

Humberto Magalhães Silva<sup>1</sup>, Raisa Sanches Uzun<sup>1</sup>, Isabel de Siqueira Ferraz<sup>1</sup>, Marcelo Barciela Brandão<sup>1</sup>, Tiago Henrique de Souza<sup>1</sup>

1.Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica, Departament de Pediatria, Hospital de Clínicas, Universidade Estadual de Campinas - Campinas (SP), Brasil.

## Débito cardíaco contínuo estimado baseado no tempo de trânsito da onda de pulso em crianças em estado crítico: relato de dois casos

### RESUMO

O débito cardíaco é um determinante importante do fornecimento de oxigênio, embora a sua mensuração seja realizada de forma pouco confiável no exame clínico e no monitoramento de rotina. Infelizmente, o monitoramento do débito cardíaco raramente é realizado na medicina intensiva pediátrica, com disponibilidade limitada de métodos precisos para crianças. Relatamos aqui dois casos pediátricos nos quais utilizou-se o monitoramento não invasivo do débito cardíaco por meio da análise do tempo de trânsito de ondas de pulso (esCCO, Nihon Kohden, Tóquio, Japão). O sistema esCCO calcula o débito cardíaco continuamente pela correlação negativa entre o volume sistólico e o tempo de trânsito de ondas de pulso e requer apenas o monitoramento por eletrocardiograma, pressão arterial não invasiva e sinais de oximetria de pulso. Antes de iniciar seu uso, o esCCO deve ser calibrado,

o que pode ser feito com informações do paciente (sexo, idade, altura e peso corporal) ou informando os valores do débito cardíaco obtidos mediante outros métodos. Em ambos os casos, quando as calibrações foram realizadas com informações do paciente, a concordância entre o débito cardíaco contínuo estimado e as medidas ecocardiográficas foi insatisfatória. Entretanto, após a calibragem com ecocardiografia transtorácica, os valores do débito cardíaco obtidos pelos dois métodos permaneceram semelhantes após 2 horas e 18 horas. Os resultados indicam que o sistema esCCO pode ser útil em crianças; entretanto, são necessários mais estudos para otimizar seu algoritmo e determinar sua exatidão, precisão e tendência em crianças.

**Descritores:** Débito cardíaco; Monitorização hemodinâmica; Análise de onda de pulso; Estado terminal; Choque; Criança

### INTRODUÇÃO

O índice cardíaco e o índice do volume sistólico (IVS) são parâmetros hemodinâmicos importantes que requerem acompanhamento atento em crianças em estado crítico. Essas variáveis são determinadas pela divisão do débito cardíaco e do volume sistólico (VS) pela área superficial corporal do paciente. O monitoramento do índice cardíaco, o IVS e o índice de resistência vascular sistêmica são recomendados pelas principais diretrizes sobre choque séptico pediátrico.<sup>(1)</sup> Infelizmente, o monitoramento contínuo do índice cardíaco em crianças é desafiador e raramente realizado na maioria das unidades de terapia intensiva pediátrica. Poucos dispositivos de monitoramento do débito cardíaco são apropriados para crianças, e a maioria tem validações incompletas e/ou baixa acurácia.<sup>(2)</sup> Além disso, alguns métodos requerem cateterização de artérias e veias profundas, o que limita seu uso em crianças menores. Finalmente, as estimativas de índice cardíaco a partir do exame físico e do monitoramento convencional apresentam correlações fracas com medidas objetivas em pacientes pediátricos com choque.<sup>(3)</sup>

**Conflitos de interesse:** Nenhum.

Submetido em 2 de setembro de 2022  
Aceito em 18 de Janeiro de 2023

#### Autor correspondente:

Tiago Henrique de Souza  
Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica  
Departamento de Pediatria, Hospital de Clínicas  
Universidade Estadual de Campinas  
Rua Tessália Vieira de Camargo, 126  
CEP: 13083-887 - Campinas (SP), Brasil  
E-mail: tiago.souza@hc.unicamp.br

**Editor responsável:** Arnaldo Prata-Barbosa

**DOI:** 10.5935/2965-2774.20230305-pt



O sistema ideal de monitoramento hemodinâmico deve ser preciso, reproduzível, prontamente disponível, fácil de usar, independente do operador, econômico e seguro. Embora o cumprimento desses critérios seja uma tarefa difícil, a Nihon Kohden (Tóquio, Japão) desenvolveu uma tecnologia com potencial para satisfazê-los: Trata-se do débito cardíaco contínuo estimado (esCCO - *estimated continuous cardiac output*).<sup>(4)</sup> O método requer apenas o monitoramento por eletrocardiograma, pressão arterial não invasiva e sinais de oximetria de pulso. O algoritmo do esCCO calcula o índice cardíaco e IVS continuamente por meio da correlação negativa entre o VS e o tempo de trânsito da onda de pulso (TTOP), que é o intervalo entre a onda R do ECG e um aumento de 30% na forma da onda da oximetria de pulso (Figura 1). O VS é diretamente proporcional à pressão de pulso e pode ser calculado como  $VS = \text{pressão de pulso} \times k$ . A constante  $k$  quantifica a complacência arterial e a resistência vascular e é determinada no momento da calibração, atribuindo o VS e a pressão de pulso à equação. A relação entre pressão de pulso e o TTOP pode ser expressa como  $\text{pressão de pulso} = \alpha \times TTOP + \beta$ , em que a constante  $\alpha$  é obtida experimentalmente a partir de estudos anteriores com adultos, enquanto  $\beta$  é determinada como  $\beta = \frac{VS - k \times \alpha \times TTOP}{k}$ . Finalmente, o esCCO foi determinado usando a seguinte equação:  $\text{esCCO} = k \times (\alpha \times TTOP + \beta) \times \text{frequência cardíaca}$ . A calibragem pode representar um grande desafio ao uso do esCCO em crianças. Antes de usá-lo, o esCCO requer calibragem, realizada por meio das informações do paciente (sexo, idade, altura e peso corporal) ou pela inserção de valores de débito cardíaco obtidos por outros métodos. Neste relato, descrevemos o uso do esCCO em dois casos pediátricos em que a calibragem foi realizada por meio de ecocardiografia transtorácica (ETT).

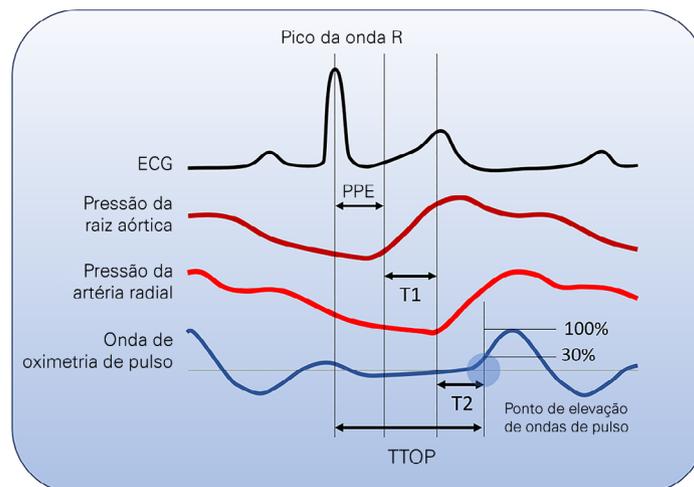
## RELATO DE CASO

### Caso 1

Menina de 3 anos de idade com 16,8kg e 105cm de altura foi admitida à unidade de terapia intensiva pediátrica com sepse devido à pneumonia complicada por empiema pleural. A paciente estava sob ventilação mecânica invasiva e recebeu suporte hemodinâmico com dobutamina a  $5\text{mcg.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Inicialmente, o esCCO foi calibrado com as informações do paciente e apresentou índice cardíaco de  $8,87\text{L.min}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Simultaneamente, o índice cardíaco obtido pela ETT era de  $5,50\text{L.min}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . O esCCO então foi calibrado com a ETT, e novos exames ecocardiográficos foram realizados após 2 horas e 18 horas. Os valores constam da figura 2.

### Caso 2

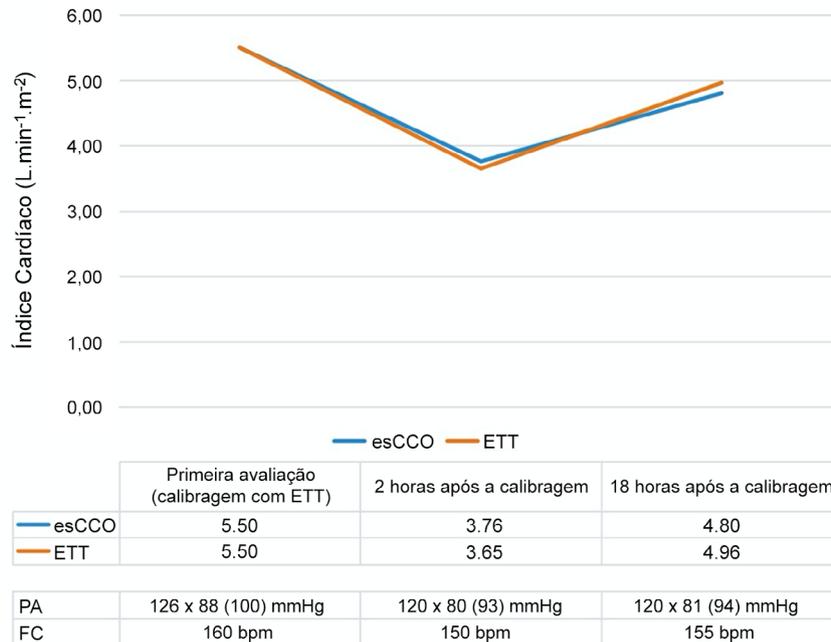
Menino de 7 meses com trissomia do cromossomo 21 foi submetido à correção cirúrgica de cardiopatia congênita (defeito do septo atrioventricular total). O paciente foi admitido à unidade de terapia intensiva pediátrica sob ventilação mecânica invasiva, recebendo milrinona a  $0,5\text{mcg.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . No pós-operatório imediato, o esCCO foi calibrado com as informações do paciente e apresentou índice cardíaco de  $7,05\text{L.min}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . O esCCO então foi calibrado com a ETT (índice cardíaco de  $4,05\text{L.min}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ), e novas medidas ecocardiográficas foram realizadas após 2 horas e 18 horas. Após 20 horas da avaliação inicial, o paciente teve deterioração hemodinâmica com redução da pressão arterial, tempo prolongado de enchimento capilar e pulsos fracos. Nesse momento, o índice cardíaco medido pelo esCCO era de  $1,62\text{L.min}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . O suporte hemodinâmico foi otimizado com fluidoterapia e infusão contínua de epinefrina. Após a estabilização hemodinâmica, o esCCO mostrou índice cardíaco de  $4,26\text{L.min}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Também foram realizados exames ecocardiográficos para orientar o manejo hemodinâmico, cujos valores são mostrados na figura 3.



**Figura 1** - Relação entre os componentes do tempo de trânsito das ondas de pulso.

ECG - eletrocardiograma; PPE - período de pré-ejeção; T1 - tempo de trânsito do ponto de elevação de ondas de pressão da raiz aórtica até o ponto de elevação de ondas de pressão da artéria radial na fase sistólica; T2 - tempo de trânsito do ponto de elevação de ondas da artéria radial até o aumento de 30% na forma da onda de oximetria de pulso na fase sistólica; TTOP - tempo de trânsito de ondas de pulso.

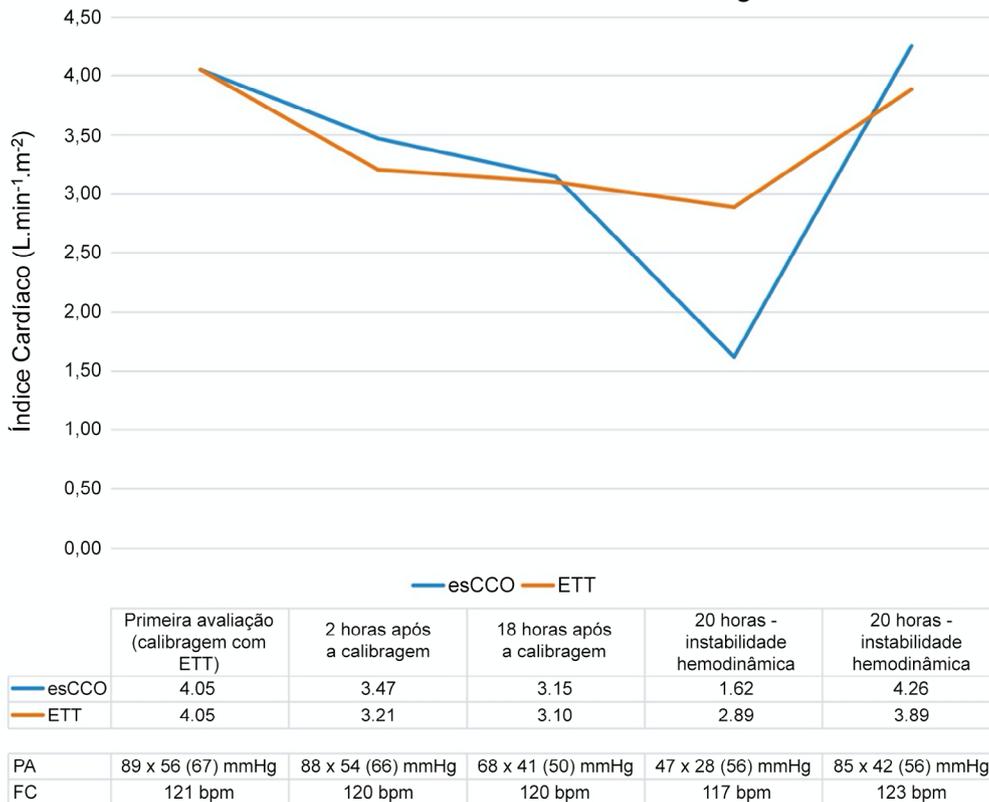
### Caso 1: Menina de 3 anos com septicemia causada por pneumonia



**Figura 2** - Avaliação do índice cardíaco usando débito cardíaco contínuo estimado e ecocardiografia transtorácica em uma criança com sepsis admitida à unidade de terapia intensiva pediátrica.

esCCO - débito cardíaco contínuo estimado; ETT - ecocardiografia transtorácica; PA - pressão arterial; FC - frequência cardíaca.

### Caso 2: Menino de 7 meses submetido à cirurgia cardíaca



**Figura 3** - Avaliação do índice cardíaco usando débito cardíaco contínuo estimado e ecocardiografia transtorácica em uma criança submetida à cirurgia cardíaca.

esCCO - débito cardíaco contínuo estimado; ETT - ecocardiografia transtorácica; PA - pressão arterial; FC - frequência cardíaca.

## DISCUSSÃO

Este relato apresenta dois casos pediátricos comuns em que o esCCO forneceu informações úteis para orientar o manejo clínico. No primeiro caso, o esCCO permitiu que o índice cardíaco fosse monitorado de perto em uma paciente com sepse e insuficiência respiratória. O débito cardíaco é determinante importante do fornecimento de oxigênio aos tecidos, e recomenda-se seu monitoramento para orientar a ressuscitação de crianças com choque séptico.<sup>(1,5)</sup> Após a estabilização, as terapias devem ser direcionadas para manter o índice cardíaco maior que  $3,3\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  e menor que  $6\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .<sup>(1)</sup> No segundo caso, o esCCO permitiu detectar a redução do índice cardíaco no paciente submetido à cirurgia cardíaca. Os pacientes no período pós-operatório de cirurgia cardíaca correm maior risco de desenvolver a síndrome de baixo débito cardíaco, relacionada ao aumento da morbidade e mortalidade. Episódios de instabilidade hemodinâmica precisam ser prontamente identificados e tratados adequadamente a tempo de melhorar os desfechos.

Os pilares do manejo hemodinâmico do choque são infusões de fluidos e agentes vasoativos. Na medida em que um dos principais objetivos dessas terapias é aumentar o VS, é essencial monitorar o débito cardíaco para guiar a terapia. Infelizmente, os clínicos têm capacidade muito limitada de estimar o débito cardíaco por meio de exame físico e monitoramento convencional, bem como de prever a resposta a infusão de fluidos.<sup>(3)</sup> Aproximadamente apenas cerca de 50% das infusões de fluidos resultam em aumento do VS.<sup>(6)</sup> Quando não há monitoramento hemodinâmico avançado, a pressão arterial sistêmica é normalmente usada como substituto do débito cardíaco. Entretanto, esse procedimento pode levar a decisões clínicas inadequadas. Vários estudos demonstraram que as mudanças na pressão arterial não estão correlacionadas com mudanças no índice cardíaco após infusão de fluido em crianças com choque séptico.<sup>(7,8)</sup>

Até onde sabemos, esta é a primeira descrição do monitoramento do débito cardíaco usando o TTOP em crianças jovens em estado crítico. O primeiro e único relato do uso do método em crianças foi publicado em 2013.<sup>(9)</sup> Terada et al.<sup>(9)</sup> avaliaram a concordância entre o esCCO e a densitometria de corante de pulso para leitura do débito cardíaco em dez adultos e sete crianças submetidas à cirurgia de transplante de rim. A idade média e o peso das crianças eram de 9,4 anos e 25,5 kg. Após a calibragem inicial com a densitometria de corante de pulso, o débito cardíaco foi avaliado duas vezes em cada paciente por ambos os métodos, antes de despinçar a artéria e ao término da cirurgia. O coeficiente de correlação entre o esCCO e a densitometria de corante de pulso foi de 0,904 para crianças e 0,756 para adultos. Além disso, observou-se

limite 95% melhor de concordância entre os métodos e erro percentual menor em crianças do que em adultos (35,7% versus 42,7%). Os autores concluíram que o esCCO é útil para pacientes pediátricos em ambientes clínicos, embora reconheçam que sua utilidade é limitada se for necessário realizar medição invasiva para sua calibração.

A calibragem pode ser a limitação mais importante para o uso do esCCO. Embora a calibragem com informações do paciente seja útil em adultos, ela não parece ser válida em crianças. É necessário realizar mais estudos para melhorar o algoritmo esCCO na população pediátrica ou para determinar o intervalo de tempo necessário para recalibrar com outro método. Nos casos relatados, em que as calibrações foram realizadas com informações de pacientes, foi insatisfatória a concordância entre as medidas esCCO e a ETT. Entretanto, após a calibragem com a ETT, os valores do índice cardíaco obtidos por ambos os métodos permaneceram semelhantes após 2 horas e 18 horas. Embora o método de referência não fosse a termodiluição, que é a técnica padrão-ouro, os valores do débito cardíaco Doppler pediátrico apresentam exatidão, precisão e repetibilidade aceitável. Além disso, a termodiluição não é tão precisa quanto se pensava anteriormente, especialmente à medida que o débito cardíaco aumenta.<sup>(10)</sup> Portanto, mais pesquisas devem se concentrar não apenas na exatidão e precisão, como também na capacidade de acompanhar com precisão as mudanças no débito cardíaco.

## CONCLUSÃO

Os casos relatados mostraram que o monitoramento contínuo do débito cardíaco é útil para proporcionar o manejo hemodinâmico adequado; portanto, o monitoramento de rotina do débito cardíaco deve ser recomendado em unidades de terapia intensiva pediátrica. O esCCO tem características interessantes, que o tornam potencialmente útil para uso em crianças. É necessário realizar mais estudos para determinar sua exatidão, precisão e tendência na população pediátrica.

## Contribuições dos autores

R. S. U. Nogueira e H. M. Silva: redação do artigo; T. H. Souza: revisão crítica do artigo quanto ao conteúdo intelectual importante. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito.

## REFERÊNCIAS

1. Davis AL, Carcillo JA, Aneja RK, Deymann AJ, Lin JC, Nguyen TC, et al. American College of Critical Care Medicine clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock. *Crit Care Med.* 2017;45(6):1061-93.

2. Suehiro K, Joosten A, Murphy LS, Desebbe O, Alexander B, Kim SH, et al. Accuracy and precision of minimally-invasive cardiac output monitoring in children: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Monit Comput.* 2016;30(5):603-20.
3. Razavi A, Newth CJ, Khemani RG, Beltramo F, Ross PA. Cardiac output and systemic vascular resistance: clinical assessment compared with a noninvasive objective measurement in children with shock. *J Crit Care.* 2017;39:6-10.
4. Ishihara H, Okawa H, Tanabe K, Tsubo T, Sugo Y, Akiyama T, et al. A new non-invasive continuous cardiac output trend solely utilizing routine cardiovascular monitors. *J Clin Monit Comput.* 2004;18(5-6):313-20.
5. Weiss SL, Peters MJ, Alhazzani W, Agus MS, Flori HR, Inwald DP, et al. Surviving sepsis campaign international guidelines for the management of septic shock and sepsis-associated organ dysfunction in children. *Pediatr Crit Care Med.* 2020;21(2):e52-106.
6. Gan H, Cannesson M, Chandler JR, Ansermino JM. Predicting fluid responsiveness in children: a systematic review. *Anesth Analg.* 2013;117(6):1380-92.
7. de Souza TB, Rubio AJ, Carioca FL, Ferraz IS, Brandão MB, Nogueira RJ, et al. Carotid doppler ultrasonography as a method to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated children. *Paediatr Anaesth.* 2022;32(9):1038-46.
8. Ranjit S, Natraj R, Kisson N, Thiagarajan RR, Ramakrishnan B, Monge García MI. Variability in the hemodynamic response to fluid bolus in pediatric septic shock. *Pediatr Crit Care Med.* 2021;22(8):E448-58.
9. Terada T, Maemura Y, Yoshida A, Muto R, Ochiai R. Evaluation of the estimated continuous cardiac output monitoring system in adults and children undergoing kidney transplant surgery: a pilot study. *J Clin Monit Comput.* 2014;28(1):95-9.
10. Yang XX, Critchley LA, Rowlands DK, Fang Z, Huang L. Systematic error of cardiac output measured by bolus thermodilution with a pulmonary artery catheter compared with that measured by an aortic flow probe in a pig model. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2013;27(6):1133-9.