echocardiographer physician as an extension of the physical examination and as part of a hemodynamic monitoring assessment. The CCE comprises two levels (basic and advanced). Basic CCE, which is similar to FOCUS, is defined as an evaluation performed in a targeted and objective manner to assess a limited number of clinical issues, such as the presence of hypovolemia, left ventricular (LV) and right ventricular (RV) dysfunction, pericardial effusion (PE)/cardiac tamponade and significant valvular regurgitation [10,11].

In 2011, intensive care experts concluded that the basic CCE should be a required component of the training of every ICU physician and that a theoretical program must have a minimum of 10 hours [12]. Most recently, the American Society of Echocardiography reaffirmed the role of FOCUS as a core curriculum for all medical resident training [13]. Multiple subspecialist groups have expressed interest in using focused cardiac ultrasound, including neonatologists, pediatric/medical/surgical intensivists, anesthesiologists and trauma surgeons [12-18]. However, no consensus exists regarding a practical curriculum design for transmitting the knowledge and technical skills required to enable these physicians to perform the basic CCE/FOCUS module.

The present study was designed to test the hypothesis that a combined course of theoretical and practical training conducted under specialist supervision would enable pediatric intensivists and emergency physicians to perform targeted cardiac ultrasounds on pediatric patients, to delineate the learning curve and to determine the minimum number of practical examinations that is required for this training and thus guide the implementation of focused echocardiography training in medical residency programs.

Methods

Selection of participants

The patients were considered to be eligible for the study if they were between one month and 14 years of age. Preference was given to the inclusion of patients with hospitalizations related to hemodynamic instability; however, in the absence of these patients, we included patients with other causes of hospitalization, except children with a congenital heart defect. The project was approved by the ethics committee of the institution, and free and informed consent was obtained from all of the patients' legal guardians before each participant was included in the study.

The number of tests required for the study to achieve 95% confidence and 80% power was calculated using the variable cardiac index (for its clinical utility and technical

difficulty); 16 tests in each stage of the evaluation were shown to be necessary. Among the 20 ICU/ER physicians who had volunteered to participate (13 intensivists and seven emergency physicians), 16 were randomly selected to attend the training (10 intensivists and six emergency physicians). Among the 16 participating physicians, the median age was 33 years (28-50 years), two were male and 14 were female, and they included both recent graduates and experienced physicians. All of the participants had at least 1 year of work experience in a pediatric ER or ICU. The pediatric physicians in training did not have prior ultrasound and echocardiography experience.

Course model and curricular content

The training curriculum, consisting of 10 theoretical lessons followed by 12 practical sessions, was conducted in two similar groups (eight physicians/group), and each section lasted for three months. Each student was submitted to one practical class/week and remained in training for 3 months (Figure 1). The training was conducted and supervised by two advanced pediatric echocardiographers, according to the American Society of Echocardiography guidelines [19].

The theoretical lessons consisted of 10 hours of training (one hour per lesson) that comprised expositive classes and discussions of videos and images; these lessons addressed the entire content to be evaluated in the practical training. The curriculum was based on the main topics determined by previous experts' consensus [10] and included volume evaluation by measuring the diastolic volume (DVC), qualitative analyses of the LV and RV functions, evaluation of PE/cardiac tamponade and valvular regurgitation and quantitative analysis of the LV function by measuring the ejection fraction (EF) and cardiac index (CI) (Table 1).

The practical lessons were divided into subgroups attended by four students who were supervised by one echocardiographer, for a total of 12 lessons per student (one lesson/week), with each lesson lasting four hours. We opted to perform only one practical class/week/student to allow a higher patient turnover. The students in training conducted two full targeted echocardiographic examinations of different patients in each of the 12 practical lessons; thus, at the end of the training period, each student had performed 24 examinations under supervision (Figure 1). Each student also participated in the real-time assessment of the examinations conducted by the three other students in their subgroup, totaling 96 examinations that were interpreted by each student at the end of the course. The physicians in training did not perform any echocardiographic examinations other than the practical and evaluation sessions.

All of the practical classes were conducted in the pediatric ICU that was classified as Level I by the Society

of Critical Care Medicine [20]. The facility has an 18-bed ICU, with an average of 40 inpatients/month, providing care to medical and surgical patients (except for patients with congenital heart defects, who are treated in another specified unit). Mechanical ventilation was used in nearly 60% of the patients, with vasoactive drug administration greater than 30% and a mortality rate of approximately 10%.

The portable echocardiogram equipment employed throughout the entire training program (Sonosite® MicroMaxx model, Sonosite, Inc., Bothell, Washington, USA) allowed measurements and calculations using M-mode, two-dimensional and Doppler techniques. The practical training sessions and evaluations were performed using image acquisition through the parasternal (long and short axis), subcostal (four-chamber and inferior vena cava) and apical (four- and five-chamber) windows. The content of the training is presented in Table 2.

Table 1 Theoretical content of the training

Basic principles of ultrasonography/echocardiography
Handling of portable echocardiogram equipment
Essential cardiac anatomy
Obtaining echocardiographic images
Pulsed Doppler and color flow mapping
Subjective assessment of left ventricular systolic function and evaluation of the shortening/ejection fraction
Subjective assessment of the right ventricle systolic function
Volume status evaluation-distensibility index of the inferior vena cava (dIVC). [dIVC = Dmax - Dmin/Dmin]
Assessment of cardiac output-aortic velocity-time integral ratio and left ventricle outflow tract diameter
Evaluation of the cardiac valves and the pericardium

Echocardiography variables

The LV function, assessed both qualitatively and quantitatively, was graded and classified subjectively through visual evaluation using two-dimensional images as follows: 0 - normal (EF greater than 55%), 1 - slight dysfunction (EF between 40% and 55%), 2 - moderate dysfunction (EF between 30% and 40%) and 3 - severe dysfunction (EF less than 30%). To calculate the EF, end-systolic and end-diastolic LV internal diameters were measured by M-mode using the inner edge technique at the level of the mitral leaflet tips in the parasternal long-axis view (Figure 2). The RV function was assessed only qualitatively and graded subjectively by two-dimensional mode using the same classification described for LV function.

Table 2 Practical content of the training

By M-mode:
Left ventricle systolic and diastolic diameter (parasternal long axis)
Left ventricle shortening fraction (parasternal long axis)
Left ventricle ejection fraction (parasternal long axis)
Distensibility index of the inferior vena cava (subcostal view)
By 2 - dimensional imaging:
Qualitative assessment of left ventricular function (normal, mild, moderate or severe depressed)
Qualitative assessment of right ventricular function (normal, mild, moderate or severe depressed)
Presence and severity of pericardial effusion (absent, small, moderate or severe)
Left ventricle outflow tract diameter (parasternal long axis)
By Doppler:
Velocity-time integral of aortic flow (apical 5-chamber view)
By color flow mapping:
Presence and severity of mitral and tricuspid valve regurgitation (absent, mild, moderate or severe) (apical 4-chamber view)

The dIVC was calculated based on the respiratory changes in the IVC diameter using the following formula: $dIVC = (\text{maximum diameter IVC} - \text{minimum diameter IVC}) / \text{minimum diameter}$. This index was indicative of individual volume responsiveness when greater than 18% and of volume unresponsiveness when less than 18% [21].

To calculate the CI, the aortic velocity-time integral (VTI) ratio (apical five-chamber view) and the LV outflow tract (LVOT) diameter (parasternal long-axis view) were measured (Figure 3).

The tricuspid regurgitation (TR) and mitral regurgitation (MR) were evaluated using color flow Doppler and were graded qualitatively as absent, mild (when the jet reached less than one-third of the atrial cavity), moderate (when the jet reached two-thirds of the atrial cavity) and severe (when the jet reached the atrial roof) (Figure 4).

Pericardial effusion was classified based on the distance between the heart and parietal pericardium as absent, mild (<0.5 cm), moderate (0.5-2 cm) and important (>2 cm).

Assessment

The evaluation of the students was practical and consisted of the completion of a targeted echocardiographic examination with subjective and objective analyses. The evaluation was documented via image recording and by completing a form listing the variables in question (Table 3). The students and the echocardiographer performed the examination measurements less than an hour apart from each other; both the student and the echocardiographer were blinded to the other's results.

Each student was tested at three different intervals throughout the training course: at the end of the eighth training examination (first evaluation), after the 16th examination (second evaluation) and after the 24th examination (third evaluation). For each evaluation, the tested student performed echocardiographic examinations of two different patients. The time allotted to complete each examination was 10 minutes. Figure 1 illustrates the training and evaluation sequence.

Statistical analysis

Statistical analysis of the continuous variables (EF and CI) was performed by comparing the average absolute difference between the evaluations by each student and the evaluations by the echocardiographer using repeated-measures analysis of variance. For the other measures (dIVC, subjective analyses of RV and LV functions, PE and valvular regurgitation), categories of concordance or nonconcordance with the cardiologist were created (Table 3). These differences were compared before and after the training (i.e., the first and final evaluations) using the generalized estimation equation with a binomial distribution and a logit liaison function; for the models that yielded statistical significance, the analysis was supplemented by Bonferroni multiple comparisons to identify which evaluations (1st,

2nd and 3rd) displayed differences. Significance was set at the 5% level.

Results

We conducted 96 practical examinations during the evaluations. Among the patients, 44% were male, and 56% were female, with a median age of 63 months. A total of 66 (69%) patients underwent mechanical ventilation, and 44

(45%) received vasoactive agents. The most frequent clinical diagnosis was septic shock (39%), followed by acute respiratory failure (33%) and neurological disease (16%). There was one case of pulmonary hypertension. We observed TR in 35 (37%) subjects, with 27 (28%) classified as mild, 5 (5%) as moderate (Figure 5) and 3 (3%) as severe. MR was found in 21 (22%) subjects, with all classified as mild. PE occurred in 15 (16%) subjects, LV dysfunction in

Table 3 Evaluation form - data obtained and echocardiographic views

Variable-Echo	Window
LV diastolic diameter (cm)	Parasternal long axis
LV systolic diameter (cm)	Parasternal long axis
Shortening fraction (%)	Parasternal long axis
Ejection fraction (%)	Parasternal long axis
Largest diameter of the inferior vena cava (cm)	Subcostal
Smallest diameter of the inferior vena cava (cm)	Subcostal
Distensibility index of the IVC (dIVC)*	Subcostal
Left ventricular function (0-3)	Parasternal/subcostal/apical
Right ventricular function (0-3)	Parasternal/subcostal/apical
Pericardial effusion (0-3)	Parasternal/subcostal/apical
Aortic velocity time integral (VTI) (cm)	Apical 5-chamber
Left ventricle outflow tract diameter (cm)	Parasternal long axis
Cardiac index (L/min/m ²)	Apical/Parasternal
Stroke volume (mL)	Apical/Parasternal
Mitral valve regurgitation (0-3)	Apical 4-chamber
Tricuspid valve regurgitation	(0-3) Apical 4-chamber
* <18% or >18%	0 – normal/absent
**PE	
Mild: <0.5 cm	1 – mild
Moderate: 0.5-2 cm	2 – moderate
Severe: >2 cm	3 – severe
**TR/MR	
Mild: <1/3 atrial cavity	
Moderate: 1/3-2/3 atrial cavity	
Severe: reaches atrial roof	

*Graduation criteria for pericardial effusion (PE), mitral regurgitation (MR) and tricuspid regurgitation (TR).

10 (10%) (Figure 5), and RV dysfunction in only two (2%). There were no cases of cardiac tamponade.

At the first evaluation, the students' inability to perform echocardiographic measurements because of the technical difficulty of image capture was 15.6% for the EF and CI, with great improvement throughout the training, as demonstrated by reductions in the inability rate to 6.3% and 3.1%, respectively, in the second and the third stages of evaluation. The same phenomena were observed for dIVC, MR and TR.

The concordance rates between the students and echocardiographers in the subjective analysis of LV function were 81.3% at the first evaluation, 96.9% at the second evaluation and 100% at the third evaluation ($p < 0.001$ for the 1st evaluation vs. the 3rd evaluation). Regarding the subjective analysis of LV function, when we comparatively assessed the first and second evaluations and the second and third evaluations separately, we observed no significant differences ($p = 0.1$ and 0.9 , respectively). For the RV subjective function evaluation, we observed concordance rates of 93.8%, 100% and 100% at each of the steps, respectively. This analysis was affected by the limited number of subjects (two cases) who had RV dysfunction (Table 4).

The means of the absolute differences between the students' and echocardiographers' EF measurements were 9.1% at the first evaluation, 8% at the second evaluation and 7% at the third evaluation ($p = 0.6$), and the medians were 8.8%, 6% and 5.2%, respectively.

For the dIVC measurement, we observed a concordance of 46.7% at the first evaluation, 90.3% at the second evaluation and 87.5% at the third evaluation ($p = 0.004$). Comparing the first and second evaluations, there was a significant difference ($p = 0.006$), which was

Table 4 Concordance between students and echocardiographers in the three-phase evaluations

Variable	Concordance	Evaluation						p
		1	2	3	1	2	3	
		n	%	n	%	n	%	
dIVC	Disagree	8	53,3	3	9,7	4	12,5	0,004
	Agree	7	46,7	28	90,3	28	87,5	
	Total	15	100	31	100	32	100	
LVF	Disagree*	6	18,8	1	3,1	0	0	<0,001
	Agree	26	81,3	31	96,9	32	100	
	Total	32	100	32	100	32	100	
RVF	Disagree*	2	6,3	0	0	0	0	#
	Agree	30	93,8	32	100	32	100	
	Total	32	100	32	100	32	100	
PE	Disagree*	2	6,3	0	0	5	15,6	0,258
	Agree	30	93,8	32	100	27	84,4	
	Total	32	100	32	100	32	100	
MR	Disagree*	9	29	2	6,7	3	9,4	0,043
	Agree	22	71	28	93,3	29	90,6	
	Total	31	100	30	100	32	100	
TR	Disagree*	8	25,8	7	22,6	6	18,8	0,758
	Agree	23	74,2	24	77,4	26	81,3	
	Total	31	100	31	100	32	100	

dIVC, distensibility index inferior vena cava; LVF, subjective left ventricular function; MR, mitral regurgitation; PE, pericardial effusion; RVF, right ventricular function; TR, tricuspid regurgitation.

*The non-concordance was one degree for these variables in the three assessment phases.

not found when the second and third evaluations were compared.

The means of the differences in the CI measurements were 1.31 L/min/m² at the first evaluation, 1.29 L/min/m² at the second evaluation and 0.56 L/min/m² at the third evaluation ($p = 0.001$), and the medians were 1.1 L/min/m², 0.9 L/min/m² and 0.5 L/min/m², respectively. The statistical analysis revealed a significant reduction in the difference in the mean CI measured by the students compared with the mean CI measured by the echocardiographers only in the final training phase (1st vs. 3rd evaluations).

The MR identification, with the correct degree of classification (mild, moderate or severe), between the students and echocardiographers were 71%, 93.3% and 90.6%, respectively, during the three evaluations ($p = 0.04$ between the 1st and 3rd evaluations; $p = 0.05$ between the 1st and 2nd evaluations). The TR identification and classification were correct in 74%, 77% and 81% of the cases, respectively ($p = 0.75$).

The PE evaluation displayed improved concordance between the students and echocardiographers when the first and second evaluations were compared (94% vs. 100%), with a drop in concordance to 84% at the third evaluation ($p = 0.25$). There were no cases of severe PE or cardiac tamponade in any phase of the study. Figure 6 shows the evolutionary analysis of the concordances between the students and echocardiographers for these variables during the training.

After completing the training curriculum, the students completed a questionnaire in which they were asked whether they felt capable of performing the various assessments. Of the 16 students trained, all felt capable of performing subjective and objective analyses of LV function, measurements of the dIVC index and identification of PE. Fourteen (87%) students considered themselves capable

of assessing RV function, and 12 (75%) considered themselves capable of assessing valvular regurgitation.

Discussion

The evaluation of LV function is an important assessment for the noncardiologist physician, with great clinical utility and can be performed subjectively without any specific measurements. In the present study, we observed increasingly high rates of concordance between the LV subjective evaluations performed by students and echocardiographers throughout the training session, with a high concordance rate (96.9%) even at the second stage of the evaluation. Similarly, Melamed et al. reported that intensivists were able to distinguish normal LV function from altered function in 86% of their adult patients [16]. In addition, Vignon et al. demonstrated a correct assessment of the LV function in 92% of the patients [22], and Manasia et al. showed accurate determinations in 84% of the patients [17]. Studying pediatric patients, Spurney et al. assessed the concordance of subjective LV function performed by pediatricians and cardiologists and demonstrated a strong correlation (96%) [23]. Longjohn et al. also demonstrated a good inter-observer agreement ($\kappa = 0.87$) between pediatricians and echocardiographers in subjectively differentiating normal LV function from reduced LV function [24].

The clinical utility of EF measurements for the management of critically ill patients has been established in previous pediatric studies [25,26]. We obtained a strong correlation between the quantitative EF measurements performed by the students and the echocardiographers in all three phases of training, with a mean of the absolute difference that was consistently less than ten EF points. Similar results were also reported by Pershad et al. in a pediatric population, in which the mean difference in the shortening fraction of the LV measurements was 4.4% after a brief theoretical/practical training course [27].

Regarding the subjective analysis of RV function, we observed that the concordance rate between students and echocardiographers was high in the 3 stages of evaluation; unfortunately, in our sample, there were only 2 children with RV dysfunction. Among the students, only 14 (87.5%) felt they were capable of performing this assessment; therefore, our data do not allow us to make conclusions about the empowerment and learning curve of students on the subjective analysis of RV function.

The measurement of CI is widely accepted and used as a hemodynamic monitoring tool in ICUs [28]. Minimally invasive devices, which are based primarily on pulse pressure analyses, are being developed for the measurement of CI in the adult patient population [29-31]. However, due to technical difficulties related to the unique physiological characteristics of children, these methods do not present an effective option in the arsenal of hemodynamic monitoring devices for the pediatric population. Although the

Figure 6 Concordance evolution analysis through the training. dIVC, distensibility index of inferior vena cava; LVF, left ventricular function; MR, mitral regurgitation; PE, pericardial effusion; TR: tricuspid regurgitation.

calculation of a CI value via a transthoracic echocardiogram requires measurements of the LVOT diameter and the aortic VTI and is therefore considered to be technically challenging, we obtained a good correlation after the third evaluation with a mean difference of only 0.56 L/min/m² between the measurements performed by the students and the echocardiographers. Evaluation of the CI by trained physicians in our study was performed in an innovative manner and demonstrated relevant results. This assessment might provide a new option in the arsenal for the hemodynamic monitoring of critically ill children, which emphasizes the need for extensive training that we observed in our study.

Respiratory changes in the diameter of the IVC in patients on mechanical ventilation are related to the individual's volemic state; hypovolemic patients present greater effects of positive pressure ventilation in venous return and a greater variation in the diameter of the IVC [21,32]. In our study, we observed a strong correlation at the second evaluation (16 training examinations), with a 90% concordance in the patient classification as volume-responsive (dIVC greater than 18%) or volume-unresponsive (dIVC less than 18%). In a pediatric study, Pershad et al. reported a strong correlation between the IVC diameter measurements performed by students in training compared with the measurements obtained by experienced echocardiographers; however, neither the dIVC nor another dynamic measurement of the IVC was evaluated during this study [27].

With respect to the evaluation of PE, we observed a decrease in concordance at the third evaluation. This reduced concordance rate could be explained by the small number of PEs that we had at this evaluation phase. Three cases were classified as mild by the echocardiographers but regarded by the students as absent. This misclassification could be attributed to the difficulties in distinguishing mild effusion from epicardial fat; most likely this type of PE would not have yielded any clinical implications for patient management. The literature reveals data that indicate that non-echocardiographer physicians can identify moderate and severe PE and cases of cardiac tamponade [22,33]. We believe that PE diagnosis could be performed by the ICU physician, especially in cases of large volumes; however, the limited number of cases, together with the absence of severe PE and cardiac tamponade, does not allow us to confirm this statement.

The analysis of valve regurgitation does not appear to be of great clinical importance in the emergency evaluation of critically ill children because of the rare occurrence of serious regurgitation with hemodynamic repercussions in children who do not present congenital heart disease. However, we performed the evaluation of MR and TR with the primary objective of addressing

the student's ability to identify TR, for a further measurement of the pulmonary pressure through the TR. We observed a good concordance rate in identifying MR after 16 training examinations; however, we did not see major improvements in the identification of TR during the training. Another relevant observation is that only 75% of students felt capable of detecting and grading valve regurgitation after the training. Therefore, although our work is the first to report the identification and graduation of MR and TR by pediatricians, our data do not allow us to state that this training was accomplished in a successful manner, and further analysis in this direction is required.

Royse et al. trained 100 students using multimedia presentations and practical lessons in healthy volunteers, without training the students on actual patients [34]. The students' assessment was performed by analyzing videos and yielded concordance rates of 95% for the evaluation of volemia and 99% for the analysis of LV function. Recently, Tanzola et al. reported on the training of 10 anesthesiology residents via theoretical sessions and "hands-on" sessions using normal subjects. The training included subjective analyses of RV and LV function, volume assessment and pericardial disease, and the students' evaluations were performed using 50 multiple-choice questions and videos. The results were presented as positive by improving post-test scores; however, there was no practical evaluation of the training [35]. The examination of ICU or ER patients in loco presents technical difficulties related to the capture of echocardiographic images due to factors specifically related to critically ill patients, such as the use of mechanical ventilation, limited mobility and difficulty in positioning the patient for the examination; these issues were not considered in the above-mentioned studies.

The present study, compared with previous studies, is noteworthy because it was conducted in the ICU and the examinations were performed on critically ill patients and provided practical training to a greater number of professionals. Our study is the first to establish the learning curve throughout the training of the pediatricians. The present study demonstrates that pediatric intensivists and emergency physicians are capable of performing the focused bedside echocardiography approach in critically ill children and emphasizes that whenever doubt exists regarding the presence of anatomical or functional abnormalities, the case should always be discussed with and reassessed by a pediatric echocardiographer [13,14].

Limitations

The primary limitations of the present study are as follows: 1) the echocardiography examinations were performed on selected patients based on a predefined training schedule;

thus, the study was conducted without including all of the echocardiographic possible abnormalities (e.g., there were no cases of cardiac tamponade or severe PE) during the training and evaluation stages, which limited our assessment of the learning curve regarding these echocardiographic alterations; 2) the design and sampling protocol of the study did not facilitate the evaluation of certain factors, such as accuracy and precision.

Conclusions

This study suggests that the proposed theoretical-practical training curriculum conducted under the supervision of an experienced echocardiographer is sufficient to enable pediatric intensivists and emergency physicians to perform the primary evaluations suggested as critical care echocardiography/FOCUS and to also objectively measure LV function through the evaluation of ejection fraction and cardiac index.

The analysis of the learning curve demonstrated that 16 supervised practical examinations were effective in instructing the physicians to analyze both qualitative and quantitative function of the LV through EF and to also calculate the dIVC. With respect to the CI measurement, more extensive training was required, involving the performance of 24 practical examinations.

The proposed training can serve as a basis for supporting the inclusion of basic echocardiography training programs for physicians of several medical specialties during medical residency or even in separate courses to improve these physicians' technical skills and, therefore, the care they provide to critically ill patients.

Abbreviations

CCE: Critical care echocardiography; CI: Cardiac index; CO: Cardiac output; dIVC: Distensibility index of the inferior vena cava; EF: Ejection fraction; ER: Emergency room; FOCUS: Focused cardiac ultrasound; ICU: Intensive care unit; LV: Left ventricle; LVF: Subjective left ventricular function; LVOT: Left ventricle outflow tract; MR: Mitral regurgitation; PE: Pericardial effusion; RV: Right ventricle; RVF: Subjective right ventricular function; VTI: Velocity-time integral; TR: Tricuspid regurgitation.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions

HG and AD were responsible for the design of the study as well as actively participated in all phases of execution and manuscript writing. SM and AL were the two echocardiographers who performed the theoretical-practical training for the students and also drafted the manuscript. WC, JA and CS are the chiefs of the intensive care unit, radiology unit and emergency room unit, respectively, and supported on the design and coordination of the study and also helped to draft the manuscript. RP participated in the design of the study and performed the statistical analysis. All authors read and approved the final manuscript.

Author details

¹Pediatric Intensive Care - Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina, São Paulo University, Rua do Carreiro de Pedra 111 apto 152C, Jd. Caravelas, CEP 04728-020 São Paulo, Brazil. ²Radiology Department - Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina, São Paulo University, São Paulo, Brazil. ³Department of Statistics,

Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina, São Paulo University, São Paulo, Brazil. ⁴Emergency Medicine Department, Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina, São Paulo University, São Paulo, Brazil.

Received: 31 October 2013 Accepted: 3 February 2014
Published: 5 February 2014

References

- Perkin RM, Levin DL: Shock in the pediatric patient. Part I. *J Pediatr* 1982, **101**:163-169.
- Tabbutt S: Heart failure in pediatric septic shock: utilizing inotropic support. *Crit Care Med* 2001, **29**:S231-S236.
- Spenceley N, MacLaren G, Kissoon N: Monitoring in pediatric cardiac critical care: A worldwide perspective. *Pediatr Crit Care Med* 2011, **12**:S76-S80.
- Vincent JL, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Della Rocca G, Vallet B, et al: Clinical review: Update on hemodynamic monitoring-a consensus of 16. *Crit Care* 2011, **15**:229.
- Chellin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP, Beller GA, Bierman FZ, Davis JL, et al: ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines. *Circulation* 2003, **108**:1146-1162.
- Brown JM: Use of echocardiography for hemodynamic monitoring. *Crit Care Med* 2002, **30**:1361-1364.
- Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Dubourg O, Jardin F: Hemodynamic instability in sepsis: bedside assessment by Doppler echocardiography. *Am J Resp Crit Care Med* 2003, **168**:1270-1276.
- Vignon P: Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography Doppler. *Curr Opin Crit Care* 2005, **11**:227-234.
- Klugman D, Berger JT: Echocardiography as a hemodynamic monitor in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med* 2011, **12**:S50-S54.
- Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al: American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 2009, **135**:1050-1060.
- Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, et al: Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr* 2010, **23**:1225-1230.
- Expert Round Table on Ultrasound in ICU: International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 2011, **37**:1077-1083.
- Spencer KT, Kimura BJ, Korcarz CE, Pellikka PA, Rahko PS, Siegel RJ: Focused cardiac ultrasound: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2013, **26**:567-581.
- Mertens L, Seri I, Marek J, Arlettaz R, Barker P, McNamara P, et al: Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training. *J Am Soc Echocardiogr* 2011, **24**:1057-1078.
- Vignon P, Dugard A, Abraham J, Belcour D, Gondran G, Pepino F, et al: Focused training for goal-oriented hand-held echocardiography performed by noncardiologist residents in the intensive care unit. *Intensive Care Med* 2007, **33**:1795-1799.
- Melamed R, Sprengle MD, Ullstad VK, Herzog CA, Leatherman JW: Assessment of left ventricular function by intensivist using hand-held echocardiography. *Chest* 2009, **135**:1416-1420.
- Manasia AR, Nagaraj HM, Kodali RB, Croft LB, Oropello JM, Kohli-Seth R, et al: Feasibility and potential clinical utility of goal-directed transthoracic echocardiography performed by noncardiologist intensivist using a small hand-carried device (sonoHeart) in critically ill patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2005, **19**:155-159.
- Kuhl M, Wagner R, Bauder M, Fenik Y, Reissen R, Lammending-Koppel M, et al: Student tutors for hands-on training in focused emergency echocardiography - a randomized controlled trial. *BMC Med Educ* 2012, **12**:101.
- Lai WW, Geva T, Shirali GS, Frommelt PC, Humes RA, Brook MM, et al: Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the task force of the pediatric council of the American society of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2006, **19**:1413-1430.

20. Rosenberg D, Moss M: The american college of critical care medicine. Guidelines and levels of care for pediatric intensive care units. *Crit Care Med* 2004, **32**:2117-2127.
21. Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricome JL, Jardin F, et al: Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med* 2004, **30**:1740-1746.
22. Vignon P, Mücke F, Bellec F, Marin B, Croce J, Brouqui T, et al: Basic critical care echocardiography: validation of a curriculum dedicated to noncardiologist residents. *Crit Care Med* 2011, **39**:636-642.
23. Spurney CF, Sable CA, Berger JT, Martin GR: Use of a hand-carried ultrasound device by critical care physicians for the diagnosis of pericardial effusions, decreased cardiac function, and left ventricular enlargement in pediatric patients. *J Am Soc Echocardiogr* 2005, **18**:313-319.
24. Longjohn M, Wan J, Joshi V, Pershad J: Point-of-care echocardiography by pediatric emergency physicians. *Pediatr Emerg Care* 2011, **27**:693-696.
25. Sasaki N, Srivastava S: Systolic and diastolic dysfunction in the intensive care unit. *Minerva Pediatr* 2011, **63**:385-397.
26. Frommelt PC: Update on pediatric echocardiography. *Curr Opin Pediatr* 2005, **17**:579-585.
27. Pershad J, Myers S, Plourman C, Rosson C, Elam K, Wan J, et al: Bedside limited echocardiography by the emergency physician is accurate during evaluation of the critically ill patient. *Pediatrics* 2004, **114**:667-671.
28. Alhashemi JA, Cecconi M, Hofer CK: Cardiac output monitoring: an integrative perspective. *Crit Care* 2011, **15**:214.
29. Mayer J, Boldt J, Poland R, Peterson A, Manecke GR Jr: Continuous arterial pressure waveform-based cardiac output using the FloTrac/Vigileo: a review and meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009, **23**:401-406.
30. Senn A, Button D, Zollinger A, Hofer CK: Assessment of cardiac output changes using a modified FloTrac/Vigileo algorithm in cardiac surgery patients. *Crit Care* 2009, **13**:32.
31. Costa MG, Rocca GD, Chiarandini P, Mattellig S, Pompei L, Barriga MS, et al: Continuous and intermittent cardiac output measurement in hyperdynamic conditions: pulmonary artery catheter vs. lithium dilution technique. *Intensive Care Med* 2008, **34**:257-263.
32. Feissel M, Michard F, Faller JP, Teboul JL: The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med* 2004, **30**:1834-1837.
33. Mandavia DP, Hoffner RJ, Mahaney K, Henderson SO: Bedside echocardiography by emergency physicians. *Ann Emerg Med* 2001, **38**:377-382.
34. Royse CF, Haji DL, Faris JG, Veltman MG, Kumar A, Royse AG: Evaluation of the interpretative skills of participants of a limited transthoracic echocardiography training course (H.A.R.T.scan® course). *Anaesth Intensive Care* 2012, **40**:498-504.
35. Tanzola RC, Walsh S, Hopman WM, Sydor D, Arellano R, Allard RV: Brief report: focused transthoracic echocardiography training in a cohort of Canadian anesthesiology residents: a pilot study. *Can J Anaesth* 2013, **60**:32-37.

doi:10.1186/1472-6920-14-25

Cite this article as: Gaspar et al.: Focused cardiac ultrasound: a training course for pediatric intensivists and emergency physicians. *BMC Medical Education* 2014 **14**:25.

**Submit your next manuscript to BioMed Central
and take full advantage of:**

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit