

# Monitorização hemodinâmica no paciente crítico

## *Hemodynamic monitoring in critically ill patients*

---

William O. Silva\*

---

### Resumo

A monitorização hemodinâmica tem papel fundamental em pacientes críticos, especialmente se associada à terapia que sabidamente melhora o prognóstico destes pacientes. A redução do uso do cateter de artéria pulmonar, devido ao seu baixo impacto na mortalidade, possibilitou o aparecimento de novas formas menos invasivas de aferição de dados, como o débito cardíaco baseado na análise da onda do pulso de pressão arterial, *doppler* esofageano, ecocardiografia transtorácica, bioimpedância e bioreactância elétrica. Os monitores baseados em onda de pulso podem usar a calibração através de termodiluição, diluição por corante (lítio) ou utilizar um algoritmo pré-estabelecido de dados para calibração. Apesar do uso crescente, a utilização em pacientes críticos instáveis é motivo de debate. A utilização do *doppler* esofageano também possibilita uma monitorização minimamente invasiva, apesar de necessitar de ajustes frequentes de posicionamento além de sedação e

analgesia do paciente. O uso da ecocardiografia transtorácica no manuseio de pacientes críticos vem ganhando terreno, apesar de exigir equipamento adequado e treinamento específico, além de não permitir a aferição contínua de dados. A bioimpedância ou bioreactância elétrica tem pouco uso em pacientes críticos instáveis. A prática de monitorização hemodinâmica associada a variáveis dinâmicas permite predizer quais pacientes possivelmente se beneficiarão de terapia de expansão de volume intravascular, um dado extremamente relevante no manuseio do paciente hipotenso na UTI. Finalmente, é importante enfatizar que a escolha de determinado tipo de monitorização deve respeitar a gravidade do paciente crítico, o grau de experiência da instituição com determinado equipamento e deve estar associado a terapias de metas em pacientes com instabilidade hemodinâmica.

**Descritores:** *Monitorização Fisiológica; Hemodinâmica; Débito cardíaco; Estado terminal; Prognóstico.*

## Abstract

Hemodynamic monitoring has crucial role in critically ill patients, especially if associated with a known therapy that improves the prognosis of these patients. The reduction in the use of pulmonary artery catheter, due to its low impact on mortality, enabled the emergence of new forms of less invasive measurement of cardiac output as data based on analysis of the pulse contour, esophageal Doppler, transthoracic echocardiography, electrical Bioimpedance and Bioreactance. The monitors based on pulse wave can use the calibration by thermodilution, by dilution dye (lithium) or using a preset algorithm for data calibration. Despite been increasingly used, its utilization in unstable critically ill patients is a matter of debate. The use of esophageal Doppler monitoring also permits a minimally invasive monitoring, despite the need for frequent adjustments in positioning in addition to continuous analgesia and sedation. The use of transthoracic echocardiography in the management of critically ill patients is gaining ground, despite requiring specific training and proper equipment despite of not allowing continuous recording data. The use of electrical Bioimpedance or Bioreactance has little use in unstable ill patients. The use of hemodynamic monitoring associated with dynamic variables can predict which patients will possibly benefit from intravascular volume expansion therapy, a finding highly relevant in handling the hypotensive patient in the ICU. Finally, it is important to emphasize that the choice of a particular type of monitoring should respect the severity of the critically ill patient, the degree of experience of the institution with certain equipment and must be associated with goal-directed therapies in patients with hemodynamic instability.

**Keywords:** *Monitoring; physiologic; Hemodynamics; Cardiac output; Critical illness; Prognosis.*

## Introdução

A monitorização hemodinâmica hoje é parte fundamental da abordagem ao paciente

crítico tanto no seu uso diagnóstico, terapêutico, quanto na prevenção de alterações hemodinâmicas graves em pacientes no *per* e pós-operatório. No primeiro caso, a monitorização procura responder perguntas simples como: qual o tipo de alteração hemodinâmica está presente neste paciente? Hipovolemia, disfunção cardíaca, choque distributivo (sepsis) ou obstrutivo (embolia pulmonar). No segundo caso, a monitorização é usada para nos fornecer dados que permitam a otimização da terapêutica no sentido de prover oxigenação adequada ao paciente em choque, combater a hipoxemia global e a falência de múltiplos órgãos. No último caso, seu uso demonstra utilidade na prevenção de alterações hemodinâmicas graves em pacientes criticamente enfermos no *per*-operatório, possibilitando sua pronta identificação e tratamento.

Apesar de sabermos que as alterações hemodinâmicas no paciente em choque envolvem a macro e a microcirculação, é na primeira que a maioria dos métodos de monitorização se baseia. A monitorização da frequência cardíaca, da pressão arterial e da saturação de oxigênio comumente utilizadas na unidade de terapia intensiva (UTI) são dados inespecíficos para responder a perguntas simples como: este paciente precisa de reposição volêmica, inotrópico ou vasopressor? De fato, nem mesmo os dados obtidos de parâmetros pressóricos, como a pressão venosa central (PVC) e a pressão de artéria pulmonar, através da colocação do cateter de artéria pulmonar, parecem ser capazes de identificar em que ponto exato da curva de Frank-Starling encontram-se as fibras cardíacas na diástole e, portanto, de prever a resposta hemodinâmica a um desafio de volume. Estas medidas chamadas de estáticas vêm pouco a pouco sendo substituídas por medidas e marcadores dinâmicos da hemodinâmica, como variação da pressão de pulso, resposta à elevação passiva das pernas e variação da saturação venosa central de O<sub>2</sub>. Na avaliação indireta da microcirculação o clearance do lactato tem se mostrado um bom marcador de resposta hemodinâmica.

Os procedimentos invasivos fazem parte

do processo de monitorização do paciente crítico, entretanto com estudos retrospectivos e prospectivos indicando que a monitorização invasiva do débito cardíaco por cateter de artéria pulmonar não se traduz em melhora da mortalidade, novos monitores hemodinâmicos pouco invasivos surgem no mercado, possibilitando, além da aferição contínua do débito cardíaco, também a avaliação do *status* volêmico do paciente e predizendo a resposta terapêutica. Apesar de seu uso em pacientes instáveis estar sujeito a crítica, esta monitorização vem paulatinamente sendo mais utilizada em nossas unidades de terapia intensiva.

As características ideais de um sistema de monitorização hemodinâmica devem ser: medidas de variáveis relevantes de forma acurada e reproduzível, facilidade de uso, independente do operador, rápido tempo-resposta, não causar danos, ser custo-efetivo e fornecer dados que norteiem a terapêutica.<sup>1</sup> Fica claro que nenhum dos sistemas atualmente em uso preenche estes critérios e, assim, seu uso nas UTIs depende da disponibilidade e da experiência da equipe com determinado equipamento.

## Monitorização invasiva

### Cateter de artéria pulmonar

O cateter de artéria pulmonar (CAP) foi introduzido em 1970 por J. C. Swan e W. Ganz.<sup>2</sup> Ao avançar, o cateter através de um vaso venoso da parte superior do corpo até um ramo da artéria pulmonar, medidas de pressão e fluxo são determinadas. As medidas de pressão disponíveis são pressão do átrio direito (pressão venosa central), pressão da artéria pulmonar sistólica e diastólica e a pressão venosa pulmonar, também chamada de pressão de oclusão da artéria pulmonar (POAP). A POAP é obtida com a insuflação do balonete distal do cateter e permite predizer, em condições ideais, a pressão venosa do átrio esquerdo e a pressão diastólica final do ventrículo esquerdo, um dado da pré-carga do ventrículo. A colocação do cateter de artéria pulmonar exige experiência do operador

e não está isenta de complicações como arritmia cardíaca, em sua maioria transitória e sem risco para o paciente, ou de complicações associadas à punção venosa, infecção relacionada ao cateter e ruptura da artéria pulmonar.<sup>3</sup> Todas estas complicações ocorrem raramente e sua incidência diminui com a experiência da equipe com o equipamento.

A aferição do débito cardíaco ocorre por termodiluição, baseada nos princípios de Stewart-Hamilton. Um líquido de temperatura diferente do sangue é injetado na via proximal do cateter e um termistor localizado na ponta do cateter detecta a diferença de temperatura do sangue e calcula o débito de forma intermitente. A fim de obter dados de forma contínua sem necessidade de injeção de salina na via proximal e, assim, permitir observar as tendências do débito, uma nova tecnologia que permite o aquecimento do sangue na cavidade proximal por filamento elétrico (Vigilance®)<sup>4</sup> ou mola térmica (optiQ®)<sup>5</sup> foi desenvolvida, obtendo-se o débito cardíaco contínuo, apesar de um atraso de alguns minutos necessários para obtenção das médias do débito.

Apesar de estudos terem mostrado que a monitorização por CAP não reduz mortalidade<sup>6</sup> mesmo quando seu uso está associado à terapia por metas, este método continua sendo visto como padrão-ouro, com o qual todos os outros métodos de aferição do débito cardíaco precisam ser comparados.

Outro dado que pode ser obtido é a saturação venosa mista de O<sub>2</sub> (SvO<sub>2</sub>) através da via distal do cateter, provavelmente o melhor indicador isolado de transporte global de oxigênio. Baseado nesse dado, pode-se obter a DO<sub>2</sub> (oferta de oxigênio), VO<sub>2</sub> (consumo de oxigênio) e percentual de *shunt* pulmonar. Todos estes dados, juntamente com os dados pressóricos, podem ser obtidos simultaneamente, o que é uma vantagem sobre outros tipos de monitorização.

É indubitável que a correta análise dos dados obtidos pelo CAP, incluindo aí sua correta localização, fundamenta o diagnóstico e a terapêutica de pacientes hemodinamicamente

instáveis. Outrora muito utilizado nas fases precoces dos vários tipos de choque, após a publicação de vários trabalhos retrospectivos e prospectivos que não demonstraram redução da mortalidade,<sup>7,8</sup> seu uso foi abreviado e nos dias atuais somente pacientes em choque com disfunção cardíaca e pulmonar não esclarecida parecem merecer seu uso. Entretanto, é importante enfatizar que nenhum monitor hemodinâmico demonstrou, com o seu uso, uma redução inequívoca da mortalidade. Devemos considerar também o fato de que terapias voltadas para metas somente surgiram nos últimos 11 anos. Portanto, em pacientes selecionados, o CAP continua sendo de importância tanto diagnóstica quanto terapêutica, uma vez que tenhamos a correta interpretação dos dados e que medidas terapêuticas comprovadamente eficazes sejam utilizadas.<sup>1</sup>

## Monitorização minimamente invasiva

Nos anos recentes temos visto a introdução cada vez mais frequente de sistemas de monitorização pouco invasivos, baseados na análise do contorno do pulso arterial. Alguns destes sistemas exigem a calibração do débito cardíaco através de termodiluição (PiCCO®)<sup>9</sup> ou injeção periférica de cloreto de Litium (LiDCO *plus*®),<sup>10</sup> enquanto outros baseiam-se em sistema de dados demográficos e antropométricos para calibração (FloTrac®).<sup>11</sup> A obtenção de dados do débito cardíaco é feita através de complexos algoritmos, baseando-se no fato de que a pressão de pulso arterial é diretamente proporcional ao volume sistólico e inversamente relacionada à complacência arterial. A obtenção de uma correta morfologia da curva de pressão arterial é necessária e, portanto, uma linha arterial deve ser punccionada e no caso do PiCCO® esta punção deve envolver a artéria femoral ou axilar. Deve-se enfatizar que a presença de arritmias cardíacas e o uso de balão de contrapulsção aórtico reduzem a precisão do método, assim como pacientes hemodinamicamente instáveis, em que mudanças na resistência vascular perifé-

rica acontecem rapidamente, têm medidas com menor acurácia.

## Sistema LiDCO®

O sistema LiDCO® utiliza um complexo algoritmo baseado na força do pulso para calcular o volume sistólico e portanto o débito cardíaco. A calibração com cloreto de lítio injetado em veia periférica é necessária, construindo, após sua captação no sensor arterial, uma curva de diluição do lítio semelhante à termodiluição. Além do cálculo do débito cardíaco, o monitor permite cálculo do volume sanguíneo intratorácico que pode orientar a terapêutica hídrica em pacientes com síndrome de angústia respiratória aguda ou edema pulmonar cardiogênico. O estudo da morfologia da onda de pulso permite calcular dois importantes índices dinâmicos de monitorização: variação da pressão de pulso (VPP) e variação do volume ejetado (VVE), utilizados para prever a resposta hemodinâmica a um desafio de volume. Diferente do PiCCO®, o sistema utilizado não necessita de uma perfeita curva de pulso arterial, pois a análise é feita pela força do pulso e não sua morfologia. Entretanto, há uma série de substâncias que podem interferir na calibração, como uso prévio de lítio e bloqueadores neuromusculares não despolarizantes (competem na captação do lítio). Existem poucos trabalhos randomizados na literatura<sup>12,13</sup> em relação ao seu uso em pacientes instáveis e provavelmente nessas condições a calibração do débito cardíaco deverá ser feita com intervalo de tempo menor que o recomendado de oito horas.<sup>14</sup>

## Sistema PiCCO®

Diferentemente do LiDCO®, o sistema PiCCO® utiliza a termodiluição transpulmonar de forma muito semelhante à medida de débito cardíaco pelo CAP. Utilizando-se de infusão de soro em temperatura diferente do sangue no sistema venoso central (exige acesso venoso central), constrói-se uma curva de termodiluição, que permite determinar o débito cardíaco e calibrar o sistema. O termistor está localizado

no cateter arterial e as calibrações são feitas usualmente a cada oito horas. A aferição do débito cardíaco contínuo é realizada utilizando a morfologia da curva de pulso arterial, portanto o cateter arterial deve ser inserido preferencialmente na artéria femoral ou axilar, evitando-se assim alterações nesta morfologia. O sistema permite calcular a VPP e a VVE de forma muito similar ao LiDCO®, mas permite também o cálculo dos volumes de compartimento intravascular, como o volume diastólico global final (volume diastólico das quatro câmaras cardíacas) e índice do volume cardíaco intratorácico (volume sanguíneo nas quatro câmaras e nos vasos pulmonares), que são utilizadas como medidas de pré-carga. O cálculo do líquido extravascular pulmonar permite quantificar o grau de edema pulmonar, assim como a permeabilidade vascular pulmonar (índice de permeabilidade vascular pulmonar).<sup>9</sup>

### Sistema Vigileo®/FloTrac™

O sistema Vigileo®, diferentemente dos sistemas discutidos acima, não necessita de calibração do débito cardíaco e, portanto, não necessita de acesso venoso central ou periférico. A calibração do aparelho é realizada através de algoritmos que envolvem dados antropométricos do paciente (idade, sexo, altura e peso) e a análise da forma do pulso arterial. Além dos dados de débito cardíaco contínuo, o sistema fornece a VPP e a resistência vascular sistêmica.

Vários trabalhos na literatura demonstram boa correlação entre as medidas apuradas pelo Vigileo® e os sistemas que usam calibração para apuração do débito cardíaco, assim como medidas de avaliação dinâmica da volemia (VPP e VVE).<sup>15,16</sup> Hadian e colaboradores,<sup>17</sup> comparando os três métodos de monitorização com o CAP em pacientes de pós-operatório de cirurgia cardíaca, demonstraram que os valores de débito cardíaco eram muito semelhantes entre eles. Entretanto a diferença de valores após uma intervenção terapêutica indicava que o menos preciso na avaliação das mudanças era o Vigileo®. Seu uso parece mais indicado atualmente em *per*-operatório de pacientes de alto risco.<sup>18</sup>

### Doppler esofageano

A monitorização do fluxo da aorta descendente, através da passagem de sonda flexível e fina pelo esôfago, permite a aferição integral da velocidade do fluxo em determinado tempo e assim a aferição do débito cardíaco nesta localização. A contratilidade cardíaca pode ser analisada pelo pico da velocidade de fluxo aórtico e resistência periférica pela análise da morfologia da curva de fluxo.<sup>19</sup> Utiliza-se o *doppler* de forma contínua a 4 MHz ou pulsado a 5 MHz. O sistema CardioQ®<sup>20</sup> é o mais utilizado, entretanto a correlação deste sistema com o débito cardíaco aferido por termodiluição necessita de avaliação.<sup>21</sup>

O maior problema deste tipo de monitorização reside na necessidade de frequente manipulação da sonda para obtenção do *doppler*, especialmente em pacientes em respiração espontânea e não sedados.

Esse sistema é particularmente útil na avaliação de monitorização da resposta a volume quando utilizamos a manobra de elevação passiva das pernas.<sup>22</sup>

### Sistema NICO

O sistema NICO se baseia na equação de Fick modificada, utilizando o CO<sub>2</sub> expirado como indicador para fornecer o débito cardíaco de forma não invasiva.<sup>23</sup> Em pacientes ventilados mecanicamente é interposto um sistema de reinalação que permite a verificação do CO<sub>2</sub> reinalado comparando-o com o CO<sub>2</sub> em condições normais, aferindo-se indiretamente o débito cardíaco. Pacientes em condições como CO<sub>2</sub> menor que 30 mmHg, ou alterações de espaço morto e de ventilação/perfusão têm o cálculo de débito cardíaco alterado. Portanto, seu uso em pacientes críticos é limitado a pacientes no pós-operatório sem doença pulmonar.

### Monitorização não invasiva

#### Bioimpedância e bio reactância elétrica

A bioimpedância tem como princípio básico a variação de condutividade de uma corrente elétrica de baixa voltagem e alta frequência



aplicada ao tórax devido à variação de fluxo sanguíneo em cada ciclo cardíaco. Esta variação é captada por eletrodos localizados na superfície da pele do paciente e é, portanto, um método totalmente não invasivo. A bioreactância consiste num aprimoramento da técnica permitindo analisar as mudanças de amplitude e frequência dos impulsos elétricos e assim reduzir as interferências elétricas que conduzem a erros. A monitorização fornece dados como débito cardíaco, volume sistólico e contratilidade miocárdica.<sup>24</sup> Existem poucos dados validados em pacientes hemodinamicamente instáveis.

### Ecocardiograma transtorácico

A ecocardiografia transtorácica, embora não se preste à avaliação contínua e sim seriada, permite avaliação não só da função cardíaca global e segmentar como também a avaliação de anormalidades nas estruturas valvares e a presença de derrame pericárdico, informações estas que podem ser determinantes em relação à estratégia terapêutica a ser adotada. A avaliação do débito cardíaco através do cálculo do volume sistólico medido no trato de saída de ventrículo esquerdo (integral velocidade-tempo), pode ser utilizada como parâmetro para avaliação das medidas dinâmicas de resposta a volume. A avaliação da função cardíaca pode ser feita através da estimativa visual (*eyeball*) da fração de ejeção ou através de métodos convencionais como o Simpson.<sup>25</sup>

É importante enfatizar que apesar de ser um método totalmente não invasivo, pelos menos 30% dos pacientes não apresentarão janela visual para realização do exame completo, especialmente se em ventilação mecânica. É necessário treinamento da equipe de intensivistas, uma vez que para utilidade terapêutica o exame deve ser feito de forma seriada. Também é necessário conhecimento das integrações pulmão, coração e ventilação mecânica na interpretação de dados. A experiência com o método é crucial, portanto é necessária uma curva de aprendizagem para o pleno uso do método como monitor hemodinâmico.<sup>26</sup>

## Monitorização indireta microcirculação

### SvO<sub>2</sub>/SvcO<sub>2</sub>

A monitorização da saturação venosa de O<sub>2</sub> pode ser feita através da CAP (SvO<sub>2</sub>), colhendo o sangue da artéria pulmonar e, mais comumente, utiliza-se a saturação venosa central de O<sub>2</sub> (SvcO<sub>2</sub>) através de cateter em sistema venoso central, de forma intermitente ou contínua, esta última utilizando o cateter PreSep® acoplado a um monitor Vigilance® ou Vigileo®. Apesar de constituírem medidas diferentes,<sup>27</sup> uma vez que a SvcO<sub>2</sub> não leva em conta boa parte da saturação venosa do sistema esplâncnico, seio venoso coronariano e veias tebesianas (diferença de 4-7% para mais na SvO<sub>2</sub>), a SvcO<sub>2</sub> tem sido utilizada para avaliação da perfusão tecidual global. Valores de 70-75% correspondem a uma taxa de extração de O<sub>2</sub> de 25-30%. Assim, devemos considerar a saturação venosa de O<sub>2</sub> como monitorização adequada quando sabemos a oferta de O<sub>2</sub> tecidual (DO<sub>2</sub>), uma vez que em condições normais um aumento do consumo de oxigênio gera aumento da DO<sub>2</sub>. Quando ocorre desequilíbrio nesta equação, a taxa de extração aumenta até o máximo de 60%, produzindo uma SvcO<sub>2</sub> crítica de 40%,<sup>28</sup> após o que se segue metabolismo anaeróbico e geração de lactato. Portanto, uma SvcO<sub>2</sub> baixa indica hipoperfusão tissular global e necessita correção.<sup>29</sup> Valores elevados da SvcO<sub>2</sub> podem ocorrer em pacientes graves com taxa de extração baixa por disfunção mitocondrial, como na sepse e no grande queimado, e por conseguinte não podem ser utilizados para afirmar perfusão adequada. A monitorização da SvcO<sub>2</sub> foi utilizada com sucesso como marcador de hipoperfusão global por Rivers e colaboradores na terapia de metas precoces na sepse.<sup>30</sup>

### Clearance de lactato

O metabolismo da glicose produz, em condições normais de oxigenação tissular, piruvato que é utilizado pela mitocôndria na geração de ATP. Durante períodos de hipoxemia, o piruvato

é transformado em lactato que é metabolizado pelos rins, fígado e musculatura esquelética. Na sepse a produção de lactato pode estar aumentada por disfunção mitocondrial, mesmo em condições de perfusão normal. Apesar destes fatos, o clearance de lactato, definido como um valor dinâmico da redução do lactato em relação a determinado período, parece ser útil como preditor de mortalidade. Nguyen e colaboradores<sup>31</sup> demonstraram que o clearance precoce do lactato (em 6 horas) estava associado à melhora da mortalidade na sepse grave e no choque séptico. Nichol e colaboradores,<sup>32</sup> em trabalho retrospectivo, também demonstraram melhora da mortalidade hospitalar em pacientes críticos com a redução do clearance de lactato nas primeiras 24 horas. Portanto, a utilização do clearance de lactato precoce (redução do lactato nas primeiras 6 horas  $\geq 10\%$ ) é útil em pacientes críticos e especialmente em pacientes sépticos graves, devendo ser utilizado em conjunto com os outros marcadores de mortalidade.

## Monitorização de variáveis dinâmicas

A monitorização das variáveis hemodinâmicas envolve mudanças na pré-carga que podem prever a resposta hemodinâmica do paciente à terapêutica de expansão do volume intravascular. É importante enfatizar que a simples resposta a um desafio de volume ou alterações dinâmicas induzidas pela interação coração-pulmão não necessariamente indicam que um determinado paciente necessite de terapia de expansão de volume, uma vez que indivíduos normais sem hipovolemia respondem a aumento na pré-carga. Portanto, a análise da resposta a variáveis dinâmicas deve ser feita considerando as alterações associadas à hipoperfusão.

## Elevação passiva das pernas

A manobra relativamente simples de elevação dos membros inferiores a 30° com o tronco permanecendo a 0° induz a uma transferência

do volume intravascular na ordem de 300-500 ml para a circulação central em pacientes em ventilação espontânea. Este dado hemodinâmico quando acoplado com um monitor que afere volume sistólico (*doppler* esofageano, ecocardiograma transtorácico, sistema Vigileo® ou sistema PiCCO® e LiDCO®) prediz uma resposta à terapia de expansão do volume intravascular quando o aumento desta variável é maior ou igual a 15%.<sup>22</sup>

## Variação da pressão de pulso (Delta PP)

A interação cardiopulmonar em pacientes em ventilação mecânica determina mudanças na pré-carga do ventrículo direito e esquerdo de forma diferente. Na inspiração, com o aumento da pressão intratorácica, ocorre redução da pré-carga no ventrículo direito, porém com compressão dos vasos do sistema venoso pulmonar ocorre aumento da pré-carga do ventrículo esquerdo. A este aumento se segue a diminuição da pré-carga induzida pelo fenômeno no ventrículo direito. Estas alterações cíclicas na pré-carga determinam uma variação da pressão de pulso que é acentuada nos casos de hipovolemia.<sup>33</sup> Monitores como PiCCO®, LiDCO® e Vigileo® são capazes de determinar o Delta PP. Ademais, Huang e colaboradores demonstraram que um valor maior que 13% é preditor de resposta à expansão de volume, considerando o paciente em ventilação mecânica com pelo menos 8 ml/kg de volume corrente.<sup>34</sup>

## Variação do calibre da veia cava inferior

As mesmas alterações cardiopulmonares descritas acima implicam na alteração do calibre da veia cava inferior (VCI). Através de ecocardiografia transtorácica é possível visualizar a cava inferior e medir seu grau de distensão (*index* de distensibilidade), que é máximo em pacientes ventilados mecanicamente e sem esforço espontâneo, no final da inspiração. Trabalhos demonstram que um índice de dis-

tensibilidade maior que 12% prediz resposta à expansão volumétrica.<sup>35</sup>

## Conclusão

A monitorização hemodinâmica nos permite adquirir informações a respeito da fisiopatologia do sistema cardiovascular em determinado tipo de paciente, especialmente em pacientes com instabilidade hemodinâmica. A abordagem com cateter de artéria pulmonar encontra-se, nos dias de hoje, em declínio, oferecendo espaço para modernas tecnologias de monitorização menos invasivas. Entretanto, em pacientes gravemente críticos e instáveis hemodinamicamente é necessária maior experiência com os monitores menos invasivos. A abordagem de métodos de monitorização que permitem prever a resposta terapêutica, representa um grande esforço no sentido de estabelecer um elo entre a monitorização e a terapêutica. A monitorização da microcirculação de forma indireta permite estabelecer metas de apoio terapêutico que parecem contribuir para redução da mortalidade, especialmente em pacientes sépticos. A utilização de métodos de imagem na monitorização, como o ecocardiograma, permite avaliar de forma estrutural as alterações que possam contribuir para a instalação ou manutenção do quadro de choque e, portanto, tem sido cada vez mais empregadas.

## Referências

1. Vincent J-L, 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(4):229. <http://dx.doi.org/10.1186/cc10291>
2. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med*. 1970 Aug 27;283(9):447-51.
3. Pinsky MR, Vincent JL. Let us use the pulmonary artery catheter correctly and only when we need it. *Crit Care Med*. 2005;33(5):1119-22.
4. Schmid ER, Schmidlin D, Tornic M, Seifert B. Continuous thermodilution cardiac output: clinical validation against a reference technique of known accuracy. *Intensive Care Med*. 1999;25(2):166-72.
5. Monchi M, Thebert D, Cariou A, Bellenfant F, Joly LM, Brunet F, et al. Clinical evaluation of the Abbott Qvue-OptiQ continuous cardiac output system in critically ill medical patients. *J Crit Care*. 1998;13(2):91-5.
6. Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE Jr, Wagner D, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *JAMA*. 1996;276(11):889-97.
7. Harvey S, Harrison DA, Singer M, Ashcroft J, Jones CM, Elbourne D, et al. Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2005;366(9484):472-7.
8. National Heart, Lung, and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network, Wheeler AP, Bernard GR, Thompson BT, Schoenfeld D, Wiedemann HP, et al. Pulmonary-artery versus central venous catheter to guide treatment of acute lung injury. *N Engl J Med*. 2006;354(21):2213-24.
9. Litton E, Morgan M. The PiCCO monitor: a review. *Anaesth Intensive Care*. 2012 May;40(3):393-409.
10. Garcia-Rodriguez C, Pittman J, Cassell CH, Sum-Ping J, El-Moalem H, Young C, et al. Lithium dilution cardiac output measurement: a clinical assessment of central venous and peripheral venous indicator injection. *Crit Care Med*. 2002 Oct;30(10):2199-204.
11. Manecke GR. Edwards FloTrac sensor and Vigileo monitor: easy, accurate, reliable cardiac output assessment using the arterial pulse wave. *Expert Rev Med Devices*. 2005;2(5):523-7.
12. Mora B, Ince I, Birkenberg B, Skhirtladze K, Pernicka E, Ankersmit HJ, et al. Validation of cardiac output measurement with the LiDCOTM pulse contour system in patients with impaired left ventricular function after cardiac surgery. *Anaesthesia*. 2011;66(8):675-81. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.06754.x>
13. Morgan P, Al-Subaie N, Rhodes A. Minimally invasive cardiac output monitoring. *Curr Opin Crit Care*. 2008 Jun;14(3):322-6. <http://dx.doi.org/10.1097/MCC.0b013e3282fd6e4a>
14. Cecconi M, Dawson D, Grounds RM, Rhodes A. Lithium dilution cardiac output measurement in the critically ill patient:



- determination of precision of the technique. *Intensive Care Med.* 2009 Mar;35(3):498-504. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-008-1292-4>
15. Montenij LJ, de Waal EEC, Buhre WF. Arterial waveform analysis in anesthesia and critical care. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2011;24(6):651-6. <http://dx.doi.org/10.1097/ACO.0b013e32834cd2d9>
  16. Mayer J, Suttner S. Cardiac output derived from arterial pressure waveform. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2009;22(6):804-8.
  17. Hadian M, Kim HK, Severyn DA, Pinsky MR. Cross-comparison of cardiac output trending accuracy of LiDCO, PiCCO, FloTrac and pulmonary artery catheters. *Crit Care.* 2010;14(6):R212 <http://dx.doi.org/10.1186/cc9335>.
  18. Mayer J, Boldt J, Mengistu AM, Röhm KD, Suttner S. Goal-directed intraoperative therapy based on autocalibrated arterial pressure waveform analysis reduces hospital stay in high-risk surgical patients: a randomized, controlled trial. *Crit Care.* 2010;14(1):R18. <http://dx.doi.org/10.1186/cc8875>.
  19. Monge MI, Estella A, Díaz JC, Gil A. Minimally invasive hemodynamic monitoring with esophageal echoDoppler. *Med Intensiva.* 2008;32(1):33-44.
  20. Chaney JC, Derdak S. Minimally invasive hemodynamic monitoring for the intensivist: current and emerging technology. *Crit Care Med.* 2002;30(10):2338-45.
  21. Peyton PJ, Chong SW. Minimally invasive measurement of cardiac output during surgery and critical care: a meta-analysis of accuracy and precision. *Anesthesiol.* 2010;113(5):1220-35. <http://dx.doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181ee3130>
  22. Biais M, Vidil L, Sarabay P, Cottenceau V, Revel P, Sztark F. Changes in stroke volume induced by passive leg raising in spontaneously breathing patients: comparison between echocardiography and Vigileo/FloTrac device. *Crit Care.* 2009;13(6):R195. <http://dx.doi.org/10.1186/cc8195>
  23. Young BP, Low LL. Noninvasive monitoring cardiac output using partial CO(2) rebreathing. *Crit Care Clin.* 2010;26(2):383-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccc.2009.12.002>
  24. Keren H, Burkhoff D, Squara P. Evaluation of a noninvasive continuous cardiac output monitoring system based on thoracic bioactance. *Am J Physiol Heart and Circulatory Physiol.* 2007;293(1):H583-9.
  25. Rumberger JA, Behrenbeck T, Bell MR, Breen JF, Johnston DL, Holmes DR Jr., et al. Determination of Ventricular Ejection Fraction : A Comparison of Available Imaging Methods. *Mayo Clin Proc.* 1997;72(9):860-70.
  26. Beaulieu Y. Specific skill set and goals of focused echocardiography for critical care clinicians. *Crit Care Med.* 2007;35(5 Suppl):S144-9.
  27. Machado FR, Carvalho RBD, Freitas FGR, Sanches LC, Jackiu M, Mazza BF, et al. Saturação venosa central e mista de oxigênio no choque séptico: existe diferença clinicamente relevante? *Rev Bras Ter Intensiva.* 2008;20(4):398-404.
  28. Kasnitz P, Druger GL, Yorra F, Simmons DH. Mixed venous oxygen tension and hyperlactatemia. Survival in severe cardiopulmonary disease. *JAMA.* 1976; 236(6):570-4.
  29. Maddirala S, Khan A. Optimizing hemodynamic support in septic shock using central and mixed venous oxygen saturation. *Crit Care Clin.* 2010;26(2):323-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccc.2009.12.006>
  30. Rivers EP, Katranji M, Jaehne KA, Brown S, Abou Dagher G, Cannon C, et al. Early interventions in severe sepsis and septic shock: a review of the evidence one decade later. *Minerva Anesthesiol.* 2012;78(6):712-24.
  31. Nguyen HB, Loomba M, Yang JJ, Jacobsen G, Shah K, Otero RM, et al. Early lactate clearance is associated with biomarkers of inflammation, coagulation, apoptosis, organ dysfunction and mortality in severe sepsis and septic shock. *J Inflamm (Lond).* 2010 Jan 28;7:6. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-9255-7-6>
  32. Nichol A, Bailey M, Egi M, Pettila V, French C, Stachowski E, et al. Dynamic lactate indices as predictors of outcome in critically ill patients. *Crit Care.* 2011;15(5):R242. <http://dx.doi.org/10.1186/cc10497>
  33. Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, Hirani A. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review of the literature. *Crit Care Med.* 2009;37(9):2642-7. <http://dx.doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181a590da>
  34. Huang CC, Fu J-Y, Hu H-C, Kao KC, Chen NH, Hsieh MJ, et al. Prediction of fluid responsiveness in acute respiratory distress syndrome patients ventilated with low tidal volume and high positive end-expiratory pressure. *Crit Care Med.* 2008;36(10):2810-6. <http://dx.doi.org/10.1097/CCM.0b013e318186b74e>
  35. Feissel M, Michard F, Faller J-P, Teboul JL. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med.* 2004;30(9):1834-7.