



C A P Í T U L O 7

HEMODINÂMICA AVANÇADA NO DIAGNÓSTICO E MANEJO DO CHOQUE SÉPTICO

<https://doi.org/10.22533/at.ed.863182501087>

Rodrigo Tosqui Pereira

Ana Beatriz Vedana

Débora Galego de Paula

José Costa Vieira Júnior

João Marcos Santos Veras

Marco Antônio Duarte Silva

Marks Vinícius Targa Pereira

Rafael Vian Costa

Suewa Guerra Marinho

Erick Daniel Costa Shockness

RESUMO: Introdução: O choque séptico é uma condição crítica caracterizada por disfunção circulatória e hipoperfusão tissular, com alta taxa de mortalidade. A monitorização hemodinâmica avançada permite uma abordagem mais precisa no diagnóstico e manejo, otimizando a reposição volêmica e o suporte vasopressor. Objetivo: Discutir os avanços na monitorização hemodinâmica aplicados ao diagnóstico e tratamento do choque séptico em terapia intensiva. Metodologia: Foi realizada uma revisão de literatura em bases de dados como PubMed, Scielo e Cochrane Library, selecionando estudos recentes sobre monitorização hemodinâmica avançada no choque séptico. Resultados: As técnicas avançadas incluem monitorização por análise do contorno do pulso, doppler transesofágico e biomarcadores hemodinâmicos.

Evidências sugerem que essas ferramentas permitem avaliação precoce da perfusão tissular, ajuste personalizado de fluidoterapia e otimização da terapia vasopressora, reduzindo a mortalidade e a duração da ventilação mecânica. Conclusão: A incorporação de estratégias avançadas na monitorização hemodinâmica melhora o prognóstico dos pacientes com choque séptico, permitindo intervenções mais precoces e individualizadas. O uso adequado dessas tecnologias pode reduzir complicações e otimizar os desfechos clínicos na terapia intensiva.

PALAVRAS-CHAVE: Choque séptico; Monitorização hemodinâmica; Terapia Intensiva.

ADVANCED HEMODYNAMICS IN THE DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF SEPTIC SHOCK

ABSTRACT: Introduction: Septic shock is a critical condition characterized by circulatory dysfunction and tissue hypoperfusion, with a high mortality rate. Advanced hemodynamic monitoring allows a more precise approach in the diagnosis and management, optimizing fluid resuscitation and vasopressor support. Objective: To discuss advances in hemodynamic monitoring applied to the diagnosis and treatment of septic shock in intensive care. Methodology: A literature review was conducted using databases such as PubMed, Scielo, and Cochrane Library, selecting recent studies on advanced hemodynamic monitoring in septic shock. Results: Advanced techniques include pulse contour analysis, transesophageal Doppler, and hemodynamic biomarkers. Evidence suggests these tools enable early assessment of tissue perfusion, personalized fluid therapy adjustment, and optimization of vasopressor therapy, reducing mortality and duration of mechanical ventilation. Conclusion: The incorporation of advanced strategies in hemodynamic monitoring improves the prognosis of patients with septic shock, allowing earlier and individualized interventions. Proper use of these technologies can reduce complications and optimize clinical outcomes in intensive care.

KEYWORDS: Septic shock; Hemodynamic monitoring; Intensive care.

INTRODUÇÃO

O choque séptico é uma síndrome clínica grave, caracterizada por disfunção circulatória, celular e metabólica decorrente de uma resposta inflamatória sistêmica desregulada frente a uma infecção. Segundo a Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3), define-se choque séptico como a presença de sepse associada à necessidade de vasopressores para manter pressão arterial média (PAM) ≥ 65 mmHg e níveis séricos de lactato > 2 mmol/L, apesar de adequada reposição volêmica (SINGER et al., 2016). Essa condição representa a forma

mais grave da sepse e está associada a elevadas taxas de mortalidade, variando entre 30% e 50% em unidades de terapia intensiva (UTI) de países desenvolvidos e podendo ultrapassar 60% em países com recursos limitados (RHODES et al., 2017; MARTÍNEZ et al., 2020).

A fisiopatologia do choque séptico envolve múltiplos mecanismos interligados, incluindo vasodilatação sistêmica mediada por óxido nítrico, aumento da permeabilidade capilar, disfunção microcirculatória, depressão miocárdica e alterações no metabolismo celular. Esses eventos culminam em hipoperfusão tecidual e falência orgânica múltipla, exigindo intervenções rápidas e direcionadas para restaurar a homeostase hemodinâmica (MARIK; MONNET; PINSKY, 2011).

A avaliação clínica isolada, embora imprescindível, apresenta limitações na detecção precoce de instabilidade hemodinâmica e na diferenciação entre as causas da hipoperfusão. Parâmetros tradicionalmente utilizados, como pressão arterial, frequência cardíaca, débito urinário e saturação periférica de oxigênio, refletem alterações tardias no quadro circulatório e podem subestimar a gravidade da disfunção circulatória.

Nesse cenário, a monitorização hemodinâmica avançada desponta como uma ferramenta fundamental no diagnóstico e manejo do choque séptico, permitindo a obtenção de dados objetivos e contínuos sobre variáveis cardiovasculares críticas, como débito cardíaco, pré-carga, pós-carga e perfusão tecidual. Tais informações viabilizam decisões terapêuticas individualizadas, otimizando a reposição volêmica, o uso de agentes vasopressores e inotrópicos, e evitando tanto a hipoperfusão persistente quanto a sobrecarga hídrica — fatores que impactam diretamente a sobrevida e a recuperação funcional do paciente (MONNET; PINSKY, 2021).

A relevância do tema se justifica não apenas pela alta incidência e mortalidade associadas ao choque séptico, mas também pelo crescente desenvolvimento tecnológico e científico na área da monitorização hemodinâmica. O entendimento aprofundado das ferramentas disponíveis, de suas indicações e limitações, é fundamental para que o intensivista possa aplicá-las de forma racional, baseada em evidências, integrando-as ao contexto clínico de cada paciente.

Assim, tem-se como objetivo discutir os fundamentos, métodos e implicações clínicas da monitorização hemodinâmica avançada no diagnóstico e tratamento do choque séptico, com base nas evidências científicas mais recentes e nas recomendações de diretrizes internacionais.

FISIOPATOLOGIA DO CHOQUE SÉPTICO

O choque séptico é uma manifestação grave da sepse, caracterizada por um estado de hipoperfusão tecidual sustentada, resultante de uma resposta inflamatória sistêmica desregulada frente a um agente infeccioso. A fisiopatologia é multifatorial e envolve alterações na macro e microcirculação, bem como disfunção celular e metabólica (SINGER et al., 2016; RHODES et al., 2017).

Após o reconhecimento do patógeno pelo sistema imunológico inato — mediado por receptores como *Toll-like receptors*(TLRs) — ocorre ativação maciça de vias inflamatórias, culminando na liberação de citocinas pró-inflamatórias, como fator de necrose tumoral alfa (TNF- α), interleucinas (IL-1 β , IL-6) e óxido nítrico sintase induzível (iNOS). Essas substâncias promovem vasodilatação sistêmica pronunciada, redução do tônus vascular e aumento da permeabilidade endotelial, resultando em extravasamento plasmático e hipovolemia relativa (ANGUS; VAN DER POLL, 2013).

No nível microcirculatório, há desorganização do fluxo capilar, formação de microtrombos pela ativação desregulada da coagulação e disfunção endotelial, levando à heterogeneidade na distribuição do fluxo sanguíneo. Essa disfunção compromete a entrega de oxigênio aos tecidos, mesmo quando parâmetros macrocirculatórios, como pressão arterial e débito cardíaco, estão aparentemente preservados (INGEBRETSSEN; JENSEN, 2021).

A disfunção miocárdica é outro componente relevante, presente em até 50% dos casos de choque séptico. Essa condição, conhecida como “miocardiopatia séptica”, caracteriza-se por depressão transitória da contratilidade ventricular, associada a alterações no cálcio intracelular, lesão mitocondrial e efeitos diretos de mediadores inflamatórios sobre o miocárdio (FINK, 2014). Essa disfunção contribui para a redução do débito cardíaco e agrava a hipoperfusão sistêmica.

Além das alterações circulatórias, o choque séptico está associado a uma profunda disfunção metabólica, marcada pela incapacidade celular de utilizar adequadamente o oxigênio devido à disfunção mitocondrial, fenômeno descrito como “hipoxia citopática” (BREALEY et al., 2002). A produção de radicais livres, o desequilíbrio entre óxido nítrico e espécies reativas de oxigênio e a ativação de vias apoptóticas agravam a falência orgânica múltipla.

Em síntese, o choque séptico resulta da interação complexa entre inflamação sistêmica exacerbada, vasoplegia, disfunção microcirculatória, depressão miocárdica e alterações metabólicas celulares. A detecção e intervenção precoces são essenciais para interromper essa cascata patológica e reduzir a mortalidade associada.

MONITORIZAÇÃO HEMODINÂMICA NO CONTEXTO DO CHOQUE

A monitorização hemodinâmica constitui um pilar fundamental na abordagem do paciente crítico com choque séptico, pois fornece parâmetros objetivos para guiar intervenções terapêuticas e avaliar a resposta ao tratamento. A escolha do método de monitorização deve considerar a gravidade clínica, a disponibilidade de recursos, a experiência da equipe e as características fisiopatológicas do paciente (MONNET; PINSKY, 2021).

Monitorização Convencional

A monitorização convencional envolve a avaliação de parâmetros facilmente obtidos à beira-leito, como pressão arterial média (PAM), frequência cardíaca (FC), débito urinário e saturação periférica de oxigênio (SpO_2). Embora amplamente utilizada, esta abordagem apresenta limitações importantes no contexto do choque séptico.

A pressão arterial, por exemplo, reflete apenas a pressão de perfusão macrocirculatória e pode permanecer dentro de valores normais nas fases iniciais da sepse devido a mecanismos compensatórios, mascarando a hipoperfusão tecidual. A frequência cardíaca, por sua vez, sofre influência de fatores como febre, uso de drogas vasoativas e resposta autonômica, não sendo um marcador específico de hipovolemia ou disfunção circulatória.

O débito urinário, embora seja um indicador indireto da perfusão renal, pode ser influenciado por disfunções prévias do trato urinário, uso de diuréticos e alterações hormonais. Já a saturação periférica de oxigênio (SpO_2) avalia a oxigenação arterial, mas não informa sobre a utilização de oxigênio nos tecidos, podendo estar normal mesmo na presença de choque profundo (MARIK; MONNET; PINSKY, 2011).

Assim, a monitorização convencional, apesar de útil como triagem inicial, é considerada um marcador tardio de hipoperfusão e não fornece informações precisas sobre a hemodinâmica global do paciente séptico, podendo atrasar intervenções cruciais.

Monitorização Hemodinâmica Avançada

A monitorização hemodinâmica avançada surge como ferramenta essencial para avaliação mais acurada do estado circulatório e da perfusão tecidual. Esse conjunto de métodos permite mensurar, de forma contínua ou intermitente, variáveis fundamentais como débito cardíaco, índices de pré-carga e pós-carga, complacência ventricular, variação da pressão de pulso e indicadores metabólicos da perfusão.

Análise do contorno do pulso

Sistemas como **PiCCO** (*Pulse Contour Cardiac Output*) e **LiDCO** (*Lithium Dilution Cardiac Output*) utilizam algoritmos para calcular o débito cardíaco a partir da forma da onda de pressão arterial. Além disso, permitem estimar variáveis como volume sistólico, variação da pressão de pulso e água extravascular pulmonar, auxiliando na titulação precisa de fluidos e vasopressores. São métodos minimamente invasivos e oferecem dados em tempo real, porém requerem calibração periódica para maior acurácia.

Ecocardiografia hemodinâmica

A ecocardiografia transtorácica e transesofágica tem papel central na avaliação funcional do coração em pacientes sépticos. Permite analisar a contratilidade ventricular, o enchimento de câmaras cardíacas, a presença de derrame pericárdico e sinais de congestão venosa sistêmica. É um método não invasivo (no caso da via transtorácica) e dinâmico, capaz de orientar decisões imediatas sobre reposição volêmica e uso de inotrópicos.

Doppler transesofágico

O Doppler transesofágico possibilita monitorização contínua do fluxo sanguíneo na aorta descendente, fornecendo estimativas do débito cardíaco e da resistência vascular sistêmica. É útil em pacientes sob ventilação mecânica prolongada ou naqueles em que a ecocardiografia convencional apresenta limitações de janela acústica.

Biomarcadores hemodinâmicos

Biomarcadores laboratoriais complementam a avaliação funcional e incluem:

- **Lactato sérico:** indicador de metabolismo anaeróbico, sendo útil para identificar hipoperfusão e monitorar resposta à reanimação.
- **Saturação venosa central de oxigênio ($ScvO_2$):** avalia o equilíbrio entre oferta e consumo de oxigênio. Valores persistentemente baixos sugerem inadequação da perfusão.
- **Variação da pressão venosa de CO_2 (ΔPCO_2):** indica comprometimento do fluxo sanguíneo microcirculatório, mesmo na presença de parâmetros macrocirculatórios aparentemente normais.

A integração dessas ferramentas no manejo do choque séptico permite intervenções mais precoces, individualizadas e fundamentadas, aumentando as chances de reversão do quadro antes da instalação de falência orgânica irreversível.

IMPACTO CLÍNICO DAS TÉCNICAS AVANÇADAS

A adoção de técnicas avançadas de monitorização hemodinâmica no manejo do choque séptico representa um marco na individualização da terapia e na melhoria dos desfechos clínicos. Diferentemente dos métodos convencionais, que frequentemente baseiam-se em parâmetros clínicos subjetivos, a monitorização hemodinâmica invasiva e minimamente invasiva fornece dados quantitativos e dinâmicos sobre a perfusão tecidual, a função cardíaca e o estado volêmico do paciente (CECCHINI; DE BACKER, 2014).

Essas ferramentas permitem o ajuste personalizado da fluidoterapia, evitando tanto a hipovolemia quanto a sobrecarga hídrica, condições associadas a maior risco de disfunção orgânica e aumento da mortalidade (MARIK; BELLAMY, 2011). Além disso, possibilitam a titulação precisa de drogas vasoativas, com base em parâmetros como débito cardíaco, resistência vascular sistêmica e variações da pressão arterial média, assegurando que as metas de perfusão sejam alcançadas de forma segura e eficaz.

A avaliação contínua da resposta terapêutica, por meio de indicadores dinâmicos como variação da pressão de pulso (VPP), variação da pressão sistólica (VPS) e análise da curva de pressão arterial, contribui para decisões clínicas mais rápidas e embasadas, reduzindo a probabilidade de intervenções desnecessárias ou tardias (PINSKY, 2018).

Diversos estudos demonstram que a abordagem de ressuscitação orientada por metas – goal-directed therapy – baseada em parâmetros obtidos por monitorização avançada, está associada à redução da mortalidade, menor tempo de ventilação mecânica e redução do tempo de internação em unidades de terapia intensiva (RHODES et al., 2017; OSBORN; SHAPIRO; ANGUS, 2019).

Apesar de tais benefícios, a implementação dessas tecnologias exige treinamento especializado e integração a protocolos institucionais bem definidos, de forma a garantir interpretação correta dos dados e uso racional dos recursos. Quando incorporadas a um manejo multidisciplinar e precoce do choque séptico, as técnicas avançadas de monitorização hemodinâmica podem representar um diferencial decisivo na preservação da função orgânica e na melhora dos resultados clínicos.

LIMITAÇÕES E DESAFIOS

Apesar do avanço e dos benefícios clínicos proporcionados pelas técnicas modernas de monitorização hemodinâmica, sua implementação ampla ainda enfrenta barreiras significativas. Um dos principais obstáculos é o alto custo dos equipamentos e consumíveis necessários, que pode limitar o acesso, especialmente em instituições de menor porte ou em sistemas de saúde com restrições orçamentárias. Esse fator é particularmente relevante em países de média e baixa renda, onde a priorização de recursos tende a concentrar-se em tecnologias mais básicas e de maior cobertura populacional.

Outro desafio é a necessidade de capacitação contínua das equipes multiprofissionais. O uso seguro e eficaz dessas ferramentas exige conhecimento aprofundado não apenas sobre o funcionamento técnico, mas também sobre a interpretação clínica dos parâmetros obtidos. Profissionais não treinados podem realizar leituras equivocadas ou adotar condutas inadequadas, o que potencialmente compromete a segurança do paciente.

Além disso, há limitações inerentes à interpretação dos dados. Mesmo métodos avançados estão sujeitos a variabilidade interindividual e interferências externas, como alterações na mecânica ventilatória, arritmias cardíacas ou mudanças abruptas no tônus vascular. Sem uma integração criteriosa com a avaliação clínica global, a dependência excessiva de parâmetros isolados pode conduzir a decisões terapêuticas inadequadas.

Outro ponto crítico é o risco de uso indiscriminado dessas tecnologias. A aplicação sem indicação precisa ou sem um protocolo bem definido pode resultar em intervenções desnecessárias, aumento da exposição do paciente a riscos iatrogênicos e elevação dos custos hospitalares sem benefício clínico proporcional.

Por fim, a incorporação de novas tecnologias exige validação contínua e adaptação às diferentes realidades assistenciais. Fatores como disponibilidade de insumos, infraestrutura hospitalar e suporte técnico para manutenção influenciam diretamente o sucesso da implementação. Portanto, a adoção de técnicas avançadas deve ser pautada por protocolos baseados em evidências, análise de custo-benefício e programas de treinamento estruturados, assegurando que o investimento resulte em ganho real de qualidade e segurança na assistência ao paciente crítico (MONNET; PINSKY, 2021).

RESULTADOS

A análise da literatura recente sobre monitorização hemodinâmica avançada no choque séptico demonstra que o uso dessas tecnologias impacta positivamente na avaliação e no manejo dos pacientes críticos. Estudos randomizados e revisões sistemáticas evidenciam que a integração de métodos como análise do contorno do pulso, ecocardiografia hemodinâmica e doppler transesofágico permite uma detecção precoce das alterações hemodinâmicas, possibilitando intervenções individualizadas e tempestivas (MONNET; PINSKY, 2021; RHODES et al., 2017).

As variáveis monitoradas — incluindo débito cardíaco, variabilidade do volume sistólico e parâmetros de perfusão tecidual como lactato e saturação venosa central de oxigênio — fornecem dados objetivos para guiar a reposição volêmica, a titulação de vasopressores e o uso de inotrópicos, reduzindo episódios de hipovolemia ou sobrecarga hídrica.

Além disso, os estudos indicam que a monitorização orientada por metas está associada a redução significativa na mortalidade hospitalar, no tempo de ventilação mecânica e na duração da internação em unidades de terapia intensiva. Esses benefícios são potencializados quando combinados a protocolos clínicos estruturados e à capacitação contínua das equipes multiprofissionais (RHODES et al., 2017; CECCHINI; DE BACKER, 2014).

Por outro lado, limitações metodológicas em alguns estudos e a heterogeneidade das populações analisadas indicam a necessidade de mais pesquisas para definição das melhores estratégias e indicadores de monitorização para subgrupos específicos, considerando fatores como gravidade da sepse, comorbidades e recursos disponíveis.

CONCLUSÃO

A monitorização hemodinâmica avançada representa um avanço significativo no diagnóstico e manejo do choque séptico, oferecendo informações detalhadas e dinâmicas que potencializam a tomada de decisões clínicas fundamentadas e personalizadas. A incorporação dessas tecnologias, aliada ao raciocínio clínico e protocolos baseados em evidências, permite otimizar a reposição volêmica, o uso de drogas vasoativas e o suporte circulatório, promovendo melhores desfechos para pacientes críticos.

Apesar dos desafios relacionados a custos, necessidade de capacitação e interpretação dos dados, a experiência atual demonstra que o uso racional dessas ferramentas reduz a mortalidade, diminui o tempo de ventilação mecânica e encorta a internação hospitalar. Para consolidar e ampliar esses benefícios, é essencial investir em formação profissional contínua, infraestrutura adequada e pesquisa clínica que validem as melhores práticas de monitorização hemodinâmica em diferentes contextos assistenciais.

Assim, a hemodinâmica avançada deve ser entendida como parte integrante do manejo multidisciplinar do choque séptico, contribuindo para intervenções mais precoces, seguras e eficazes, que resultam em melhora da sobrevida e da qualidade do cuidado em unidades de terapia intensiva.

REFERÊNCIAS

- MONNET, X.; PINSKY, M. R.** Predicting the determinants of volume responsiveness: should it be done? *Critical Care*, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-021-03493-y>.
- RHODES, A. et al.** Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock: 2016. *Intensive Care Medicine*, v. 43, p. 304-377, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00134-017-4683-6>.
- SEYMOUR, C. W. et al.** Time to treatment and mortality during mandated emergency care for sepsis. *New England Journal of Medicine*, v. 376, n. 23, p. 2235-2244, 2017. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1703058>.
- MALLAT, J. et al.** Bedside assessment of fluid responsiveness in ventilated septic shock patients using passive leg raising and cardiac output measurement by bioreactance. *Critical Care Medicine*, v. 43, n. 2, p. 354-360, 2015. Disponível em: https://journals.lww.com/ccmjournal/Fulltext/2015/02000/Bedside_Assessment_of_Fluid_Responsiveness_in.10.aspx.
- VINER, J. et al.** Hemodynamic monitoring in septic shock: an update. *Journal of Intensive Care*, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-021-00567-3>.
- FROST, S. A. et al.** The incidence of and risk factors for sepsis in adults: a systematic review and meta-analysis. *Critical Care*, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-019-2488-4>.
- TIBBY, S. M.; MURDOCH, I. A.** Monitoring cardiac function in intensive care. *Archives of Disease in Childhood*, v. 88, n. 1, p. 46-52, 2003. Disponível em: <https://adc.bmjjournals.org/content/88/1/46>.
- PINSKY, M. R.** Functional hemodynamic monitoring. *Critical Care Clinics*, v. 31, n. 1, p. 89-111, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749070414001113>.