

## 心エコーを用いた輸液循環管理

日本医科大学付属病院 心臓血管集中治療科 山本 剛

キーワード：focused echocardiography, transmitral flow, velocity-time integral

連絡先：日本医科大学付属病院 心臓血管集中治療科 山本 剛

〒113-8603 東京都文京区千駄木1-1-5

Tel：03-3822-2131 ex.6823

Fax：03-5685-3069

E-mail：yamamoto56@nms.ac.jp

### 要 旨

輸液循環管理は、重症患者において最も基本となる治療の一つである。しかし、エビデンスに基づいた管理法は確立しておらず、一般的に、バイタルサイン、臨床症状、身体所見、胸部X線、採血・尿所見、静的パラメータ（中心静脈圧、肺動脈楔入圧、下大静脈径）、動的パラメータ（一回拍出量変化量）などから総合的に判断して行われてきた。近年、機器の小型化、利便化、高画質化によりベッドサイド心エコーが簡便に利用できるようになり、輸液循環管理においても適用され始めている。欧州集中治療医学会の「ショックおよび血行動態モニタリングに関するコンセンサス」においては、血行動態評価法の第一選択として心エコーが推奨されている。心エコーパラメータの下大静脈径から中心静脈圧および循環血液量、左室流出路速度時間積分値から心拍出量、左室駆出率から左室機能、右室径から右室機能、左室流入血流波形から左房圧、そして三尖弁逆流圧較差から肺動脈圧を推定することにより輸液循環管理に活かされている。

### はじめに

輸液循環管理は、重症患者において最も基本となる治療の一つである。しかし、エビデンスに基づいた管理法は確立しておらず、一般的に、バイタルサイン、臨床症状、身体所見、胸部X線、採血・尿所見、静的パラメータ（中心静脈圧、肺動脈楔入圧、下大静脈径）、動的パラメータ（一回拍出量変化量）などから総合的に判断して行われる。

近年、機器の小型化、利便化、高画質化によりベッドサイド心エコーが簡便に利用できるようになり、重症患者の病態把握、治療方針の決定、治療効果モニタリングに汎用されてきている。また、輸液循環管理にも適用できるため、非常に注

目されてきている。本稿では、心エコーパラメータを用いた輸液循環管理について概説する。

### FOCUS

心エコーと言えば循環器領域に特化した専門性のイメージが強かったが、最近はクリティカルケア領域における評価法も確立されつつあり、ベッドサイドで治療目的型（point-of-care）あるいは目標指向型（goal-directed）に行う心エコーが汎用されてきている。基本レベルのクリティカルケア心エコー（basic critical care echocardiography：CCE）はすべての救急医・集中治療医が習得すべきと勧告<sup>1,2)</sup>されている。Basic CCEでは循環器領域における詳

細な評価法とは異なり、目標指向型で定性的に左室、右室、心嚢、下大静脈を観察し、治療に即決した判断をくだす評価法で<sup>3, 4, 5)</sup>、FOCUS (focused echocardiography or focused cardiac ultrasound) と呼ばれる。「外傷初期診療ガイドライン」の中で推奨されているFAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) と同様に、重要な病態の見逃しを防ぎ、疑わしい疾患の診断や除外が可能になる。また、定性的に判断するため、技術や経験と関係なく一致した結果が迅速に得られることも特徴である。Basic CCEは、高度循環血液量減少、左室不全、心タンポナーデなど、クリティカルケアにおける特殊な病態把握に必須なもので<sup>3, 4)</sup>、Basic CCEにおいて求められる観察項目は、(1) 基本構造、(2) 左室の大きさ・収縮能、(3) 左室壁運動異常の有無（びまん性か不均一か）、(4) 右室の大きさ・収縮能、(5) 心嚢液、心タンポナーデの有無、(6) 下大静脈径と呼吸性変動、(7) カラードプラによる高度弁逆流、である<sup>3, 4)</sup>。Basic CCEのアプローチ部位は傍胸骨、心尖部、季肋部の3か所で、傍胸骨長軸、傍胸骨短軸（大動脈弁レベル、乳頭筋レベル）、心尖部4腔、季肋部4腔、季肋部下大静脈縦断像を観察する<sup>3)</sup>。

## 輸液循環管理に用いる心エコーパラメータ

輸液循環管理に用いる心エコーパラメータを表1に示した。循環動態は循環血液量、心ポンプ機能、血管抵抗に影響を受けるが、これらの要素

表1 輸液循環管理に有用な心エコーパラメータ

心エコーパラメータ	推定項目
IVC (下大静脈径)	中心静脈圧、循環血液量
VTI (速度時間積分値)	心拍出量
LVEF (左室駆出率)	左室機能
RVD (右室径)	右室機能
TMF (左室流入血流波形)	左房圧
TRPG (三尖弁逆流圧較差)	肺動脈圧

IVC, inferior vena cava; VTI, velocity-time integral; LVEF, left ventricular ejection fraction; RVD, right ventricular dimension; TMF, transmitral flow; TRPG, tricuspid regurgitation pressure gradient

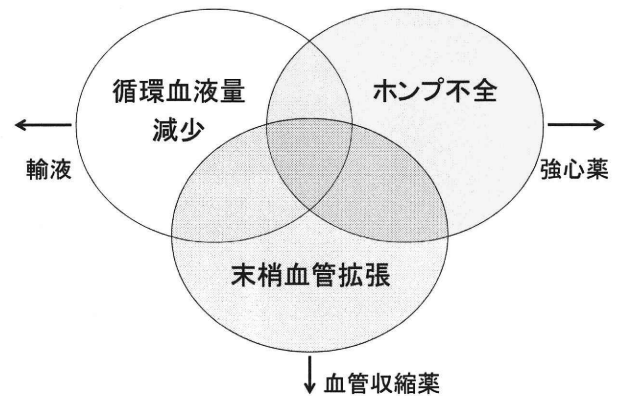


図1 ショック・急性循環不全のメカニズムと治療

循環動態は循環血液量、心ポンプ機能、血管抵抗に影響を受けるが、これらの要素は全て心エコーパラメータから推定が可能である。

は全て心エコーパラメータから推定が可能である(図1)。欧州集中治療医学会の「ショックおよび血行動態モニタリングに関するコンセンサス<sup>6)</sup>」においては、血行動態評価法の第一選択として心エコーが推奨されている。

### 1) 下大静脈 (inferior vena cava : IVC) 径

IVC径から中心静脈圧および循環血液量を推定する。中心静脈圧解釈の注意点として、静脈のコンプライアンスは動脈の30倍あるため、容量変化に対する圧の変化が少ない、静脈血管トーンの影響を受けるなどが指摘されている。輸液指標として用いるにしても、経時的あるいは必ず他のパラメータと併せて使用し、4cmH<sub>2</sub>O程度の幅は容認すべきとされる<sup>7)</sup>。一方、IVC径は圧でなく直接に容量として把握できる。IVC径を呼吸性変動とともに記録する。Mモード季肋部長軸像（右房-IVC接合部から1~2cm以内）にて最大径と最小径を測定することで中心静脈圧が推定できる(表2)<sup>3)</sup>。注意点としてIVC径と呼吸性変動を利用した中心静脈圧の推定は、自発呼吸下が条件であり人工呼吸中ではあてにならない。ただしIVC径が小さく呼吸性変動が大きければ中心静脈圧は高くないと判断できる。他に高度に循環血液量が減少した状態では、心室内腔の縮小や心室の過収縮所見が認められる。

表2 下大静脈径と呼吸性変動による中心静脈圧評価<sup>3)</sup>

下大静脈径*	吸気時虚脱**	中心静脈圧
< 20mm	> 50%	< 5mmHg
< 20mm	< 50%	10mmHg
> 20mm	< 50%	15mmHg
> 20mm	なし	20mmHg

\*右房一下大静脈接合部<1-2cm, \*\*自発呼吸下, 軽い呼吸で

表3 左室流出路 VTI (velocity-time integral) からの心拍出量推定<sup>8)</sup>

VTI (cm)	心拍出量推定
< 10	高度低下
10 ~ 15	中等度低下
15 ~ 20	軽度低下
> 20	ほぼ正常

## 2) 左室流出路速度時間積分値 (velocity-time integral : VTI)

心拍出量を推定する非常に簡便なパラメータとして, 左室流出路 VTI がある。心尖部5腔像において大動脈弁輪の直下にサンプルボリュームを置き, パルスドップラ法で測定すると下向きに三角形の波形が得られる。この辺縁をトレースした値が左室流出路 VTI である。これは1心拍で左室流出路を通過する血液柱の長さに相当するため, この柱を円柱と仮定して, 左室流出路の断面積に VTI を掛け合わせると一回拍出量が算出される。断面積の変化は少ないので, 経時的には VTI で十分である。救急・集中治療の現場では表3のように4段階で心拍出量の推定を行っている<sup>8)</sup>。欧州心臓病学会の急性心不全ガイドライン<sup>9)</sup>では VTI < 15cm が異常値とされている。

## 3) 左室駆出率 (left ventricular ejection fraction : LVEF)

左室収縮能は傍胸骨長軸像にて LVEF を測定し, 5段階で半定量化する (図2)<sup>3)</sup>。Mモードが斜め切りで評価できない時は, Bモードで左室内腔の最大径と最小径の測定値で代用する。画像描出が十分にできない場合は, 目視による駆出率 (visual EF) の推定でもよい。Visual EF は臨床

機能亢進(過収縮) (LVEF > 70%)		
正常 (LVEF 55-70%)		
機能低下		
軽度 (LVEF 40-55%)	中等度 (LVEF 30-40%)	高度 (LVEF < 30%)

図2 左室機能評価

正常, 機能低下 (軽度, 中等度, 高度), 機能亢進/過収縮の5段階に半定量化評価する。LVEF, left ventricular ejection fraction

右室機能低下		
軽度	中等度	高度
RV/LV比 ≤ 0.6	0.6 ~ 1.0	≥ 1.0
正常	中等度拡大	高度拡大

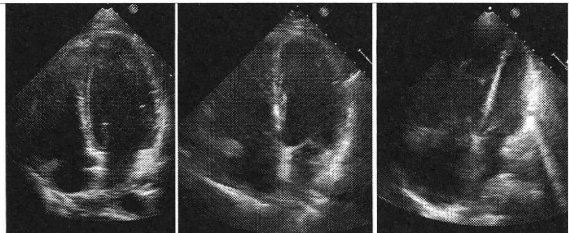


図3 右室収縮能評価

心尖部4腔像における右室径と左室径の比から評価でき, 正常, 軽度低下, 高度低下の3段階に半定量化する。

で十分有用であることが報告されている<sup>10)</sup>。左室機能低下は重要な所見であるが, 左室機能亢進つまり左室の過収縮もクリティカルケア領域では見逃してはならない所見である。過収縮は循環血液量減少, 心筋収縮性増大, 末梢血管抵抗減少などを反映し, 循環血液量減少性ショック, 肺塞栓症, 心タンポナーデ, 緊張性気胸, 敗血症, アナフィラキシーなど非常に重篤な病態においてみられる<sup>3)</sup>。

## 4) 右室径 (right ventricular dimension : RVD)

右室機能は右室の大きさから推定できる。右室の大きさは心尖部4腔像における右室内径と左室内径の比から3段階で半定量化する<sup>2)</sup> (図3)。右室機能低下をきたす病態としては, 左室不全に続発, 右室虚血・梗塞, 急性肺塞栓症, 急性肺障害が代表的である。他に高いPEEP設定, 無気肺, 血管収縮薬使用などでもみられる。

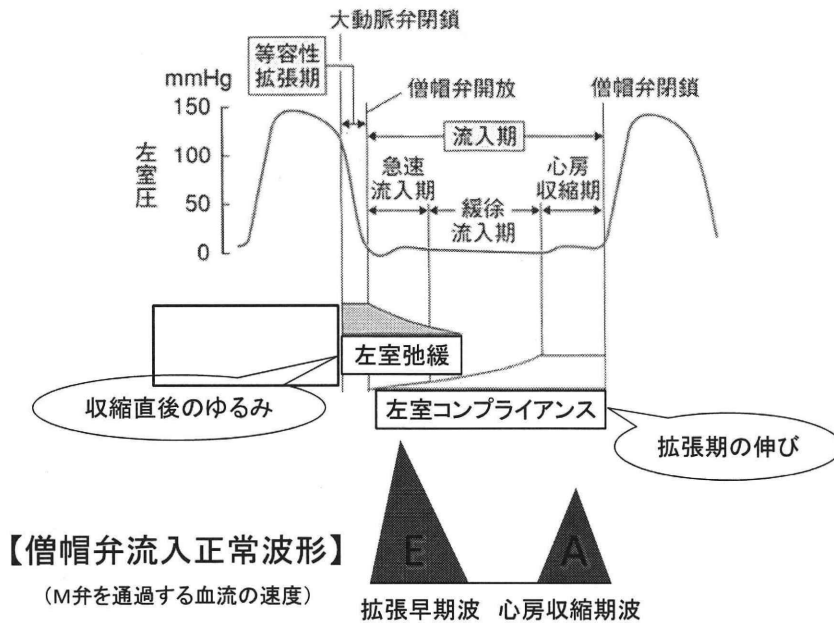


図4 左室、左房圧曲線と左室流入血流波形との関係

TMFは僧帽弁を通過する血流速度を表し、洞調律ではE波(拡張早期波)とA波(心房収縮期波)から構成される。

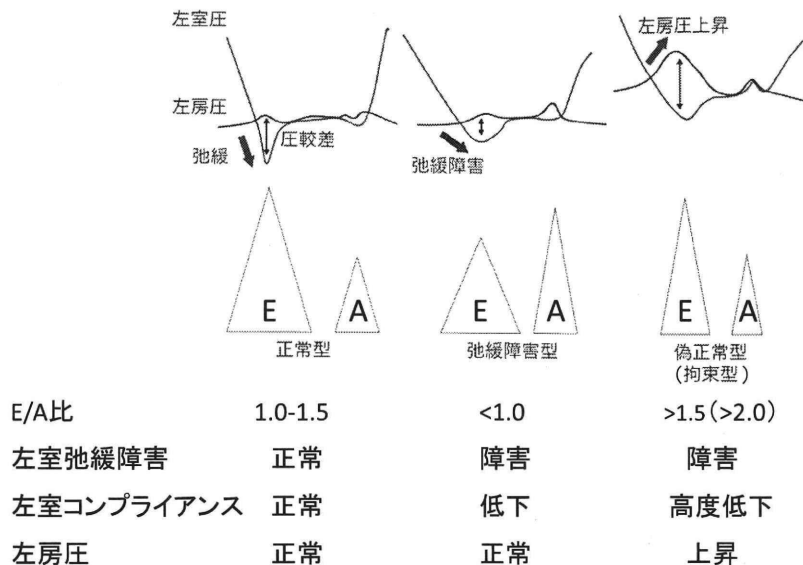


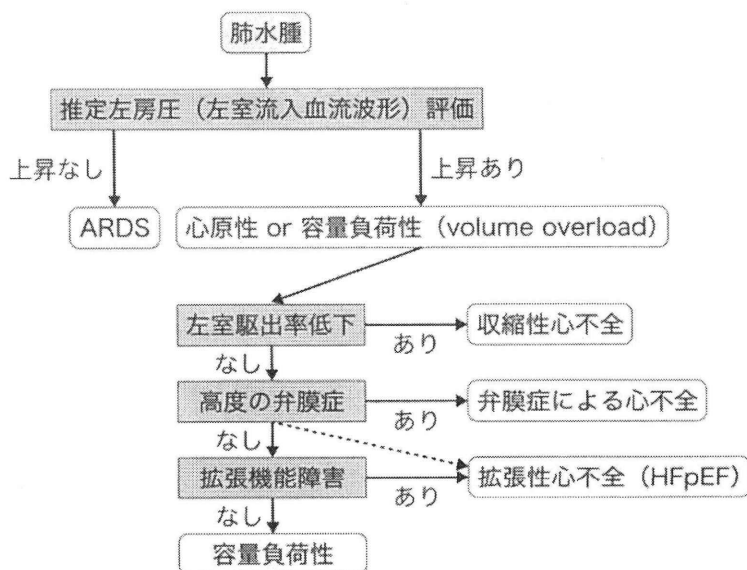
図5 左室流入血流波形と左房圧推定

TMFは左室拡張末期圧(=左房圧)の上昇に伴い、正常型から弛緩障害型、拘束型へ変化する。

## 5) 左室流入血流波形(transmitral flow: TMF)

左房圧推定のパラメータである。TMFは心尖部4腔像で、サンプルボリュームを僧帽弁が開いた時の弁尖に置いた、パルスドプラ法から得られる。TMFは僧帽弁を通過する血流速度を表し、洞調律ではE波(拡張早期波)とA波(心房収縮期波)から構成される(図4)。TMFは左室拡張

末期圧(=左房圧)の上昇に伴い、正常型から弛緩障害型、拘束型へ変化する。基本的に左房-左室圧較差を反映し、E波高は簡単に言うと左房圧と左室弛緩能で決定される。正常型では左室弛緩能が保たれているため、弛緩(能動的な拡張)が開始された時に左室圧が一気に低下し、バキュームのように左房から血流が引き込まれ、心房収縮に頼らず左室へ流入するためE波が高くなる。加

図6 肺水腫による急性呼吸不全への診断アプローチ<sup>11)</sup>

TMF による左房圧の推定は、心原性肺水腫と ARDS の鑑別に有用である。

年齢や心筋の障害により弛緩能が低下してくると、弛緩が緩徐になるため一気に引き込むことが出来ず、心房収縮で補われるため A 波が増高する（弛緩障害型）。この時点では心房が代償しているため、左房圧は上昇していない。さらに血行動態が悪化し左房圧が上昇してくると、左室-左房圧較差が増大し E 波が増高、心房収縮期には左室コンプライアンス低下に伴い左室拡張期圧が高くなっており、左室に血液を送り込めず A 波は低くなる（偽正常型）（図5）。

TMF による左房圧の推定は、心原性肺水腫と ARDS の鑑別（図6）、容量負荷に対する予備能や治療効果の判定に有用である<sup>11)</sup>。

## 6) 三尖弁逆流圧較差 (tricuspid regurgitation pressure gradient : TRPG)

三尖弁逆流圧較差から収縮期肺動脈圧が推定できる。三尖弁逆流が描出できる像（心尖部4腔像や傍胸骨短軸像大動脈弁レベル）を描出し、三尖弁逆流の方向にカーソルを合わせて連続波ドプラを測定し、波形の最大速度を計測する。簡易ベルヌーイ式の原理を利用して、収縮期肺動脈圧 =  $4 \times (\text{三尖弁逆流最大速度})^2 + \text{右房圧}$  となる。一般的に収縮期肺動脈圧が 40 mmHg を超えると肺高血圧ありと判断することが多いので、TRPG >

表4 TRPG (tricuspid regurgitation pressure gradient) からみた肺高血圧の重症度

収縮期肺動脈圧	TRPG (mmHg)
軽度上昇	30 ~ 40
中等度上昇	40 ~ 70
高度上昇	> 70

30 mmHg 程度から肺動脈圧が高いと考える（表4）。

ARDS では肺障害による肺血管リモデリングから肺血管抵抗が増加し、右室の後負荷が増大することで右室不全が引き起こされる。また、人工呼吸は肺循環および右室機能に影響を与えるが、陽圧換気での高いプラトー圧や PEEP が右室不全の悪化に繋がる可能性がある。したがって、ARDS において心エコーによる収縮期肺動脈圧推定や右室形態から、適切な一回換気量の設定、PEEP による右室機能への影響を評価することの意義は高い<sup>12)</sup>。

## 最後に

心エコーパラメータを用いた輸液循環管理について概説した。ベッドサイドで治療目的に (point-of-care) あるいは目標指向に (goal-directed) 行

う focused echocardiography を適用し, IVC, VTI, LVEF, RVD, TMF および TRPG 等のパラメータを組み合わせて判断する。必ず他の臨床・検査所見と併せて考えることを当然のことであるが忘れてはならない。

## 文 献

- 1) Expert Round Table on Ultrasound in ICU: International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 37 : 1077-83, 2011
- 2) Labovitz AJ1, Noble VE, Bierig M, et al: Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr* 23 : 1225-30, 2010
- 3) Focus pocket guide: Focused cardiac ultrasound study. CAE Healthcare, 2010.
- 4) Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, et al: American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 135 : 1050-60, 2009
- 5) Vignon P, Cholley BP, De Backer D, et al: Learning and competence in critical care echocardiography. In : De Backer D, Cholley BP, Slama M, Vieillard-Baron A, Vignon P, editors. *Hemodynamic monitoring using echocardiography in the critically ill*. Verlag Berlin Heidelberg : Springer ; 2011. p. 275-81.
- 6) Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al: Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 40 : 1795-815, 2014
- 7) Marino PL: Cardiovascular performance. In “Marino’ s The ICU book, fourth edition” ed. Marino PL. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp151-169, 2014
- 8) 知念大悟. 血行動態指標を評価する (救急・集中治療医のための心エコー—FOCUSに基づいた評価法をマスターする—). *救急・集中治療* 27(1-2) : 41-50, 2015
- 9) McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, et al: ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 33 : 1787-847, 2012
- 10) Vieillard-Baron A, Charron C, Chergui K, et al: Bedside echocardiographic evaluation of hemodynamics in sepsis: is a qualitative evaluation sufficient? *Intensive Care Med* 32 : 1547-52, 2006
- 11) Vignon P, Colreavy F, Slama M: Pulmonary edema: which role for echocardiography in the diagnostic workup? In : De Backer D, Cholley BP, Slama M, Vieillard-Baron A, Vignon P, editors. *Hemodynamic monitoring using echocardiography in the critically ill*. Verlag Berlin Heidelberg : Springer ; 2011. p. 177-94.
- 12) Vieillard-Baron A, Jardin F : Why and how to use echocardiography in acute respiratory distress syndrome. In : De Backer D, Cholley BP, Slama M, Vieillard-Baron A, Vignon P, editors. *Hemodynamic monitoring using echocardiography in the critically ill*. Verlag Berlin Heidelberg : Springer ; 2011. p. 195-202.