

# Trauma, Cirurgia e Medicina Intensiva

Edição II

## Capítulo 21

### USO DA ULTRASSONOGRRAFIA NA MONITORIZAÇÃO HEMODINÂMICA DO PACIENTE CRÍTICO

OTÁVIO DE OLIVEIRA ROSSI<sup>1</sup>  
SHARA LOCH FORNESA<sup>1</sup>  
EDGARD GONÇALVES SENA<sup>1</sup>  
LUIZ CLÁUDIO DOS SANTOS GONÇALVES<sup>1</sup>  
NATHALY CAROLINE ARBIGAUS<sup>1</sup>  
NOÉMIE FOURCROY MAILLARD<sup>1</sup>  
PATHRICK MIGUELES FAÉ<sup>1</sup>  
RAPHAELLA DOS SANTOS LIMA<sup>1</sup>  
CARLOS ALBERTO DEZAN JÚNIOR<sup>1</sup>  
ANA LUÍSA MARQUES TAVARES<sup>1</sup>  
ANA LUÍSA TORRES GUIMARÃES COSTA<sup>1</sup>  
ANA CAROLINA GARCIA GIORI<sup>1</sup>  
BRENER RAAD PEREIRA<sup>1</sup>  
ARTHUR OSWALDO DE ABREU VIANNA<sup>2</sup>  
GLEICIELI MONTEIRO PEREIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente – Medicina da Universidade Federal Fluminense

<sup>2</sup>Docente – Departamento de Pneumologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal Fluminense

<sup>3</sup>Médica - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

*Palavras-chave:* Ultrassonografia; Monitorização; Hemodinâmica

DOI

10.59290/978-65-6029-168-3.21

**P** EDITORA  
**PASTEUR**

## INTRODUÇÃO

A monitorização hemodinâmica é uma ferramenta essencial na gestão de pacientes críticos, permitindo a avaliação precisa da função cardiovascular e orientando intervenções terapêuticas. Tradicionalmente, essa monitorização tem sido realizada por meio de métodos invasivos, sendo o Cateter de Artéria Pulmonar ainda o padrão ouro na avaliação do débito cardíaco, apesar de demandar uma série de cuidados e trazer consigo riscos e complicações. Os métodos minimamente invasivos ganham cada vez mais espaço, aliando a possibilidade da avaliação da fluidorresponsividade e um manejo menos complicado (PINSKY, 2005).

Contudo, estes métodos ainda são indisponíveis na maioria das unidades de terapia intensiva brasileiras, por seu alto custo. Não obstante, apresentam limitações importantes, dentre as quais destacam-se a incapacidade de diagnosticar patologias importantes, validação limitada, necessidade de calibração, ausência de monitoramento ventricular direito e falta de funcionalidade com contrapulsção da bomba de balão aórtico (GEISEN, 2014). Uma brilhante alternativa a estes entraves surge na ultrassonografia, mais disponível, não invasiva e cujas técnicas e emprego, que antes eram quase que exclusivos dos radiologistas e cardiologistas, tornam-se parte do dia-a-dia do intensivista (DUVALL, 2003).

Nesse sentido, a ultrassonografia vem ganhando espaço como uma alternativa capaz de fornecer dados hemodinâmicos precisos sem os riscos associados aos métodos invasivos tradicionais. Este método permite uma avaliação dinâmica e imediata do estado cardiovascular do paciente, através da avaliação do débito cardíaco, avaliação da contratilidade ventricular, das

análises da fluidorresponsividade e da fluidotolerância, da estimativa das pré-cargas direita e esquerda e da própria visualização estrutural e funcional (SHOKOOHI *et al.*, 2015; GEISEN, 2014). Além disso, a ultrassonografia oferece diversas vantagens, como a possibilidade de repetição frequente, a portabilidade dos dispositivos e a ausência de exposição à radiação. Esses fatores tornam a ultrassonografia uma ferramenta indispensável na monitorização de pacientes críticos, especialmente em unidades de terapia intensiva e em ambientes de emergência (SCHEEREN & RAMSAY, 2019).

O objetivo deste capítulo, portanto, é trazer à luz tais aplicabilidades, de forma concisa e ao mesmo tempo com a riqueza de detalhes pertinente e necessária ao tema, demonstrando, em um primeiro momento, as indicações, vantagens e limitações do método, seguidas pela explicação da medida do débito cardíaco pela ecocardiografia, abordando ainda como este método pode ser útil na avaliação das pressões de enchimento, da fluidorresponsividade e da fluidotolerância do paciente crítico. Destacamos, entretanto, que o uso fidedigno da ecocardiografia por médicos não especialistas, apesar de validado, requer treinamento e não deve substituir a avaliação do especialista, quando esta se fizer necessária. Por isso, a avaliação ecocardiográfica feita pelo não especialista recebe o nome de ecocardiografia “point of care” (POCUS) ou ecocardiografia hemodinâmica (MCLEAN, 2016; SPENCER, 2013).

## MÉTODO

Foi realizada uma revisão bibliográfica em setembro de 2023, com busca nas bases de dados PubMed, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e Literatura LatinoAmericana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS).

Os critérios de inclusão para a busca de materiais foram: artigos publicados nos idiomas português, inglês ou espanhol, que estivessem disponíveis na íntegra, priorizando aqueles publicados entre os anos 2010 e 2024. Foram incluídos estudos originais, revisões sistemáticas, meta-análises e diretrizes clínicas.

Os descritores utilizados foram “ultrassom”, “monitorização hemodinâmica”, “débito cardíaco”, “fluidorresponsividade”, “fluidotolerância”, “terapia intensiva”, os quais apresentam equivalentes na língua inglesa, respectivamente, “*ultrasound*”, “*hemodynamic monitoring*”, “*cardiac output*”, “*fluid responsiveness*”, “*fluid tolerance*” e “*critical care*”. Como critério de exclusão foram definidos materiais duplicados ou que não correspondem ao tema de interesse. A exclusão foi feita a partir da leitura do título e dos resumos disponíveis. Dos resultados disponíveis, vinte e nove foram lidos pela equipe para o devido aproveitamento, sendo colocados nas referências do trabalho. Foram excluídos os estudos que não estavam relacionados diretamente ao tema ou que apresentavam um baixo nível de evidência.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Indicações e Limitações da Ecocardiografia “point of care” na Avaliação Cardíaca e Hemodinâmica

O emprego da ecocardiografia transtorácica hemodinâmica, ultrassonografia cardíaca focada ou ecocardiografia “*point of care*” é aplicável em diversas situações comuns no ambiente de terapia intensiva e emergência, possibilitando, por si só, a identificação de dados importantes e até a obtenção de diagnósticos. Podemos citar como indicação para seu uso, principalmente, a avaliação da hipotensão de etio-

logia indefinida, avaliação da função do ventrículo esquerdo e do ventrículo direito, identificação de derrame pericárdico/tamponamento cardíaco, avaliação de complicações após cirurgia cardiotorácica, bem como a avaliação do estado volêmico e possível responsividade a fluidos, monitoramento após intervenções terapêuticas, dentre outras (GEISEN, 2014; SPENCER, 2013; SHOKOOHI, 2015).

Apesar de a ecocardiografia transtorácica ser bem validada e segura, amplamente usada em cuidados intensivos devido à sua natureza não invasiva, algumas situações podem limitar seu uso neste ambiente. As janelas ecocardiográficas mais utilizadas são as paraesternais esquerda, apical e subxifoide, cuja obtenção geralmente é prejudicada no paciente ventilado pós-cirúrgico cardíaco. Quando o paciente ventilado apresenta uma alta pressão positiva expiratória final elevada, as janelas paraesternal esquerda e apical são obstruídas pelo pulmão, e a janela subxifoide geralmente não está disponível para varredura devido à curvatura ou por tubos de drenagem (GEISEN, 2014).

Aspectos anatômicos particulares dos pacientes ou doenças subjacentes também podem dificultar a avaliação ecocardiográfica. Muitas vezes, também, os pacientes internados em UTI não são colaborativos como os ambulatoriais, por diversos motivos, não permitindo o posicionamento ideal para o exame. Outra limitação importante é a necessidade de treinamento e perícia por parte do examinador não só para a aquisição das imagens, mas também para reconhecer, interpretar e medir os achados. A acuidade e qualidade das imagens varia de aparelho para aparelho, e nem sempre os aparelhos destinados às UTIs e emergências apresentam a qualidade necessária para um exame adequado (SPENCER, 2013).

### Avaliação do Débito Cardíaco com o Uso da Ultrassonografia

É possível mensurar o débito cardíaco através da ecocardiografia com boa acurácia em relação a sua aferição por métodos invasivos. O débito cardíaco é dado pelo produto entre volume sistólico e frequência cardíaca. O volume sistólico é obtido mais comumente, pela ecocardiografia, através da medida da integral da velocidade ao longo do tempo (*velocity time integral - VTI*) do fluxo sanguíneo na via de saída do ventrículo esquerdo (VSVE) multiplicada pela área da VSVE. O raciocínio por trás deste método reside no fato de que todo o sangue ejetado durante a sístole passa pela VSVE - que é aproximadamente circular - e percorre determinada distância, que pode ser medida (MITCHELL *et al*, 2018; BLANCO, 2020).

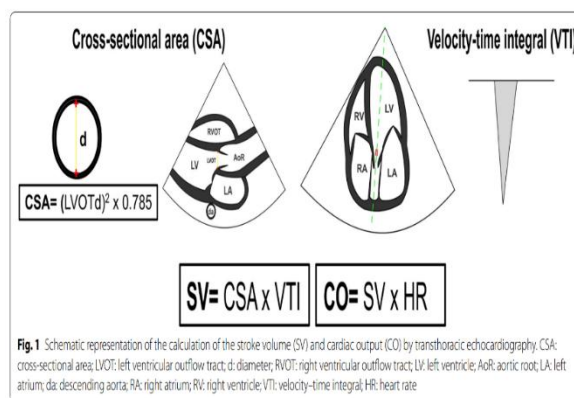
Pode-se imaginar, então, que todo o volume de sangue que passou pela VSVE em um certo batimento estaria contido num cilindro imaginário cuja base é a própria área da VSVE e cuja altura é a distância percorrida por ele. Essa distância pode ser calculada através da integral da velocidade deste fluxo sanguíneo ao longo do tempo (VTI), com o emprego do Doppler Pulsado (PW), através da medida da área sob a curva abaixo da linha de base. Assim sendo, a área do cilindro é obtida medindo o diâmetro “D” da VSVE na janela paraesternal longitudinal, posicionando o transdutor entre o segundo e quarto espaço intercostal esquerdo, com o índice apontando para o ombro direito do paciente. Usando a fórmula da área de um cilindro ( $\pi R^2$ ), em que R é o raio, ao substituí-lo por D/2, a área da VSVE será encontrada.

Seguidamente, para encontrar a VTI do fluxo sanguíneo na VSVE, deve-se posicionar o transdutor na região apical do paciente e, a partir do corte convencional de 4 câmaras, realizar uma leve rotação no sentido horário e anteriorizar o transdutor, evidenciando um corte de 5 câmaras. Desse modo é possível visualizar

a via de saída do ventrículo esquerdo, a valva aórtica e a porção proximal da aorta. Em seguida, aplica-se o Doppler pulsado (PW) na área correspondente à via de saída do ventrículo esquerdo. O fluxo sanguíneo capturado abaixo da linha de base representa o fluxo sistólico que passa por essa região, sendo possível observar o fluxo laminar, com o centro escuro e a periferia clara, e assim selecionar a região de interesse (**Figura 21.1**). Ao selecionarmos essa curva, o aparelho calcula automaticamente as velocidades e gradientes máximos e médios, além de fornecer o integral da velocidade ao longo do tempo (VTI).

A VTI é proporcional ao fluxo total que atravessa essa região e, portanto, está diretamente relacionado ao débito cardíaco. O valor normal da VTI em indivíduos normocárdicos é de 18 a 22 cm. É descrita uma variabilidade intraobservador na estimativa do débito cardíaco pela ecocardiografia de 11%, enquanto a variabilidade interobservador chega a 14%, de forma que tanto o cálculo da VTI, quanto da área da VSVE estão sujeitos a erros de medida. Contudo, uma variabilidade de 5% na estimativa da VTI pode ser considerada desprezível, não interferindo no resultado (JOZWIAK *et al*. 2019).

**Figura 21.1** Cálculo do débito cardíaco através da ecocardiografia



**Fonte:** BLANCO, 2020. **Legenda:** A imagem mostra a medição do diâmetro da VSVE, na janela paraesternal longitudinal, e da VTI, com o uso do Doppler pulsado na

VSVE na janela apical de cinco câmaras, calculando a área sob a curva espectral abaixo da linha de base. Esses valores podem ser jogados na fórmula para calcular o débito cardíaco. CSA = área seccional da VSVE (*cross-sectional area*); SV = débito cardíaco (*stroke volume*); CO = débito cardíaco (*cardiac output*).

### O Conceito de Fluidorresponsividade

Ao tratar um paciente crítico em estado de choque circulatório, é necessário que a administração de fluidos seja feita de maneira adequada e precisa, sem falta ou excesso. Sempre que ela for feita, deve objetivar elevar a pré-carga ventricular esquerda de forma a repercutir num aumento do débito cardíaco. Esse cuidado na administração de fluidos, resume, de certa forma, o conceito de fluidorresponsividade. Em outras palavras, um paciente é fluidorresponsivo quando ocorre o aumento do volume sistólico pelo ventrículo esquerdo em resposta à administração de fluidos, havendo benefício na expansão volêmica e melhora do equilíbrio hemodinâmico (JALIL & CAVALLAZZI, 2018).

O mecanismo fisiológico que explica esse conceito é a Lei de Frank Starling, segundo a qual existe uma relação direta entre o estiramento das fibras musculares das paredes ventriculares antes da sístole - pré carga - e a força de contração ventricular, de forma que uma elevação da pré-carga, até certo limite, pode elevar o volume sistólico. Uma definição mais precisa e matemática da fluidorresponsividade, com base nos estudos realizados, é a de um aumento de 10 a 15% no volume sistólico ou no débito cardíaco proporcionado pela infusão de 500 ml ou 6ml/kg de cristalóide, ou ainda 300 ml de colóide (CECCONI *et al.* 2014).

A fluidorresponsividade é uma característica normal de indivíduos saudáveis, devendo sua avaliação ser feita apenas nos pacientes críticos que apresentem hipoperfusão e com possível benefício clínico de uma melhora do débito cardíaco. A expansão volêmica não deve ser feita em indivíduos com disfunção valvar

grave ou disfunção grave do ventrículo direito - estas condições podem também ser avaliadas pela ecocardiografia - e deve-se ter cuidado ao realizá-la em pacientes com cardiopatias graves ou *shunts* intracardíacos, pois a maioria dos estudos sobre esta temática exclui esta categoria de pacientes.

### Como a Ultrassonografia pode Ajudar a Estimar as Pressões das Câmaras Direita e Esquerda e Como Elas Podem Nortear a Fluidorresponsividade

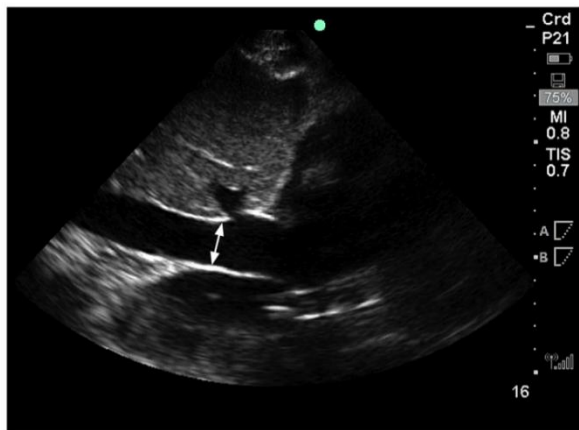
Como falado anteriormente, a pré-carga é a tensão das fibras cardíacas ao final da diástole. Portanto, não é possível medir diretamente seu valor, tampouco ele pode ser estimado fidedignamente pelas pressões de enchimento ou volume diastólico, já que a complacência ventricular influencia diretamente essa relação. Variações no tônus vascular, pressão intratorácica ou função cardíaca afetam diretamente a pressão atrial direita, sem uma alteração na pré-carga. Os pacientes têm gradientes variados de curvas de Frank-Starling, tornando difícil prever se uma pressão atrial direita baixa ou alta é uma representação verdadeira da pré-carga de um paciente. Em uma revisão sistemática que incluiu 24 estudos e 803 pacientes, os autores não encontraram associação entre pressão venosa central (PVC) basal ou sua variação com a responsividade a fluidos. Tendo em mente os resultados desta meta-análise, a PVC por si só não é um bom preditor da responsividade à pré-carga (JALIL & CAVALLAZZI, 2018).

Feita essa observação, sabe-se que a ecocardiografia nos permite estimar a pressão atrial direita dos pacientes através da medição do diâmetro veia cava e sua variabilidade respiratória, pela janela subcostal (**Figura 21.2**). A pressão atrial direita é dada por uma faixa de valores, não um valor exato, e apresenta boa correlação nos pacientes em respiração espon-

tânea - nos pacientes sob ventilação mecânica, a própria pressão positiva causa aumento da pressão atrial direita, de forma que a veia cava inferior fica mais distendida, perdendo valor para a inferência da pressão atrial direita.

O diâmetro deve ser medido em modo B ou modo M, 2 cm antes da entrada da veia cava inferior no átrio direito, na inspiração (maior diâmetro) e na expiração (menor diâmetro). Quando o diâmetro é menor do que 2,1 cm e variabilidade é maior do que 50%, a pressão situa-se entre 0 a 5mm Hg; quando o diâmetro é menor do 2,1 cm e a variabilidade é menor do que 50% ou quando o diâmetro é maior do que 2,1 e a variabilidade é maior do que 50%, a pressão situa-se entre 5 e 10 mmHg; já quando o diâmetro é maior do que 2,1 e a variabilidade é menor do que 50%, a pressão atrial direita situa-se entre 10 a 20 mmHg (RUDSKI *et al*, 2010).

**Figura 21.2** Aferição do diâmetro da VCI pelo ultrassom (janela subcostal)



**Legenda:** A imagem acima mostra a medição da VCI na janela subcostal, pelo modo B, a cerca de 2 cm da junção com o átrio direito. **Fonte:** B.A. Jalil, R. Cavallazzi, 2018.

A pressão de enchimento das câmaras esquerdas pode ser estimada pelo ultrassom, através da relação E/e' mitral: coloca-se a caixa de volume do Doppler pulsado (PW) logo abaixo

da abertura da valva mitral, no ventrículo esquerdo, entre as cúspides. O traçado espectral formado terá duas ondas positivas, sendo a primeira a onda E e a segunda a onda A. Deve-se medir o pico da velocidade da onda E. Após isso, usa-se o Doppler tecidual na parede lateral do ventrículo esquerdo, ao lado do anel mitral. Serão formadas duas curvas, desta vez abaixo da linha de base, que mostram a velocidade do movimento do tecido cardíaco durante a diástole. A primeira curva que se formar abaixo da linha de base correspondendo à onda e', devendo-se medir seu pico (NAGUEH *et al*. 2016).

A razão entre a onda E e a onda e' se relaciona com a pressão de enchimento ventricular esquerdo e a pressão atrial esquerda (PAE). Em um paciente com função sistólica normal, uma medida  $E/e' < 8$  prediz PAE normal e uma  $E/e' > 13$  prediz PAE elevada. Condições como estenose mitral, miocardiopatia hipertrófica, ritmo de marca-passo e valva mitral protética invalidam ou prejudicam essa relação. Além disso, é uma medida que exige do examinador um maior grau de afinidade com a ultrassonografia do que a simples medição do diâmetro da veia cava inferior (NAGUEH *et al*. 2016).

### Métodos Dinâmicos de Avaliação da Fluidoresponsividade

Como foi supracitado, medidas estáticas de pressões de enchimento não se mostraram úteis para prever se um paciente é ou não responsivo a fluidos. Os parâmetros dinâmicos, como já foi demonstrado por diversos estudos, possuem melhor acurácia nesse aspecto, porque avaliam a resposta do sistema cardiovascular a mudanças rápidas e, muitas vezes, transitórias no estado volêmico e na pré-carga. Abordaremos três delas a seguir: a manobra de elevação passiva das pernas (*passive leg raising - PLR*) o índice de colapsibilidade da veia cava inferior,

o índice de distensibilidade da veia cava inferior, a mini prova de volume e o teste de oclusão expiratória final.

### **Passive Leg Raising**

O *Passive Leg Raising* (PLR) é uma técnica amplamente utilizada para avaliação da fluidorresponsividade em pacientes criticamente enfermos, simulando uma autotransfusão temporária de aproximadamente 300 ml de sangue ao elevar as pernas do paciente a 45 graus. Essa abordagem permite avaliar a resposta hemodinâmica à sobrecarga de volume sem a administração de fluidos intravenosos, o que a torna segura e eficaz em diversos cenários clínicos. O PLR é especialmente valioso para evitar a sobrecarga hídrica em pacientes que podem não tolerar fluidos em excesso, proporcionando uma ferramenta reversível e controlada (MONNET & TEBOUL, 2015).

A principal vantagem do PLR reside no fato de que, ao alterar temporariamente o retorno venoso, o teste fornece uma prévia da resposta cardiovascular à infusão de volume. Estudos indicam que um aumento de 10% a 15% no débito cardíaco, medido por ultrassonografia ou outros dispositivos hemodinâmicos, é considerado um marcador confiável de fluidorresponsividade (CHERPANATH *et al.*, 2016). Essa técnica tem sido validada por uma ampla gama de ensaios clínicos, com resultados consistentes, o que torna o PLR uma escolha robusta para a avaliação de pacientes em estado crítico (MONNET & TEBOUL, 2015).

Para aumentar a sensibilidade da manobra, recomenda-se que o paciente inicialmente esteja com o tórax elevado a 45 graus e as pernas estendidas. A partir daí, deve-se medir a VTI da VSVE, abaixar a cabeceira da cama a 0 grau e elevar os membros inferiores a 45 graus. Após cerca de 30 segundos a 1 minuto, deve-se medir novamente a VTI da VSVE. Uma metanálise

que avaliou 23 estudos mostrou sensibilidade de 86% e especificidade de 92% para estimar fluidorresponsividade quando se atinge um aumento de 12 a 15% do volume sistólico, do débito cardíaco ou da VTI da VSVE, prevendo aumento de 12 a 15% do débito cardíaco com infusão de 500 ml de cristalóide (CHERPANATH & LEVITOV *et al.*, 2016).

É uma manobra que exige maior perícia e habituação com a ecocardiografia e deve ser evitada em pacientes com hipertensão intracraniana, já que exige que se reduza o decúbito do paciente. Sua acurácia diminui quando o paciente tem fibrilação atrial e, nessa situação, deve-se calcular um número maior de medidas e fazer uma média dos resultados. A presença de meias de compressão, hipertensão intra-abdominal e incapacidade de mobilizar os MMII prejudica a manobra, bem como o tônus adrenérgico - este pode ser minimizado explicando o procedimento ao paciente e monitorando a frequência cardíaca no decorrer do procedimento (MONNET & TEBOUL, 2015).

### **Índice de Colapsibilidade da VCI e Distensibilidade da VCI**

Na respiração espontânea, calcula-se o índice de colapsibilidade da veia cava inferior, porque seu diâmetro diminui durante a inspiração e aumenta durante a expiração. O cálculo é dado pela diferença entre o maior diâmetro (inspiratório) e o menor diâmetro (expiratório) dividida pelo maior diâmetro. Há divergência entre os estudos a respeito do ponto de corte a partir do qual o paciente será fluidorresponsivo. Além disso, é preciso ter cuidado ao utilizá-los em pacientes com desconforto respiratório, correndo o risco de superestimar o índice - o contrário também é verdadeiro (ORSO *et al.*, 2020; AIRAPETIAN *et al.*, 2015; MA *et al.*, 2022).

Outras condições que alteram o diâmetro da VCI, como hipertensão pulmonar e insuficiência tricúspide prejudicam a avaliação. Os estudos encontraram, de maneira geral, uma maior especificidade em relação à sensibilidade, de tal forma que é mais confiável confiar neste índice quando ele fica acima do valor de corte, do que quando fica abaixo dele. A acurácia do diâmetro da VCI para prever a PAD é maior do que para prever fluidorresponsividade em pacientes em respiração espontânea (MILLINGTON, 2019).

Já em pacientes ventilados mecanicamente, mede-se o índice de distensibilidade da VCI, porque o diâmetro aumenta na inspiração e diminui na expiração, em consequência da pressão positiva. Aqui, a fórmula é dada pelo diâmetro máximo (inspiratório) menos o diâmetro mínimo (expiratório) sobre o diâmetro mínimo (expiratório). Os estudos são heterogêneos entre si, inclusive na definição de fluidorresponsividade, na fórmula usada e nos pontos de corte. A acurácia é moderada, também havendo diversos fatores limitantes, como hipertensão intra-abdominal, hipertensão pulmonar e disfunção de VD, e uma série de requisitos - volume corrente de 8 ml/kg, ausência de drive respiratório, pressão positiva ao final da expiração (PEEP) baixa, tórax fechado (VIGNON *et al.*, 2017).

#### **Miniprova de Volume (*Mini Fluid Challenge*)**

Pode-se testar a fluidorresponsividade do paciente através de infusões de quantidades mínimas de volume. Como a pressão arterial depende tanto do débito cardíaco quanto da elasticidade arterial, essa manobra não pode ser realizada apenas medindo variações na pressão arterial, devendo-se medir o débito cardíaco antes e depois da mini prova com fluidos. Isso foi descrito pela primeira vez por Muller *et al.* com infusão de 100 ml de coloide ao longo de 1 min,

seguida pela infusão adicional de 400 ml do mesmo coloide nos próximos 14 minutos - o débito cardíaco foi estimado pela VTI da VSVE, antes e depois. Em pacientes profundamente sedados, em ventilação mecânica e sem arritmias, esse método teve excelente precisão. A variação de mais do que 10% da VTI após a infusão de 100 ml de coloide previu aumento de 15% da VTI após a infusão completa dos 500 ml, com sensibilidade, especificidade e acurácia de 95%, 78% e 92% (JALIL & CAVALLAZZI, 2018; MULLER *et al.* 2011).

#### **Teste de Oclusão Expiratória Final**

De acordo com um estudo que fora publicado em 2018, quando se faz a pausa ao final da expiração - teste de oclusão expiratória final, TOEF - em pacientes ventilados mecanicamente, o aumento de 9% na VTI da VSVE se relaciona com o aumento de 15% do débito cardíaco após 500 ml de soro fisiológico a 0,9%, com sensibilidade de 89% e especificidade de 95%. A explicação é que no fim da expiração a pressão positiva é menor, aliviando o impacto negativo que a ventilação mecânica exerce sobre o débito cardíaco do paciente e permitindo uma maior pré-carga, de forma a servir como uma autoinfusão de fluidos transitória (GEORGES *et al.* 2020; JALIL & CAVALLAZZI, 2018).

Pode-se combinar a TOEF com o teste de oclusão inspiratória final (TOIF), de maneira a aumentar a variação do débito cardíaco e minimizar erros - da mesma maneira que o TOEF causa um aumento na VTI, a TOIF causa uma diminuição. Assim, ao medir o DC na pausa inspiratória e depois na pausa expiratória, tem-se uma variação maior (JOZWIAK *et al.* 2017).

#### **Fluidotolerância**

Após a importante discussão sobre o conceito de fluidorresponsividade já realizada no

início deste capítulo, cabe ainda uma análise mais abrangente sobre a infusão de fluidos no paciente crítico, trazendo um outro conceito, relativamente novo, à mesa: o de fluidotolerância. Enquanto a fluidorresponsividade busca saber se o paciente terá um aumento do débito cardíaco decorrente de um aumento da pré-carga cardíaca após infusão de fluidos, a fluidotolerância busca saber se o paciente é capaz de tolerar a infusão de fluidos sem que fique congestionado. Muitas vezes, mesmo que o paciente responda positivamente a uma infusão inicial de fluidos, não se pode ter certeza de como esta expansão volêmica se manifestará a longo prazo, o que dependerá de diversos fatores, dentre os quais a condição clínica e estado basal do paciente (KATTAN *et al.*, 2022).

Já é sabido que a hipervolemia pode ser muito prejudicial para o paciente grave e que balanços hídricos positivos estão associados a piores resultados clínicos, incluindo redução de sobrevida e aumento da mortalidade (LEE *et al.*, 2014). A congestão sistêmica pode causar lesão orgânica por diversos mecanismos, sobretudo por prejudicar a perfusão orgânica, favorecendo a isquemia e hipóxia. A presença de edema intersticial dificulta o processo de difusão, o excesso de líquido dilui as hemácias e prejudica as trocas gasosas teciduais e o aumento da pressão venosa reduz a pressão de perfusão orgânica (INCE, 2015).

A avaliação da fluidotolerância é tanto sistêmica quanto pulmonar, já que a incapacidade de tolerância à fluidos pode se manifestar nos lados direito e esquerdo do coração. No lado esquerdo do coração, a hipervolemia e congestão podem ser avaliadas pelo aumento das pressões de enchimento, através análise da diástole do ventrículo esquerdo pela relação  $E/e'$ , já mencionada neste capítulo, e no pulmão, pela presença de linhas B, com padrão de edema cardiogênico - homogêneo, bilateral, gravitacional.

Por outro lado, a avaliação sistêmica (direita) vai além da medição do diâmetro da veia cava e estimativa da pressão atrial direita, já que estas apresentam-se um tanto incipientes para avaliação da fluidorresponsividade, bem como para avaliação da fluidotolerância, por serem tão multifatoriais e apresentarem uma série de limitações. Da mesma forma, a perfusão esplâncnica já vem sendo relacionada à congestão sistêmica há tempos, mas nenhuma medição isolada das pressões das veias intrarrenais, hepática ou porta havia se mostrado eficaz para prever congestão. Assim, o acesso à congestão sistêmica do paciente crítico era feito de forma imprecisa até pouco tempo, tendo evoluído com estudos recentes que trouxeram dados promissores.

### **O Escore VexUS**

Em 2020, Beaubien-Souligny *et al.*, através de análise estatística dos dados encontrados em estudo que fizeram em 2018, buscando encontrar uma correlação entre injúria renal aguda e fluxo das veia porta e intrarrenal em pacientes no perioperatório de cirurgia cardíaca, desenvolveu um escore ultrassonográfico visando quantificar a congestão venosa e validar a relação e previsibilidade clínica dele para com a injúria renal aguda, o qual recebeu o nome de *Venous Excess Ultrasound* (VExUS). Como qualquer modalidade POCUS, ele exige uma compreensão abrangente dos princípios de aquisição de imagem, interpretação precisa e integração de descobertas no contexto clínico relevante. Deficiências em qualquer um desses componentes pode resultar em um manejo subótimo ou inadequado (BEAUBIEN-SOULIGNY *et al.*, 2018).

Antes de iniciar o protocolo, o ideal é ter em mãos um transdutor de menor frequência, preferencialmente o convexo, para melhorar a aquisição pelo Doppler colorido e pulsado. O

paciente deve estar em decúbito dorsal, em posição supina. O ritmo respiratório deve ser calmo e a pausa expiratória final pode ajudar quando o ritmo respiratório estiver influenciando na obtenção das ondas. A pausa após inspiração profunda atrapalha o exame, assim como a manobra de Valsalva, devendo ser evitadas. O protocolo começa pela aferição do diâmetro da VCI, partindo do princípio de que o aumento da pressão venosa sistêmica se inicia no compartimento venoso mais próximo do átrio direito (BEAUBIEN-SOULIGNY *et al.*, 2020).

Essa medição normalmente é feita pela janela subxifoide, capturando seu diâmetro anteroposterior, cujo corte estabelecido é de 2 cm - há discordâncias em relação a este número, principalmente quando a área corporal dos indivíduos é levada em consideração; além disso, em alguns indivíduos a medição da VCI pela janela subxifoide é inacessível, sendo necessária a abordagem pela janela lateral direita (hepática), que encontra o diâmetro lateral, podendo diferir do anteroposterior e sendo pior para análise da colapsibilidade. Alguns autores defendem a análise do eixo transversal do vaso em ambas as janelas, alegando que uma veia mais circular, em vez de elíptica, correlaciona-se à maior pressão atrial direita (KORATALA *et al.*, 2024). A veia jugular interna pode servir como uma alternativa ao ultrassom da VCI para estimar PAD, numa proposta de extensão ao VExUS, fugindo do escopo da abordagem deste capítulo.

Assim, havendo a obtenção de valor igual ou maior que este corte, ou diante de suspeita de congestão apesar de obter corte inferior, o protocolo prossegue através da avaliação dos fluxos das veias hepáticas, porta e renais interlobares, respectivamente, pelo Doppler pulsado (**Figura 21.3**). Para analisar o fluxo das veias hepática e porta, a escala de velocidade do

Doppler é definida em cerca de 40 cm/s, enquanto para avaliação das veias interlobares renais, deve ser reduzida para algo em torno de 20 cm/s (KORATALA *et al.*, 2024). O estabelecimento de graus de congestão de 0 a 3 conforme seu aspecto:

A veia hepática é a primeira a ser analisada. Existem três veias hepáticas e sua visualização pode ser obtida também pela janela subxifoide ou pela janela lateral direita, ao nível da linha axilar média. A janela lateral é preferida por alguns autores por apresentar menos interferência e artefatos. Elas possuem bordas lisas e seu fluxo será visto em azul pelo Doppler colorido, indo em direção à VCI, afastando-se do transdutor. Por estar diretamente ligada à VCI, seu fluxo é pulsátil, possuindo quatro ondas: S, na sístole; V, representa o final da sístole; D, mostra o início da diástole, com enchimento ventricular passivo; A, representando a contração atrial. O ECG é imprescindível para analisar corretamente as ondas da veia hepática, que podem ser confundidas entre si sem a orientação do traçado eletrocardiográfico. A veia hepática normal apresenta a onda S maior do que a D; quando a congestão aumenta, a onda D se torna maior do que a S; no último estágio, a onda S se une com a onda A (BEAUBIEN-SOULIGNY *et al.*, 2020).

A veia porta possui a pressão da VCI amortecida pelos vasos sinusoides, não sendo normalmente pulsátil como a veia hepática. Seu fluxo normal é razoavelmente contínuo e a congestão é medida justamente pelo aumento do índice de pulsatilidade, que é dado pela diferença entre os valores do pico e do vale da onda, sendo esta diferença dividida pelo valor do pico e multiplicada por cem, para expressar o índice em porcentagem. Abaixo de 30%, é normal; entre 30-50%, congestão moderada; acima de 50%, congestão grave. A insonação da veia porta pode ser feita pela janela subcostal, mas

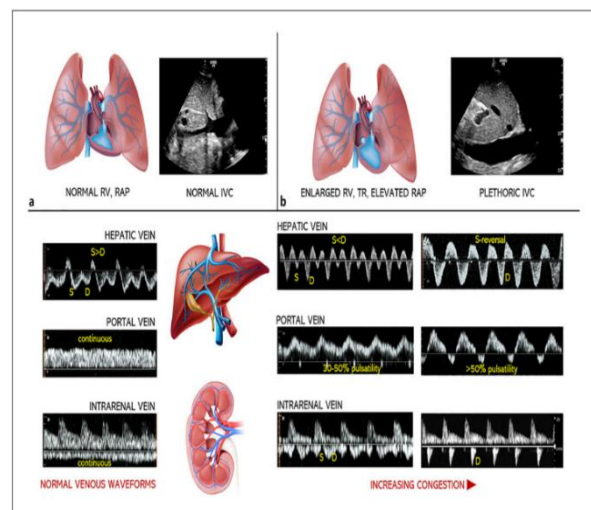
também é preferencialmente feita pela janela lateral direita. Ela é vista como uma veia com bordas hipocólicas e com fluxo vermelho ao Doppler colorido, em direção ao transdutor (BEAUBIEN-SOULIGNY *et al.*, 2020).

Por fim, prossegue-se para a análise do fluxo das veias renais interlobares ao Doppler pulsado. A insonação também é feita pela janela lateral, entre a linha axilar média e a linha axilar posterior sendo o rim direito preferível para análise. Otimizar o ganho facilita a visualização dos fluxos ao Doppler colorido. O posicionamento da caixa de volume é mais desafiador, mas normalmente ela engloba uma artéria e uma veia interlobar concomitantemente. A artéria fica vermelha e a veia fica azul ao Doppler colorido; a onda acima da linha de base é da artéria e abaixo é da veia. O normal é o fluxo venoso ser contínuo. A ingestão média é indicada por ondas venosas sistólica e uma diastólica (pulsátil bifásico), enquanto a congestão grave é indicada por somente onda venosa diastólica (pulsátil monofásico).

O grau de congestão do paciente se dá por uma classificação de 0 a 3. Caso ele apresente a VCI abaixo de 2 cm, o grau é 0, sem congestão. Se apresentar a VCI > 2 cm e alterações moderadas/leves, o grau é 1, indicando congestão leve. Se a VCI > 2 cm e houver 1 alteração grave, o grau é 2, indicando congestão moderada. Se a VCI > 2 cm e houver mais do que 1 alteração grave, a congestão venosa sistêmica é dita grave. Dentre suas principais aplicações clínicas, estão: guiar a infusão de fluidos, guiar a deressuscitação volêmica efetiva (ultrafiltrado na terapia dialítica), prevenir IRA em pacientes pós cirurgia cardíaca e internados em UTI, complementar a análise do USG pulmonar na dúvida entre edema inflamatório e cardiogênico, entre outras (BEAUBIEN-SOULIGNY *et al.*, 2020).

É importante saber também de suas limitações: por exemplo, o VExUS não tem a capacidade de diferenciar se sobrecarga de VD é de natureza pressórica ou volumétrica. Como resultado, pacientes com congestão venosa grave podem exigir intervenções como remoção de volume ou terapia vasodilatadora pulmonar em casos de hipertensão pulmonar. Assim, recomenda-se cautela em pacientes com hipertensão pulmonar crônica e alto escore VExUS, a fim de evitar retiradas abruptas de fluido, pois seu débito cardíaco pode depender de uma pré-carga alta. Da mesma forma, a interpretação, especialmente de formas de onda hepáticas, pode ser limitada por condições como regurgitação tricúspide grave e fibrilação atrial. Portanto, a avaliação hemodinâmica é complexa e necessita de uma abordagem multiparamétrica.

**Figura 21.3** Curva espectral dos fluxos das veias hepática, porta e interlobares renais ao Doppler Pulsado



**Fonte:** KORATALA, A. *et al.*, 2024. **Legenda:** A imagem mostra os marcadores ultrassonográficos de congestão venosa: **a** representa VD e RAP normais, conforme sugerido por uma VCI não dilatada e formas de onda Doppler venoso normais. **b** descreve um VD dilatado com TR, uma VCI pletórica indicativa de RAP elevada e transição de formas de onda Doppler venoso com piora da congestão. S, onda sistólica; D, onda diastólica; VD, ventrículo direito; RAP, pressão atrial direita; VCI, veia cava inferior; TR, regurgitação tricúspide.

## CONCLUSÃO

O uso ultrassonografia amplia-se cada vez mais na avaliação hemodinâmica do paciente crítico, tendo em vista que é um método não invasivo, sequencial e que possui diversas aplicações: avaliação da contratilidade cardíaca, do débito cardíaco, do estado volêmico, da fluidoresponsividade e da fluidoterância. É necessário, contudo, considerar que ela, assim como qualquer outro método de monitorização hemodinâmica, possui limitações, dentre as

quais a experiência do operador, a qualidade dos aparelhos disponíveis e a dificuldade de se obter janelas adequadas para uma avaliação precisa podem ser destacadas como as principais. Portanto, o estímulo à sua utilização como ferramenta para monitorização hemodinâmica deve ser difundido, bem como a capacitação e treinamento dos médicos que trabalham na terapia intensiva, para que possam ter domínio sobre esse recurso de maneira a guiar adequadamente suas condutas e minimizar iatrogenias através dele.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRAPETIAN, N. *et al.* Does Inferior Vena Cava Respiratory Variability Predict Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Patients? *Critical care (London, England)*, v. 19, n. 1, 2015. DOI: 10.1186/s13054-015-1100-9.

BEAUBIEN-SOULIGNY, W. *et al.* Alterations in Portal Vein Flow and Intrarenal Venous Flow are Associated with Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery: A Prospective Observational Cohort Study. *Journal of the American Heart Association*, v. 7, n. 19, 2018. DOI: 10.1161/JAHA.118.009961.

BEAUBIEN-SOULIGNY, W. *et al.* Quantifying Systemic Congestion with Point-Of-Care Ultrasound: Development of the Venous Excess Ultrasound Grading System. *The Ultrasound Journal*, v. 12, n. 1, 2020. DOI: 10.1186/s13089-020-00163-w.

BLANCO, P. Rationale for Using the Velocity-Time Integral and the Minute Distance for Assessing the Stroke Volume and Cardiac Output in Point-Of-Care Settings. *The Ultrasound Journal*, v. 12, n. 1, 2020. DOI: 10.1186/s13089-020-00170-x.

CECCONI, M. *et al.* Consensus on Circulatory Shock and Hemodynamic Monitoring. Task Force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive care medicine*, v. 40, n. 12, p. 1795–1815, 2014. DOI: 10.1007/s00134-014-3525-z.

CHERPANATH, TGV. *et al.* Predicting Fluid Responsiveness by Passive Leg Raising: A Systematic Review and Meta-Analysis of 23 Clinical Trials. *Critical Care Medicine*, v. 44, n. 5, p. 981–991, 2016. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001556.

DUVALL, WL. *et al.* Can Hand-Carried Ultrasound Devices be Extended for use by the Noncardiology Medical Community? *Echocardiography*. v. 20 (5): p.471-62003. DOI: 10.1046/j.1540-8175.2003.03070.x.

GEISEN, M. *et al.* Echocardiography-Based Hemodynamic Management in the Cardiac Surgical Intensive Care Unit. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, v. 28, n. 3, p. 733–744, jun. 2014. DOI: 10.1053/j.jvca.2013.08.006.

GEORGES, D. *et al.* End-expiratory Occlusion Maneuver to Predict Fluid Responsiveness in the Intensive Care Unit: an Echocardiographic Study. *Critical care (London, England)*, v. 22, n. 1, 2018. DOI: 10.1186/s13054-017-1938-0.

INCE, C. Hemodynamic Coherence and the Rationale for Monitoring the Microcirculation. *Critical Care (London, England)*, v. 19, n. S3, p. S8, 2015. DOI: 10.1186/cc14726.

JALIL, BA.; CAVALLAZZI, R. Predicting Fluid Responsiveness: A Review of Literature and a Guide for the Clinician. *The American Journal of Emergency Medicine*, v. 36, n. 11, p. 2093–2102, 2018. DOI: 10.1016/j.ajem.2018.08.037.

JOZWIAK, M. *et al.* Predicting Fluid Responsiveness in Critically Ill Patients by Using Combined End-Expiratory and End-Inspiratory Occlusions with Echocardiography. *Critical Care Medicine*, v. 45, n. 11, p. e1131–e1138, 2017. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002704.

JOZWIAK, M. *et al.* What is the Lowest Change in Cardiac Output that Transthoracic Echocardiography Can Detect? *Critical Care (London, England)*, v. 23, n. 1, 2019. DOI: 10.1186/s13054-019-2413-x.

KATTAN, E. *et al.* The Emerging Concept of Fluid Tolerance: A Position Paper. *Journal of Critical Care*, v. 71, n. 154070, p. 154070, 2022. DOI: 10.1016/j.jcrc.2022.154070.

KORATALA, A. *et al.* Unlocking the Potential of VExUS in Assessing Venous Congestion: The Art of Doing it Right. *Cardiorenal Medicine*, v. 14, n. 1, 2024. DOI: 10.1159/000539469.

LEVITOV, A. *et al.* Guidelines for the Appropriate use of Bedside General and Cardiac Ultrasonography in the Evaluation of Critically Ill Patients—part II: Cardiac Ultrasonography. *Critical Care Medicine*, v. 44, n. 6, p. 1206–1227, 2016. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001847.

MA, Q. *et al.* The Diagnostic Accuracy of Inferior Vena Cava Respiratory Variation in Predicting Volume Responsiveness in Patients Under Different Breathing Status Following Abdominal Surgery. *BMC anesthesiology*, v. 22, n. 1, 2022. DOI: 10.1186/s12871-022-01598-5.

MCLEAN, AS. Echocardiography in Shock Management. *Critical Care (London, England)*, v. 20, n. 1, 2016. DOI: 10.1186/s13054-016-1401-7.

MILLINGTON, SJ. Ultrasound Assessment of the Inferior Vena Cava for Fluid Responsiveness: Easy, Fun, but Unlikely to be Helpful. *Journal Canadien D'anesthésie [Canadian journal of Anaesthesia]*, v. 66, n. 6, p. 633–638, 2019. DOI: 10.1177/08850666211024176.

MITCHELL, C. *et al.* Guidelines for Performing a Comprehensive Transthoracic Echocardiographic Examination in Adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography: official publication of the American Society of Echocardiography*, v. 32, n. 1, p. 1–64, 2019. DOI: 10.1016/j.echo.2018.06.004.

MONNET, X.; TEBOUL, JL. Passive Leg Raising: Five Rules, Not a Drop of Fluid! *Critical Care (London, England)*, v. 19, n. 1, 2015. DOI: 10.1186/s13054-014-0708-5.

MULLER, L. *et al.* An Increase in Aortic Blood Flow After an Infusion of 100 ml Colloid Over 1 Minute can Predict Fluid Responsiveness. *Anesthesiology*, v. 115, n. 3, p. 541–547, 2011. DOI: 10.1097/ALN.0b013e318229a500.

NAGUEH, S. F. *et al.* Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: An update from the American society of echocardiography and the European association of cardiovascular imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography: official publication of the American Society of Echocardiography*, v. 29, n. 4, p. 277–314, 2016. DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011.

ORSO, D. *et al.* Accuracy of Ultrasonographic Measurements of Inferior Vena Cava to Determine Fluid Responsiveness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Intensive Care Medicine*, v. 35, n. 4, p. 354–363, 2020. DOI: 10.1177/0885066617752308.

PINSKY, M. R.; VINCENT, J.-L. Let us use the Pulmonary Artery Catheter Correctly and only when we need it. *Critical Care Medicine*, v. 33, n. 5, p. 1119–1122, 2005. DOI: 10.1097/01.ccm.0000163238.64905.56.

RUDSKI, LG. *et al.* Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography: Official Publication of the American Society of Echocardiography*, v. 23, n. 7, p. 685–713, 2010. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010.

SCHEEREN, TWL.; RAMSAY, MAE. New Developments in Hemodynamic Monitoring. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, v. 33 Suppl 1, p. S67–S72, 1 ago. 2019. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.03.043.

SHOKOOHI, H. *et al.* Bedside Ultrasound Reduces Diagnostic Uncertainty and Guides Resuscitation in Patients With Undifferentiated Hypotension. *Critical Care Medicine*, v. 43, n. 12, p. 2562–2569, dez. 2015. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001285.

VIGNON, P. *et al.* Comparison of Echocardiographic Indices used to Predict Fluid Responsiveness in Ventilated Patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 195, n. 8, p. 1022–1032, 2017. DOI: 10.1164/rccm.201604-0844OC.