

心臓血管系の超音波ドプラ法

—麻酔科領域(Ⅱ)—

「経食道カラードプラ心エコーの術中応用」

北畑 洋* 丘 ヤス**

はじめに

心臓内科の分野で診断装置として発展してきた心エコーはMモード、Bモードそしてカラーマッピングと進歩を遂げ、今では診療や研究において欠くことのできない手法として確立されている。その一方でプローブの領域では1970年代前半に経食道心エコーが紹介されたが、対象が意識下の患者でプローブの大きさなどの制限のために一般的に注目を浴びなかった。しかし1979年に松本、丘ら¹⁾により初めて経食道Mモード心エコーが麻酔科領域に導入されて以来、テクノロジーの著しい進歩とともに単に診断の手法としてだけでなく手術中の連続モニターとして広く普及しつつある。経食道という新しい window が心エコー法の麻酔科領域への道を開いたといえる。特に開心術においては将来、心電図や肺動脈カテーテルと同様にルーチンのモニターの一つとして確立されるだろうと思われる。ここでは麻酔科の立場からみた心機能および弁機能の術中モニターとしての経食道心エコーの適用について概略を述べる。

A. 左心室機能のモニター

1. Global Left Ventricular Function

全般的な心機能の指標としてMモードによる左心室短軸径より Teichholz, Cube や Gibuson などの簡便式を用いてもとめられた左室容積(左室

拡張終期容積, 左室収縮終期容積)およびこれらから導いた一回拍出量, 心拍出量および駆出率などが用いられてきた。断層心エコーにより複数の断面の面積や径長から Simpson 法や Area-length 法でより正確な左室容積をもとめることができる。しかしこれらは迅速な判断が必要とされる手術中には適しておらず、臨床的にはオーソドックスなMモードからもとめた駆出率や断層心エコーによる一つの左心室短軸像からもとめた。

① Circumferential shortening (%)

$$\frac{(\text{拡張終期心内膜円周長} - \text{収縮終期心内膜円周長})}{\text{拡張終期心内膜円周長}} \times 100$$

② Area ejection fraction (%)

$$\frac{(\text{拡張終期断面積} - \text{収縮終期断面積})}{\text{拡張終期断面積}} \times 100$$

などが用いられることが多い。

2. 術中心筋虚血の診断

術後心筋梗塞の発生率に影響を及ぼす因子として術中心筋虚血の重要性が指摘されており²⁾、術中心筋虚血の予防および迅速な診断と治療は麻酔科医の重大な関心事である。体表からの心電図上の ST セグメントの変化に先行して肺動脈契入圧の波形上に巨大V波がみられる。また心エコーによる局所壁運動異常も心電図変化に先行して起こる心筋虚血の良い指標とされている³⁾。局所壁運動は収縮期の心内膜の内側への動きと systolic wall thickening によって評価される。心内膜の内側への運動異常よりも systolic wall thickening の方がより敏感な指標であるという報告もある

*徳島大学医学部麻酔科

**アルバートアインシュタイン医科大学麻酔科

が⁴⁾、心外膜の境界が不明瞭で壁厚の測定が困難な場合も多いように思われる。通常、局所壁運動の術中連続モニターには左心室の midpapillary muscle level での短軸像が用いられる(図1)。この view は左冠動脈前下降枝、回旋枝、右冠動脈のそれぞれに血流を供給される区域を含んでいるからである。臨床的には左室短軸像を4~8のセグメントに分け、その動きを normal, mild hypokinesis, severe hypokinesis, akinesis, dyskinesis にランク分けして評価する。新たに発生した局所壁運動異常は心筋虚血を強く示唆するが、正しい短軸像を描出しなければ壁運動異常を過大評価する危険性もある。

3. Left Ventricular Diastolic Function

近年、左室拡張機能の重要性が収縮機能と同様に見直されている⁵⁾。この拡張機能障害は収縮機能障害に先行して起こると考えられている⁶⁾。正常な収縮機能が維持された高血圧、肥大型心筋症や冠動脈疾患々々において拡張機能障害が起こることが radionuclide や cineangiography を用いた研究によって証明されている。パルスドプラ心エコー法による transmitral flow の測定から LV diastolic filling をみた最近の研究も radionuclide や cineangiography と良く相関し同様の結果を示している⁷⁾。

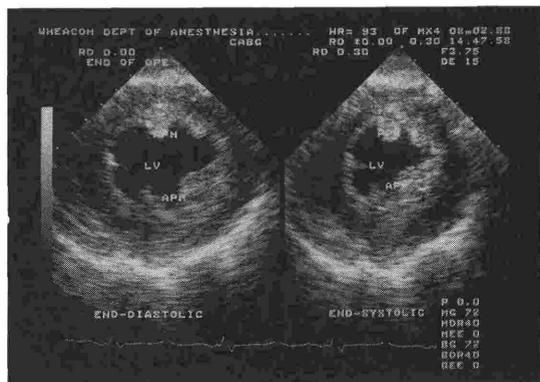


図1 Midpapillary muscle level での左室短軸像 拡張終期(左側)と収縮終期(右側)の左室短軸像がそれぞれ心電図に同期してフリーズされている。経食道心エコーのため体表からのエコーと異なり、スクリーンの上が左室後壁、下が前壁、左が心室中隔、右が側壁である。

APM:前乳頭筋, PPM:後乳頭筋

冠動脈再建術(CABG)は直ちに左室収縮機能を改善するといわれているが⁸⁾拡張機能への影響についてはまだ良く分っていない。40名のCABG患者において経食道心エコーを用いて手術中の左室拡張機能を調べた我々の研究では、特別な心疾患を持たない正常な一般手術患者と比較するとCABG患者においては mitral flow の急速流入期の最高速度(peak E velocity)が減少し、心房収縮期の最高速度(peak A velocity)が増加している(図2~4)。また peak E velocity の基線への戻りも遷延し pressure half time も延長している。この様に CABG 患者では左室拡張機能障害のため心房収縮に依存する比率が高くなっている。この拡張機能異常は血管再建の後(体外循環後および閉胸後)でも術中には変化がみられず、冠動脈再建の効果が低体温, cardioplegia や不適当な graft などによる残存する心筋虚血により相殺された結果かもしれない。経皮的冠動脈形成術の影響をみた研究においても冠動脈形成術の24時間後には拡張機能の改善はまだみられず、その後経過を追って徐々に改善されるといわれている⁹⁾。

これらの transmitral flow による diastolic indices は能動的な拡張機能の他に各種因子によって影響を受ける。前負荷、後負荷などの心臓の

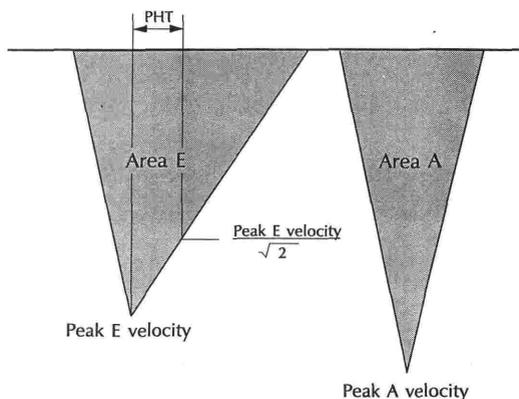


図2 パルスドプラによる transmitral flow pattern の模式図

Peak E velocity:急速流入期の最高速度,
Peak A velocity:心房収縮期の最高速度,
PHT (pressure half time):急速流入期の最高速度の時点からその $1/\sqrt{2}$ の速度まで低下する時間

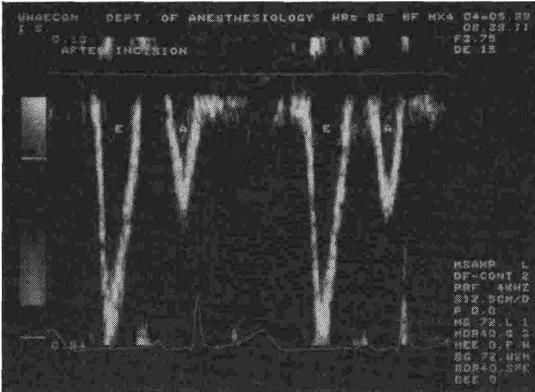


図3 正常患者における transmitral flow pattern 急速流入期の最高速度 (E) が心房収縮期の最高速度 (A) よりも大きく、基線への戻りも急峻である。

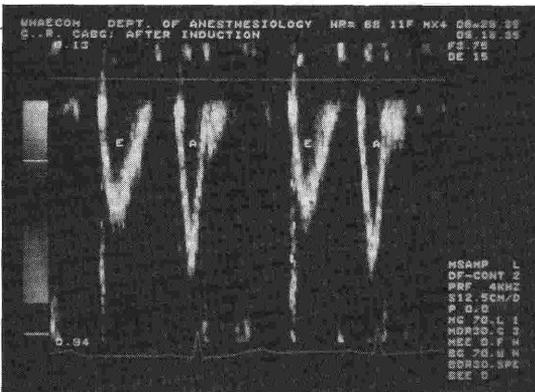


図4 冠動脈再建術患者における transmitral flow pattern 心房収縮期の最高速度 (A) の方が急速流入期の最高速度 (E) よりも大きく、急速流入期の基線への戻りも緩徐で pressure half time も延長している。この様に冠動脈疾患々々では心房収縮への依存率が高い。

loading condition の他に患者の年齢によっても影響を受けるといわれている。我々の研究においては各種 diastolic indices と心拍数 (二次的に一回拍出量) および患者の年齢の間に有意な相関がみられた。心房圧や心室圧などの観血的測定とドプラ心エコーを同時に行った研究によると、transmitral flow pattern は心疾患のタイプよりも循環動態により強く影響を受けるといふ。しかし Diver ら¹⁰⁾ によると大動脈狭窄症の患者にお

ける左室拡張機能障害は、たとえ左心室内圧を正常に戻しても改善されない。この様に内在性の拡張機能障害の方が優位な因子であるかもしれない。

各種心血管系作動薬の左室拡張機能に及ぼす影響をみると、ニトログリセリンは左室充満圧を下げ正常患者においても peak E velocity を減少させ拡張機能障害に似た左室流入パターンを示す^{11,12)}。しかし peak A velocity に及ぼす影響については少し複雑である。通常ニトログリセリン投与により peak A velocity には変化がないが、これはニトログリセリン投与により増加した心拍数の影響であり、Courtois ら¹³⁾ によるとバルーンを用いた純粋な前負荷の減少によって peak E velocity とともに peak A velocity も低下する。各心血管作動薬は心臓の loading condition を変えることによって二次的に transmitral flow に作用すると考えられる。手術中および麻酔中に transmitral flow を用いて左室拡張機能を評価する場合には diastolic indices に影響を与えるこれらの各種因子を考慮に入れなければならない。

B. 弁機能のモニター

経食道心エコー法はプローブが左心系の直ぐ後方に位置し、その超音波ビームの方向が血流方向と平行であるため、特に僧帽弁と三尖弁の評価に優れている。弁手術が行われる患者においては通常術前のアンギオや心エコーによる検査から手術日まで数日から数週間の間隔があり、この間に患者の血行動態に大きな変化がある可能性もあり術中に術前診断を確認することはとても重要である。またそれと同時に施行された手術の結果を体外循環離脱後直ちにチェックし、手術後早期の再手術などを未然に防ぐのに有用である。

1. 弁形成術の術中評価

僧帽弁形成術は術後合併症が少ないなどの利点のために、若い患者などにおいて好んで行われている。弁形成術においては術中に手術による修復が適切かどうか確認することは特に重要である。我々の17例の僧帽弁形成術患者の術中モニターにより、3例において不適切な形成術が見付かり直ちに再手術が行われた。1例は僧帽弁狭窄症と僧帽弁逆流症を合併した患者で僧帽弁形成術が行われたが、体外循環離脱後に新たに重度の三尖弁逆流が見付かったため体外循環に戻り僧帽弁形成術

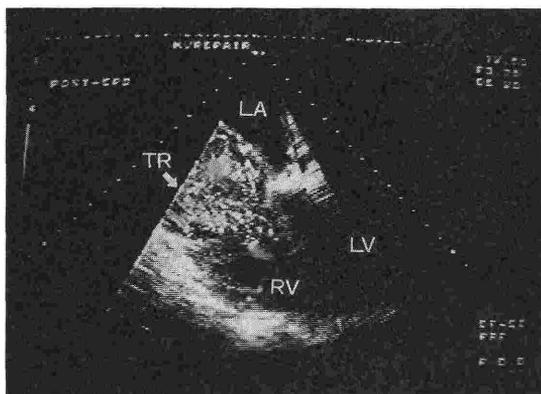


図5 僧帽弁形成術後に新たに発生した重度の三尖弁逆流
TR:三尖弁逆流, RV:右心室, LA:左心房,
LV:左心室



図6 僧帽弁形成の再手術と三尖弁輪形成術後
三尖弁逆流はほとんど消失している。
TR:三尖弁逆流, RV:右心室, LA:左心房,
LV:左心室

のやり直しと三尖弁輪形成術が行われた(図5, 6)。他の2例は僧帽弁形成術後に僧帽弁逆流が改善されず直ちに僧帽弁置換術が行われ、そのうち1例においては弁輪形成の縫合が外れているのが見付かった。これらの症例は術中の圧モニターなどだけでは手術結果の評価が困難であり、カラードプラにより迅速な診断と処置が可能であった。

2. 人工弁の術中評価

Paravalvular leakage は弁置換術における重要な合併症の一つである。15例の僧帽弁置換術において人工弁の機能を術中に調べた我々の研究によ

ると paravalvular leakage を含む弁の機能異常は1例もなかった。しかし Medtronic Hall Valve が用いられた7例全例において、Hancock Porcine Valve が用いられた8例中4例において transvalvular leakage がみられた。全ての種類の機械弁は弁を閉じるためにある一定量の back flow を必要とし、程度の差はあるがある程度の transvalvular regurgitation がみられる¹⁴⁾。これらの transvalvular leakage は病的逆流に比べてジェットの大きさが小さく、持続時間が短く、そして乱流の程度が軽度である。体表からのアプローチと異なり経食道心エコーでは人工弁の弁座や弁葉によって生じるアーティファクトによる左心房の masking が起こらず僧帽弁置換術後の評価に適している。

3. 心外膜アプローチと経食道心エコー

心臓手術中の弁機能の評価のために今まで心外膜からの心エコーも用いられてきた。しかしこの方法に比べて経食道心エコーの方が、

- ① 手術を中断することなく連続してモニターすることが可能である。
- ② トランスデューサーの位置の安定性が良い。
- ③ 術野の汚染の危険性がない。
- ④ 人工弁のアーティファクトによる左心房の masking がない。

などの利点があるとされている。僧帽弁形成術の患者10例において心外膜心エコーと経食道心エコーの両方を行い、形成術後に残存したり新たに発生した僧帽弁逆流の検出率を比較すると、心外膜アプローチでは1例のみで見付たのに対し経食道心エコーによっては6例において認められた。僧帽弁逆流の評価には経食道心エコーはとては鋭敏な方法であるが、その定量的指標はまだ統一されていない。また術中に僧帽弁逆流を評価する時には健康な正常患者の38~45%にも生理的な僧帽弁逆流がみられることを常に考慮に入れなければならない¹⁵⁾。

おわりに

経食道カラードプラ心エコー法は手術、麻酔中に心収縮・拡張機能や弁機能を素早く評価することができ、手術の指標としてだけではなく術中心筋虚血の発見など麻酔管理上もとても有用である。しかし麻酔のモニターとして一般化されるに

は、心筋虚血の指標としての局所壁運動の定量的評価のコンピューターによる自動化、弁逆流の定量的評価の指標 (jet energy などの新しい指標を含む) の確立などの問題がまだ残されている。コストの面でも改善の必要があるが、将来は麻酔中の循環モニターの一つとして心臓手術だけでなく、麻酔管理の困難な心疾患を有する患者の一般手術などにもさらに応用範囲は拡がると思われる。

文 献

- 1) Matsumoto, M., Oka, Y., Strom, J., et al.: Application of transesophageal echocardiography to continuous intraoperative monitoring of left ventricular performance. *Am. J. Cardiol.* 46:95-105, 1980.
- 2) Slogoff, S., Keats, A. S.: Does perioperative myocardial ischemia lead to postoperative myocardial infarction? *Anesthesiology* 62:107-114, 1985.
- 3) Smith, J. S., Cahalan, M. K., Benefiel, D. J., et al.: Intraoperative detection of myocardial ischemia in high-risk patients: electrocardiography versus two-dimensional transesophageal echocardiography. *Circulation* 72:1015-1021, 1985.
- 4) Ren, J., Kotler, M., Hakki, A., et al.: Quantitation of regional left ventricular function by two-dimensional echocardiography in normals and patients with coronary artery disease. *Am. Heart J.* 110:552-560, 1985.
- 5) Sabbah, H. N., Stein, P. D.: Negative diastolic pressure in the intact canine right ventricle: Evidence of diastolic suction. *Circ. Rec.* 49:108-113, 1981.
- 6) Smalling, R. W., Kelley, K. O., Kirkeeide, R. L., et al.: Comparison of early systolic and early diastolic regional function during regional ischemia in a chronically instrumented canine model. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2:263-269, 1983.
- 7) Rokey, R., Kuo, L. C., Zoghbi, W. A., et al.: Determination of parameters of left ventricular diastolic filling with pulsed Doppler echocardiography: comparison with cineangiography. *Circulation* 71:543-550, 1985.
- 8) Topol, E. J., Weiss, J. L., Guzman, P. A., et al.: Immediate improvement of dysfunctional myocardial segments after coronary revascularization: Detection by intraoperative transesophageal echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 4:1123-1134, 1984.
- 9) Wind, B. E., Snider, A. R., Buda, A. J., et al.: Pulsed Doppler assessment of left ventricular diastolic filling in coronary artery disease before and immediately after coronary angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 59:1041-1046, 1987.
- 10) Diver, D. J., Royal, H. D., Aroesty, J. M., et al.: Diastolic function in patients with aortic stenosis: Influence of left ventricular load reduction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 12:642-648, 1988.
- 11) Choong, C. Y., Herrmann, H. C., Weyman, A. E., et al.: Preload dependence of Doppler-derived indexes of left ventricular diastolic function in humans. *J. Am. Coll. Cardiol.* 10:800-808, 1987.
- 12) Vandenberg, B. F., Rumberger, J. A., Kerber, R. E.: Influence of sublingual nitroglycerin on diastolic transmitral flow velocities in normal subjects. *Am. J. Cardiol.* 61:481-482, 1988.
- 13) Courtois, M., Vered, Z., Barzilai, B., et al.: The transmitral pressure-flow velocity relation: Effect of abrupt preload reduction. *Circulation* 78:1459-1468, 1988.
- 14) Van den Brink, R. B. A., Visser, C. A., Basart, D. C. G., et al.: Comparison of transthoracic and transesophageal color Doppler flow imaging in patients with mechanical prostheses in the mitral valve position. *Am. J. Cardiol.* 63:1471-1474, 1989.
- 15) Yoshida, K., Yoshikawa, J., Shakudo, M., et al.: Color Doppler evaluation of valvular regurgitation in normal subjects. *Circulation* 78:840-847, 1988.