経食道心エコー図法による周術期左室前負荷の評価

岐阜大学医学部附属病院集中治療部

赤松　繁

はじめに

周術期に生体は大きなストレスを受け，しばしば血行動態が急変する。このため，周術期循環管理においては心機能の指標をモニターし評価することが重要である。周術期心機能モニターは，心電図，動脈圧，中心静脈圧とともに肺動脈カテーテルを挿入し，肺動脈楔入圧，心拍出量の測定が行われている。心拍出量の規定因子である前負荷，心筋収縮能，後負荷，心拍数のモニターも心電図とともにこれら圧モニターを中心に行われてきた。左室前負荷の指標としては一般に肺動脈楔入圧が用いられているが，このためには肺動脈カテーテルを挿入するという侵襲的な手技を必要とする。これに対し心エコー図法は非侵襲的な方法として心疾患の診断や心機能評価に用いられている。全身麻酔中や集中治療を受けている重症患者は人工呼吸管理下にある場合が多く，経胸壁心エコー図法では Acoustic window が狭くなり明瞭な映像が得られない場合が多い。また，手術・麻酔中や術直後は探触子を置く位置に制限があることや，その固定性に問題があるため，麻酔科・集中治療領域では心エコー図法は，主に経食道心エコー図法（Transesophageal echocardiography : TEE）として用いられている[1]。そこで今回，経食道心エコー図法から得られる指標を肺動脈楔入圧と比較することによって，左室前負荷の指標としての有用性について検討した。経食道心エコー図法から得られる指標としては，断層法では左室短軸断面の左室拡張終期断面積を用いた。ドプラ法で得られる指標としては，経食道パルスドプラ法によって左室流入血流速波形，肺静脈血流速波形を記録し，これらの流速波形から得られる指標を用いて検討を行った。

Ⅰ．左室拡張終期断面積（Left ventricular end-diastolic area : EDA）

周術期循環管理において，左室前負荷の指標としては肺動脈カテーテルから得られる肺動脈楔入圧（pulmonary capillary wedge pressure : PCWP）が頻用されている。本来，臨床的には左室前負荷は左室拡張終期容積である。PCWP では左室拡張終期容積という容積の指標を圧に置き換え前負荷の指標として用いているが，拡張終期断面積で評価することの有用性について検討した。

1．対象と方法

対象は，全身麻酔下に手術を受けた症例，または，集中治療部において人工呼吸を施行された症例とした。左室拡張終期断面積（Left ventricular end-diastolic area : EDA）は，経食道断層心エコー図法で乳頭筋レベルの左室短軸断面を描出し，拡張終期の心内膜面を用手法でマニュアルトレースすることによって求めた EDA-manual と，心内膜面を自動的にトレースする Acoustic Quantification 法（AQ 法）でオートマチックにトレースした EDA-AQ を用いた。AQ 法は，心臓の弁や壁からのエコーが血液からのエコーよりも著明に強い音響学的特性を用いて心内膜面を自動的にトレースする方法である[2~4]。超音波ビームと組織の傾きによる反射効率の低下によって画像データの欠落が起こった部分は time gain control とともに lateral gain control を用いてエコー輝度を増強し，全周性に左室壁，心内膜面の描出を試みた。EDA-AQ は，AQ 法でオンライン表示される EDA の値を読み EDA-AQ とした。このため多くの測定値が整数値となった。1 症例につき各々最低 2 回の測定を行い，EDA-manual および EDA-AQ と PCWP との相関関係を検討した。

2．結　果

Presented by Medical*Online

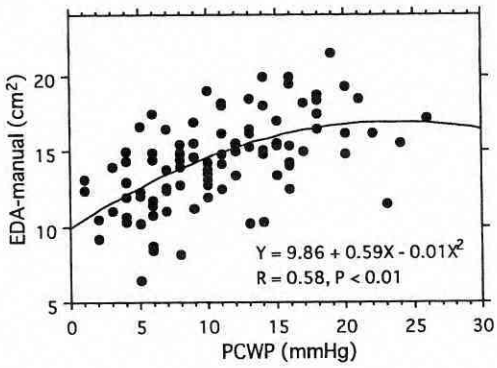

図1　用手法でトレースした左室拡張終期断面積（EDA - manual）と肺動脈楔入圧（PCWP）の相関関係。EDA - manual はPCWP の増加に相関して拡大するが，その相関関係は curvilinear な相関となった。

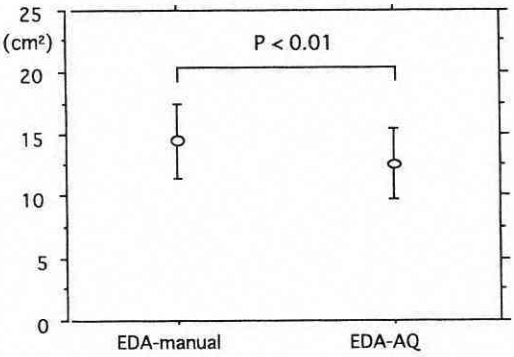

図2　EDA - manual と EDA - AQ の比較。EDA-AQ はEDA - manual と比較して有意に低値であった。

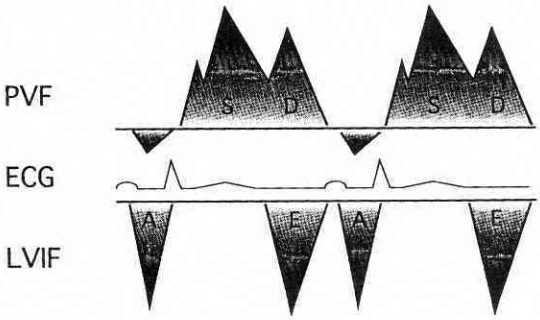

図3　経食道パルスドプラ法による肺静脈血流速波形（PVF）と左室流入血流速波形（LVIF)。PVF は心室収縮期順行波（S波）と心室拡張期順行波（D波）と心房収縮期逆流波（PV-A波）よりなる流速波形を示し，LVIF は拡張早期流入波（E波）と拡張後期流入波（A波）よりなる流速波形を示す。

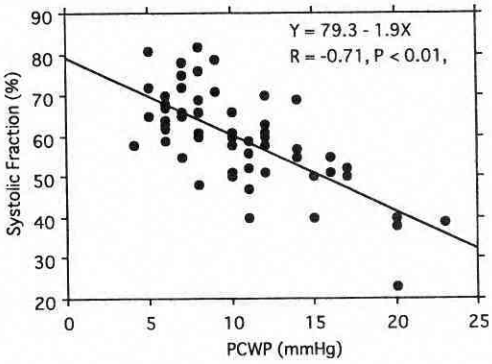

図4　systolic fraction と肺動脈楔入圧（PCWP）の相関関係。systolic fraction はPCWP との間に負の相関関係を示した。systolic fraction の著しく低い症例の PCWP は高値であった。

EDA - manual と PCWP の間には $Y=9.86+0.59X-0.01X^2$ ($r=0.58$, $p<0.01$) の相関関係を認めた(図1)。PCWP が 15 mmHg 付近までは EDA-manual と PCWP は直線的に相関したが，PCWP が 15 mmHg を越えると PCWP が上昇しても EDA は上昇しない傾向がみられた。EDA-AQ と PCWP の間には $Y=6.99+0.74X-0.02X^2$ ($r=0.71$, $p<0.01$) の相関関係を認めた。EDA-AQ も EDA-manual と同様に PCWP との相関関係は curvilinear な相関であった。今回の検討では EDA - manual よりも EDA - AQ の方が PCWP との間に良好な相関関係を認めた。これは AQ 法では，心腔の小さい症例では EDA を過小評価し，心腔の拡大した症例では ROI 設定の問題から心腔外を心腔と誤認識した部分が生じ，測定値を過小な値と過大な値に引っ張り統計上このような結果が出たのではないかと考えられた。EDA-AQ は EDA-manual と相関関係を示したが，EDA - AQ が有意に低値であった（14.4±3.0 vs 12.6±2.8 cm², $p<0.01$）（図2)。EDA を心臓

Presented by Medical*Online

外科手術の体外循環の前後で測定した症例（14例）で，PCWPが同等の値の時のEDAを比較した検討では，体外循環前と比較して体外循環後の方がPCWPはやや高値であるにもかかわらず（11.6±4.3 vs 12.4±3.5 mmHg, $p<0.05$），EDAは低値であった（14.5±3.1 vs 12.2±2.6 cm^2, $p<0.01$）。体外循環後には心臓およびその周囲組織の浮腫等によって，EDAに相当するPCWPは高値になると考えられた。

3. 考 察

周術期循環管理において，経食道心エコー図法で得られる左室腔の拡張終期断面積・EDAで左室前負荷を評価することが可能と思われる。本来，容量である左室前負荷の指標を，経食道断層心エコー図法から得られる二次元断層図で評価することには制限もあるが心腔の拡大，狭小化を概ね評価することの臨床的有用性はあると思われる。

van Daeleら[5]は健常心患者にhemodilutionの目的で1～3Lの輸液負荷を行いEDAとPCWPの相関を報告している。彼らの検討によると，輸液負荷に伴うPCWPの上昇は最高値で15～18 mmHgであり，最高値に到達するまではEDAはPCWPの上昇に伴い直線的相関関係を示して上昇する。しかし，PCWPが15～18 mmHgの最高値に到達した後は，それ以上の輸液負荷を行ってもPCWPは上昇するもののEDAは拡大しないと報告されている。われわれの検討でも同様の結果となったが，EDAはPCWPの増加に相関して拡大するが，その相関関係は直線ではなくcurvilinearな相関となる。モニターという面から見ると簡便に測定値が得られる指標であることが必要で，この点EDA-manualでは用手トレースに費やされる時間，検者による測定値の誤差等の問題がある。これに対し，EDA-AQはEDAを過小評価する可能性があるものの，オンラインで自動的かつ連続的に測定でき，モニターとして左室前負荷の指標に用いることに有用であると考えられた。curvilinearな相関関係からEDAの値からPCWPを推測するのは困難な面があるが，心腔の拡大，狭小化[6]という面からの評価には心腔断面積の測定は有用である。

Ⅱ. ドプラで得られる指標

経食道パルスドプラ法では図3のような肺静脈血流速波形（pulmonary venous flow velocity pattern: PVF）と左室流入血流速波形（left ventricular inflow velocity pattern: LVIF）を捉えることができる。左房・肺静脈が描出できる断面で左上肺静脈の血流をカラードプララ法で確認し肺静脈の左房接合部の約1 cm上流にサンプルボリュームを設定し記録したPVFは，図3上段のように心室収縮期順行波（S波）と心室拡張期順行波（D波），心房収縮期逆流波（PV-A波）よりなる。四腔断面で僧帽弁尖部にサンプルボリュームを設定して記録したLVIFは，図3下段のように拡張早期流入波（E彼）と拡張後期流入波（A彼）よりなる。これらの流速波形は加齢や左室前負荷，後負荷，心室収縮能や拡張能の影響を受け複雑に変化することが知られている[7~9]。そこで，PVF，LVIFから得られる指標と従来左室前負荷の指標として用いられているPCWPとの関係について検討した。

1. 対象と方法

健常心においてもPVF, LVIFは加齢に伴う変化を示すため[7~10]，対象は40歳以上の人工呼吸管理されている手術・麻酔中の患者または集中治療部入室患者とした。経食道カラードプラ法で僧帽弁逆流中等度以上と判断された症例は対象から除外した。

PVFのS波，D波の最大流速をS velocity, D velocityとし，S velocityとD velocityの比をS/D，S波とD波のvelocity time integralを求め（VI-S，VI-D），VI-SのVI-SとVI-Dの和に対する比，すなわちVI-S/（VI-S＋VI-D）をsystolic fractionとして求めた。LVIFではE波，A波の最大流速をE velocity，A velocityとし，E velocityのA velocityに対する比E/Aを求めた。これらのドプラ法によって測定した指標とPCWPの相関関係を検討した。

2. 結 果

PVFからの指標では，PCWPとの間にsystolic fractionが$r=-0.71$（$p<0.01$）の相関

Presented by Medical*Online

関係を示した（図4）。LVIFからの指標では，E/AがPCWPとの間に$r=0.41$（$p<0.05$）の相関関係を示した。以上の検討からドプラ指標のうちPVFから得られる指標systolic fractionがPCWPとの間に最も良好な相関関係が得られたが，図4のプロットからPCWPが著しく高い症例のsystolic fractionが極端に低くこの統計結果を導いているように考えられた。

3．考　察

Kuechererら[11,12]のグループは心臓血管外科手術を中心とした対象で肺静脈血流速波形から得られるsystolic fractionとPCWPが極めて密に相関することを示し，systolic fractionからPCWPを推測できると報告した。しかし，彼らの対象の42例中の大半が60歳以上であった。Masuyamaら[13]は鬱血性心不全患者に薬物療法を行い，肺静脈血流速波形のD velocityとPCWPの相関関係を示した。この研究の対象は鬱血性心不全患者で平均年齢67歳である。このような年齢層では健常心の場合，肺静脈血流速波形のD波高は低く，心不全となって左房圧が上がってくるとD波高が上昇してくると考えられる。従って，「肺静脈血流速波形の指標からPCWPを推測できるか？」という設問に対しては，systolic fraction，D velocityがPCWPと良好な相関を示し，これらの指標からPCWPを推測できると報告されているものの，これらの結果は，比較的高齢者を対象とした研究結果である。肺静脈血流速波形の指標とPCWPの相関関係を検討する場合には，対象を心不全患者に限定するか，高齢者に限定するか，若年健常者を含めた対象とするかによって異なる結果が出ると考えられる。systolic fractionとPCWPの相関関係を，若年健常者を含めた対象で単純に直接評価することには問題がある。健常者における肺静脈血流速波形は，若年健常者ではD波が高く，加齢に伴いD波高が低下する年齢的変化を示す特徴を持っている[7,8]。すなわちsystolic fractionは加齢に伴い増加する[10]。これを高齢者，心機能不全患者を対象とした検討と混同すると混乱を招く。健常者では加齢に伴いsystolic fractionは上昇するのでPCWPは低下するという誤解を招くことになる。しかし，若年健常者ではsystolic fractionが低い場合でも通常50％以下にはならない。では「systolic fractionでPCWPを評価できないのか？systolic fractionが低い症例のPCWPは高いと評価してはいけないのか？」という設問に対しては，「PCWPが著しく高い症例のsystolic fractionは低い。しかし，systolic fractionが低いからPCWPが高いとは限らないので，他の指標や臨床症状から総合的に評価する必要がある」と考えられる。systolic fractionが50％以下の著しく低い症例は若年健常者には見られず，通常はPCWPが高いと推測できると思われる。

Ⅲ．まとめ

従来，周術期循環管理で左室前負荷の指標として用いられてきた肺動脈楔入圧は，本来“volume”である前負荷を肺動脈カテーテルを挿入することによって測定できる肺動脈楔入圧という“pressure”で代用したものである。前負荷を“pressure”で評価することそのものの問題点もあるが，“volume”を測定することの煩雑さからSwan-Ganzカテーテルの普及とともに臨床的には肺動脈楔入圧が左室前負荷の指標として頻用されてきた。経食道心エコー図法で得られる指標から左室前負荷が評価可能であれば，侵襲的な肺動脈カテーテルの挿入の必要がなくなりその有用性は大きい。しかし，モニターとして用いるにはその指標が検者によらず誰にでも数値として捉えれることが必要となる。心エコー図法からの指標をモニターとして用いることの問題点は，測定に時間を要し測定値が検者により差がでることであった。

EDA-AQは，asynergyがないという前提条件やゲイン設定，精度等の問題はあるが，AQ法を用いることによってオンラインで連続的に測定値が得られるようになった。TEEによる左室前負荷の評価としては，EDA-AQは，簡便な左室前負荷のモニターとなると考えられる。また，ドプラ法を用いた検討では，心力学，心機能の考察が必要となるが，肺静脈血流速波形のsystolic fractionから不全心の左室前負荷の評価も，臨床症状などか

Presented by Medical*Online

ら総合的に評価することによって可能と考えられた。しかし，ドプラ波形の解析の必要がある現状では，systolic fraction をモニターとして用いるには問題があると思われる。

参考文献

1) 赤松繁，土肥修司：経食道心エコー図法，集中治療 5：133-145，1993
2) Vandenberg BF, Rath LS, Stuhlmuller P, et al: Estimation of left ventricular cavity area with an on-line, semiautomated echocardiographic edge detection system. Circulation 86: 159-166, 1992
3) Perez JE, Waggoner AD, Barzilai B, et al: On-line assessment of ventricular function by automatic boundary detection and ultrasonic backscatter imaging. J Am Coll Cardiol 19: 313-320, 1992
4) Cahalan MK,Ionescu P, Melton HE, et al: Automated real-time analysis of intraoperative transesophageal echocardiograms. Anesthesiology 78: 477-485, 1993
5) van Daele ME, Trouwborst A, van Woerkens LC, et al: Transesophageal echocardiographic monitoring of preoperative acute hypervolemic hemodilution. Anesthesiology 81: 602-609, 1994
6) Leung JM and Levine EH: Left ventricular end-systolic cavity obliteration as an estimate of intraoperative hypovolemia. Anesthesiology 81: 1102-1109, 1994
7) Akamatsu S, Terazawa E, Kagawa K, et al: Transesophageal Doppler echocardiographic assessment of pulmonary venous flow pattern in subjects without cardiac disease. Int J Cadiac Imageing 9: 195-200, 1993
8) Masuyama T, Lee JM, Tamai M, et al: Pulmonary venous flow velocity pattern as assessed with transthoracic pulsed Doppler echocardiography in subjects without cardiac disease. Am J Cardiol 67: 1396-1404, 1991
9) Nishimura RA, Abel MD, Hatle LK, et al: Relation of pulmonary vein to mitral flow velocities by transesophageal Doppler echocardiography. Effect of different loading conditions. Circulation 81: 1488-1497, 1990
10) Arakawa M, Akamatsu S, Terazawa E, et al: Age-related increase in systolic fraction of pulmonary vein flow velocity-time integral from transesophageal Doppler echocardiography in subjects without cardiac disease. Am J Cardiol 70: 1190-1194, 1992
11) Kuecherer HF, Muhiudeen IA, Kusumoto FM, et al: Estimation of mean left atrial pressure from transesophageal pulsed Doppler echocardiography of pulmonary venous flow. Circulation 82: 1127-1139, 1990
12) Kuecherer HF, Kusumoto F, Muhiudeen IA, et al: Pulmonary venous flow patterns by transesophageal pulsed Doppler echocardiography: relation to parameters of left ventricular systolic and diastolic function. Am Heart J 122: 1683-1693, 1991
13) Masuyama T, Lee JM, Nagano R, et al: Doppler echocardiographic pulmonary venous flow-velocity pattern for assessment of the hemodynamic profile in acute congestive heart failure. Am Heart J 129: 107-113, 1995

Presented by Medical*Online