

特 集

左房・左室挙動における肺静脈血流 動態：経食道心エコー図による検討

—内科領域—

高元俊彦* 新田政男*
谷口興一* 丸茂文昭*

1. はじめに

これまで、超音波ドプラー法（パルス、連続波、カラーフロードプラーなど）は、さまざまな心血管系における血流情報の解析に応用されてきた。しかしながら、肺静脈、冠静脈洞など一部の血管系では、その解剖学的位置や流れの方向とも関連して、ドプラー法での観察が困難なこともあり、これまでに十分な知見が蓄積されてはいない。

経胸壁からのアプローチ法では、肺静脈血流を心尖4腔断面像においてとらえることとなる。この際、右肺静脈は左房後方の心房中隔寄りの位置から、ビーム方向に対し平行に左房内に流入するため、開口部の検出は可能であるが、肺静脈血管内でのサンプリングは、検出深度が大きく、方位分解能が低下する部位であるため、必ずしも容易ではない。また左肺静脈は、心尖部からのビーム方向に対して、直行して左房内に流入するため、ほとんどの症例では検出できない。

これに対し、近年注目されている経食道心エコー図法（TEE: transesophageal echocardiography）は、食道内に留置した探触子から、左右の肺静脈を鮮明かつ近視野に観察できるため、肺静脈左房開口部より数 cm 上流側までのさまざまな部位で、ドプラーサンプリングが可能となる。

そこで、これまで著者らの施設で TEE 検査を施行した覚醒患者について、肺静脈波形解析を行い、左房・左室挙動との関連性を検討した。

2. 方 法

対象は、無麻酔の覚醒患者連続120例で、TEE はマイナー・トランスキナイザーを経口あるいは静脈内投与した一部症例を除いて、喉頭部の局所麻酔のみで施行した。左右の肺静脈血流の観察に加えて、一部症例では呼吸曲線との同時記録を、また心房中隔欠損症では心カテーテル時にカテ先ドプラー血流計（使用周波数 20 MHz, 3 F サイズ、壁側にセンサー角度45度の探触子をもつ）にて観血的な肺静脈血流の観察を行なった。肺静脈血流波形は心房収縮に続く逆流波を A 波、ついで最初の順行波を S1、収縮期の心房充満に伴う順行波を S2、拡張期の順行波を D とした（図1）。

また左房・左室挙動との関連性を検討する目的で、経胸壁から記録された僧帽弁部位での左室流入波形の A/R、左室駆出率（EF）と肺静脈血流波形の S 波・D 波最大流速（Smax, Dmax）、S/D、S 波面積/D 波面積（Sa/Da）とを比較検討した。

3. 結 果

a) 肺静脈血管内における流れの様相の変化 (図2)

肺静脈血管内において、サンプリングの深さをかえて血流プロフィールを記録すると、左房開口部では 20 cm/sec と遅い乱流を呈しているが、開口部より 2 cm の部位では 30 cm/sec、3 cm の部位では 40 cm/sec と次第に流速が増大し、層流へと変化していた。また健常者あるいは若年者で僧帽弁逆流や短絡を伴わない疾患では、左右の

*東京医科歯科大学第二内科

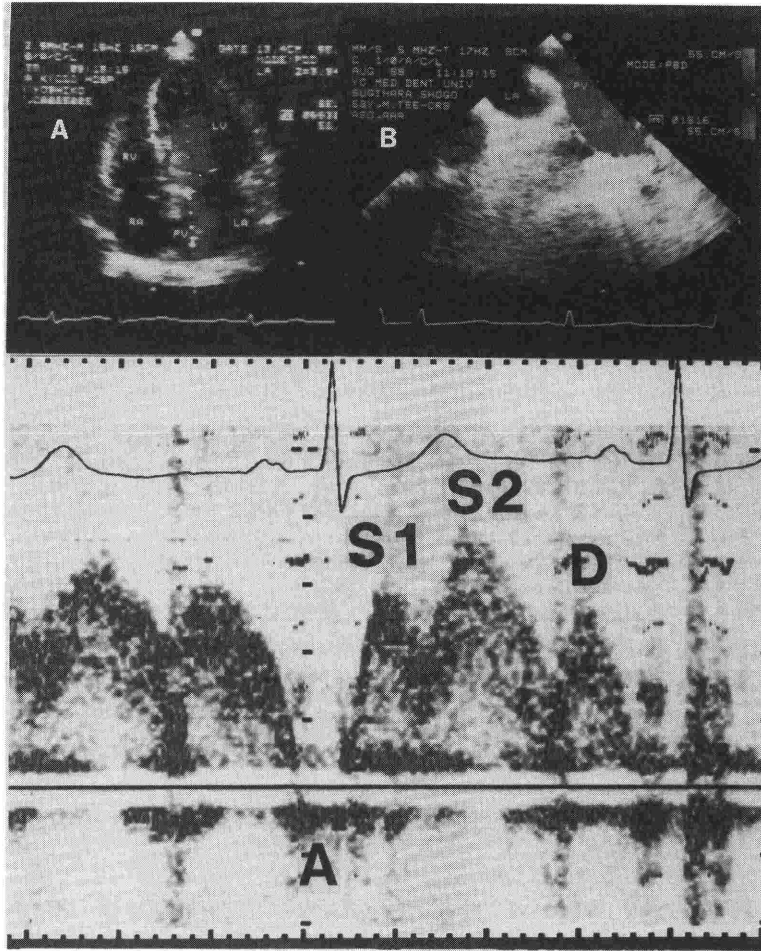


図1 経胸壁の心エコー図法 (図A : TTE) と経食道心エコー図法 (図B : TEE) による肺静脈血流の観察。肺静脈血流波形は、それぞれの心房収縮に続く逆流波をA波、ついで最初の順行波をS1波、収縮期の心房充満に伴う順行波をS2波、拡張期の順行波をD波と名称した。

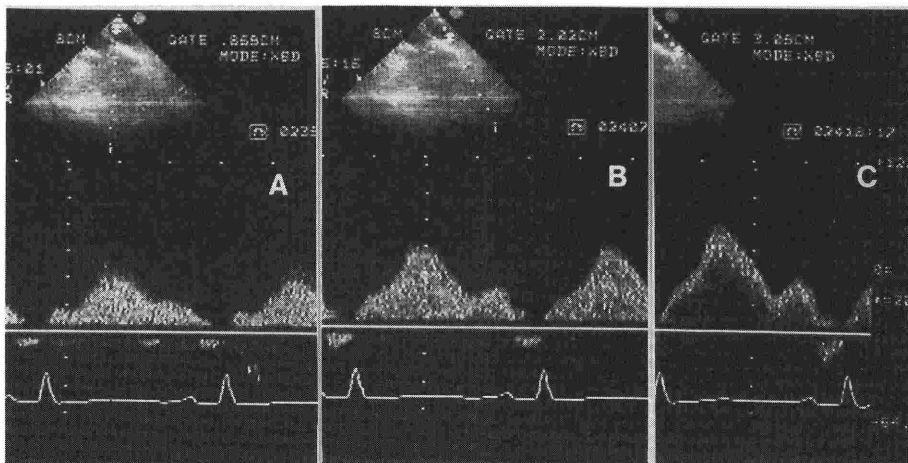


図2 肺静脈内サンプリング部位と血流様式の変化。図Aの左房開口部付近では乱流をなし血流速度も低下しているが、図Cの近位部では層流をなし、最大流速 (Smax) も約 80 cm/sec と増大していた。

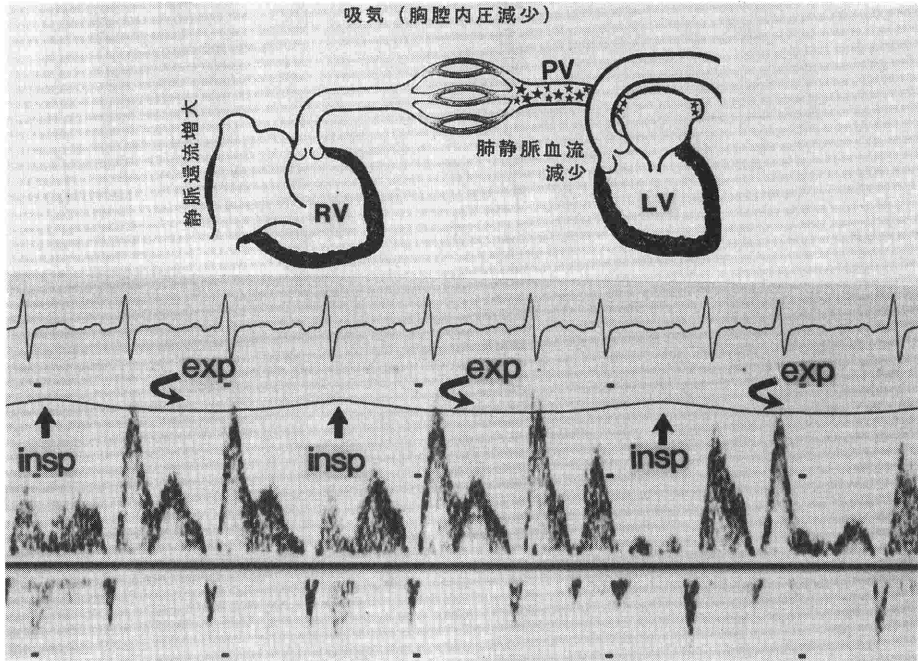


図3 呼吸による肺静脈血流の変化。吸気、胸腔内圧の減少により静脈還流量は増大するが、肺静脈血流は著明に減少する。すなわち、一回の呼吸ごとにおこる右心系の前負荷増大は、直ちに左心系へは反映されていない。

血流プロフィールには差異がなく、 $S_{max} > D_{max}$, $S_a > D_a$ であったが、 S_{max} , D_{max} を左右肺静脈で比較してみると、右側が左側に比し大きい傾向にあった。

b) 呼吸による肺静脈血流の変化 (図3)

吸気、胸腔内圧の減少により静脈還流量は増大するが、肺静脈血流は著明に減少する。すなわち、一回の呼吸ごとにおこる右心系の前負荷増大は、直ちに左心系へは反映されなかった。

c) 左房・左室挙動と肺静脈血流の関連性

(表1)

血行動態上、有意の弁膜疾患を有さない健常者32例(16-82歳)において、僧帽弁部位での左室流入波形、EFと肺静脈血流波形との関連性を検討した。年齢とS/Dは $r=0.61$ 、A/Rとは $r=0.74$ と、S/DはA/Rに比し弱い相関を示したが、年齢と S_{max} , D_{max} , S_a/D_a とは相関が低かった。左室拡張能の指標とされるA/Rと S_a/D_a は0.69と比較的良好な相関を示し、A波が増大するにつれD波が減高する傾向を示した。また左室収縮能を示すEFと S_a/D_a の間には全く相関をみとめなかった。

d) 不整脈と肺静脈血流

表1 肺静脈血流計測と左心機能(健常者32例, 16-82歳)

	AGE	A/R	S_{max}	D_{max}	S/D	S_a/D_a	EF
AGE		0.74	0.31	-0.53	0.61	0.44	0.21
A/R	0.74		0.45	-0.56	0.75	0.69	0.19
S_{max}	0.31	0.45		0.11	0.57	0.55	0.21
D_{max}	-0.53	-0.56	0.11		-0.68	-0.48	0.12
S/D	0.61	0.75	0.57	-0.68		0.74	-0.03
S_a/D_a	0.44	0.69	0.55	-0.48	0.74		-0.07
EF	0.21	0.19	0.21	0.12	-0.03	-0.07	

心房細動における肺静脈血流ではS波の欠如と不規則なA波(逆流波)を認め、心房粗動では収縮期と拡張期を通して鋸歯状の順行波をみとめた(図4)。肺静脈血流のA波は心房収縮に由来するため、PQ延長を伴うI度AVブロックでは、心電図P波の後に必ずA波が出現したが、完全房室ブロックではP波の出現時相によってA波が著明な場合と、S波あるいはD波波形上に一時的な流入障害(interruption)として観察される場合があった(図5)。また心房収縮の先行しないVVIペースメーカでは、まず房室間レベルで弁逆流(僧帽

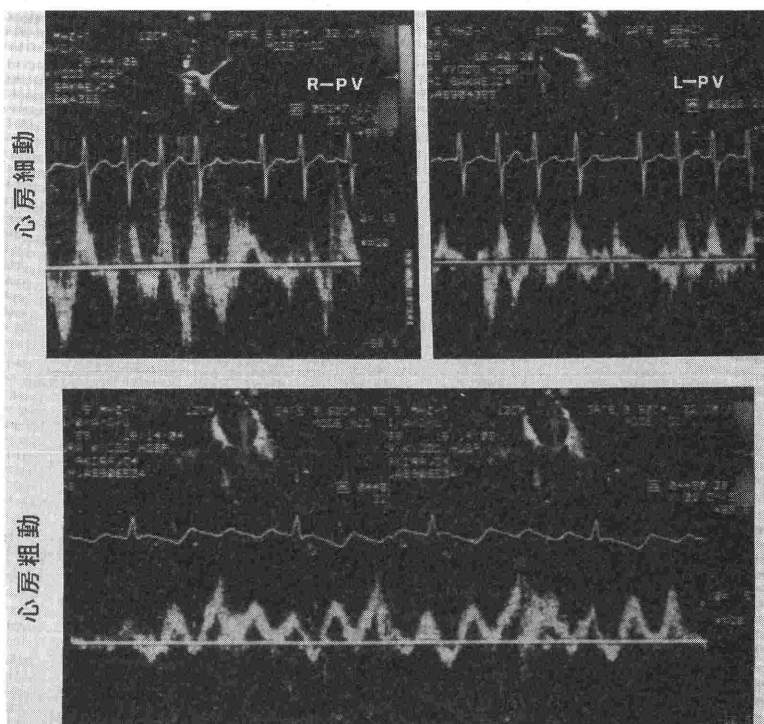


図4 不整脈と肺静脈血流。心房細動における肺静脈血流ではS波の欠如と不規則なA波（逆流波）を認め、心房粗動では収縮期と拡張期を通して鋸歯状の順行波を認めた。

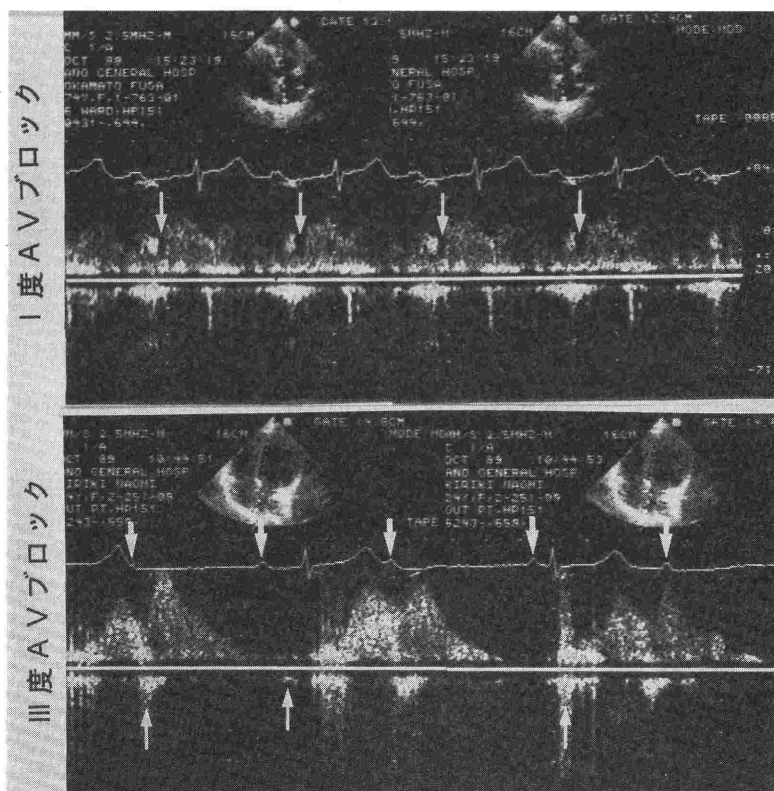


図5 房室ブロックと肺静脈血流。PQ延長を伴うI度AVブロックでは、心電図P波の後に必ずA波が出現したが、完全房室ブロックではP波の出現時相によってA波が著明な場合と、S波あるいはD波形上に一時的な流入障害として観察される場合があった。

弁閉鎖不全)が生じ、その後肺静脈逆流が認められた。これは心室性期外収縮 (VPC) 例でも同様で、VPC 後 (拡張早期) に必ず逆流波を伴っていた (図6)。

e) カテ先ドプラー血流計による肺静脈血流プロフィール (図7)

心房中隔欠損症例で、欠損孔を介して肺静脈血流を計測すると、流速プロフィールは超音波ドプ

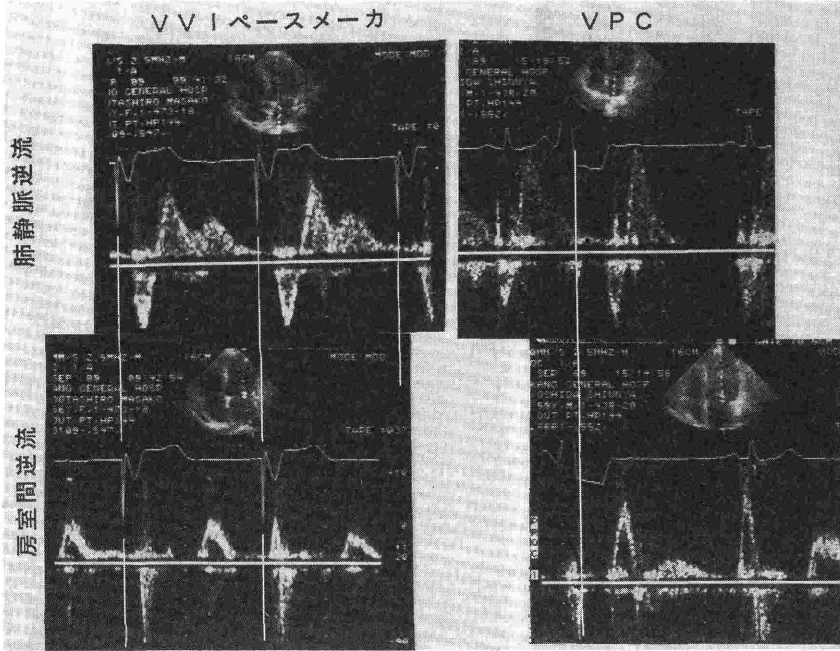


図6 ペースメーカ、心室性期外収縮と肺静脈血流. 心房収縮の先行しない VVI ペースメーカでは、まず房室間レベルで弁逆流 (僧帽弁閉鎖不全) が生じ、遅れて肺静脈逆流が認められる。これは心室性期外収縮 (VPC) 例でも同様で、VPC 後 (拡張早期) に必ず逆流波を伴っていた。

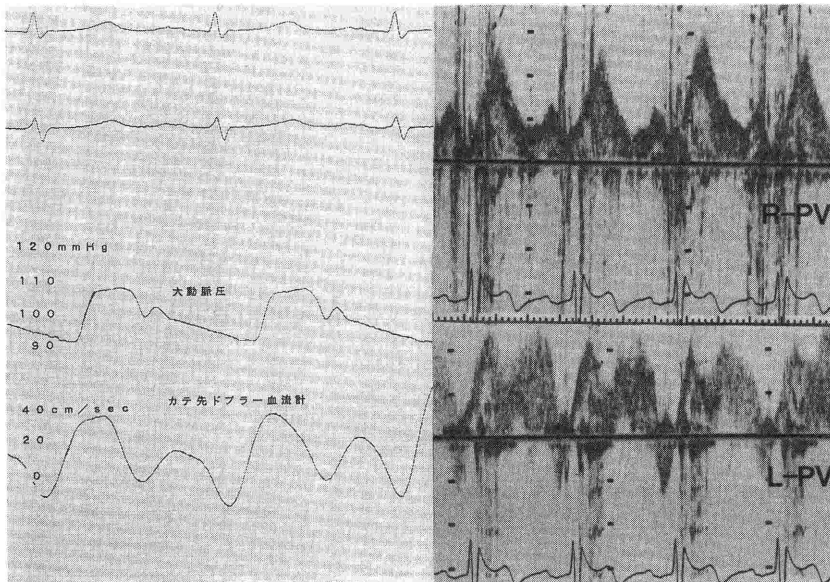


図7 カテ先ドプラー血流計による肺静脈血流プロフィール. 心房中隔欠損で、欠損孔を介して肺静脈血流を計測すると、流速プロフィールは超音波ドプラー法と相似する波形を認め、最大流速も近似した。Saを左右肺静脈血流と比較すると、右Sa>左Saであった。

ラー法と相似する波形を認め、最大流速も近似した。Sa を左右肺静脈血流で比較すると、右 Sa > 左 Sa であった。

f) 僧帽弁疾患と肺静脈血流

僧帽弁逆流 (MR) はその重症度により異なるが、中等度以上の MR が存在すると S 波が消失した。また僧帽弁狭窄症では洞調律例でも S 波の著しい残高あるいは消失がおり、D 波は急峻に増高した後次第に減少し、房室弁でのドプラー波形に相似する形をとった。

4. 考 察

近年、超音波検査における新手法として、経食道心エコー図法 (TEE) が注目を集めている。TEE 開発の歴史は比較的早く、装置の開発は二次元心エコー装置 (2DE) とほぼ同じ時期に開始され、既に10年余を経過した。初期の TEE は、胃カメラのファイバー先端に、Mモード表示のトランスデューサーを付けたような装置 (1976: Frazin ら¹⁾, 1978: 松崎ら²⁾, 1980: Matsumoto ら³⁾) であり、ついで mechanical sector 型と phased array 型の二次元エコー表示の可能な装置 (1980: Hisanaga ら⁴⁾) が、さらにMモード表示とドプラー法の複合型 (1982: Schluter ら⁵⁾) が開発された。

しかしながら、このように比較的長い歴史を有しながら、TEE は侵襲的検査法として受け入れられ、手術中の空気塞栓の予防、心機能監視など主として麻酔科領域での使用に制限される風潮があり、一般臨床での検査法としては普及しなかった。最近の装置では、食道粘膜の熱損傷を予防するためにサーミスタなどの工夫がなされ、より小型で安全性の高いものとなり、広く臨床へと応用されている。TEE は、内科領域ではとくに肺静脈血流などのように経胸壁から到達困難な場合、胸骨や肺による遮蔽がある場合において優位性を発揮できる。

肺静脈は肺毛細血管から左房内へ送血する導管として機能し、能動的な送血機能はほとんど有していない。そのため、左房に近づくにつれて、肺静脈血流は左房内圧と左房動態に直接的影響を受け左房へと還流する。ここで左房機能は、1) 能動的収縮に基づくポンプ作用、2) 壁の伸展により血液を収容するリザーバー作用、3) 肺静脈か

ら左室へと送血する際の導管作用の3つに要約される⁶⁾。健常者における血流パターンと左房血行動態を対応して考えると、心房収縮により肺静脈逆流波 (A 波) が形成され、その直後の順行波 S1 は左房虚脱直後の左房充満によりおこり、心房収縮の強さ (心房駆出量) に規定される。S2 は収縮中期から末期にかけての心房充満波形であり、左房の壁応力や伸展性に関連する reserver としての機能に規定される。S2 のピークにやや遅れて、左房圧波形では v 波のピークがおり、僧帽弁解放による y 谷の時期で D 波が出現する。健常者では肺血管床の面積に応じて左側肺静脈血流量がやや多く (約 6 : 4)、収縮期血流量 (S1+S2) が拡張期血流量より多く、心房細動では S 波の減高が、また加齢や左室壁伸展性の低下により D 波の減高がみられた。

肺静脈血流の波形解析は、古くは Morgan ら

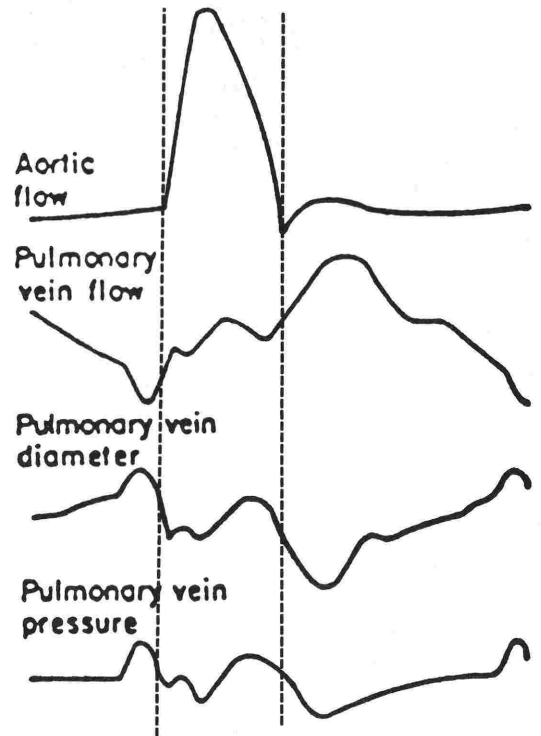


図8 Morgan らによる動物実験モデルでの肺静脈血流波形の解析⁶⁾。肺静脈血流量は収縮中期に増大し、再び拡張早期に最大に達する。収縮期は流量増大とともに血管径と内圧も増大するが、拡張期は、左房の導管作用により、流量は増加するが血管径、内圧ともに減少している。

による動物実験モデルでの検討があり⁶⁾、肺静脈血波形には左房機能が大きく関与することが知られていた。Morgan らは、この実験系で電磁流量計や圧トランスデューサーを用い、肺静脈血流、肺静脈血管径、肺静脈圧の同時記録（図8）を行い、心房・心室挙動との関連性を検討している。肺静脈血流量は収縮中期に増大し、再び拡張早期に最大に達する。収縮期は流量の変化とともに血管径と血管内圧も増大するが、拡張期は流量の増加にもかかわらず血管径、内圧ともに減少し、左房の導管作用によると考えられる。この点を考慮すると、Sa と Da のインテグラルから流量比較を行なうと、Da の時相での静脈血流量を過大評価することとなる。

TEE を用いて、肺静脈血流動態を検討した報告⁷⁾⁻¹⁰⁾ はこれまでも散見される。肺静脈血流が左房から左室へと送血するうえで、直接的に左室拡張能の影響を受けるものではないとしても、これまで十分な知見の得られなかった左房の役割を、左房に送血する肺静脈の側面から検討することは興味深いと思われる。

5. 結 語

経食道心エコー図を用い、肺静脈血流動態を検討し以下の成績を得た。

1. 肺静脈血流は4波（成分）より形成される。
A 波：左房収縮による肺静脈への逆流波
S1波：左房の弛緩による流入波
S2波：左室収縮に伴う左房の伸展による流入波
D 波：左室拡張に伴う流入波
2. 吸気には静脈還流が増大するが、肺静脈血流は逆に減少する。
3. 肺静脈血流プロフィールは右心系の圧を反映しない。
4. 左室肥大あるいは拡大を伴い、左室壁伸展性が障害された症例ではD波の減高を認める

(S/D↑)。

5. 心房収縮に伴う肺静脈逆流（心房細動・粗動、房室ブロックなど）はどの時相でもおこる。
6. 期外収縮、VVI ペースメーカーによる左室収縮時相でも肺静脈逆流が形成される。
7. 房室弁逆流、あるいは僧帽弁狭窄症によりS波が減高、消失し左房のリザーバー機能が障害される。

参 考 文 献

- 1) Frazin, L., Talano, J. W., Stephanides, L. et al: Esophageal echocardiography. *Circulation* 54: 102-108, 1976.
- 2) 松崎益徳, 萬 忠雄, 深川和英, 他: 食道内心エコー図法による左室前壁動態の観察. *Journal of Cardiology* 8:113-124, 1978.
- 3) 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.
- 4) Hisanaga, K., Hisanaga, A., Nagata, K. et al: Transesophageal cross-sectional echocardiography. *Am Heart J* 100:605-609, 1980.
- 5) Schluter, M., Langenstein, B. A., Hanrath, P. et al: Assessment of transesophageal pulsed Doppler echocardiography in the detection of mitral regurgitation. *Circulation* 66:784-789, 1982.
- 6) Morgan, B. C., Abel, F. L., Mullins, G. L. et al: Flow patterns in cavae, pulmonary artery vein, and aorta in the intact dogs. *Am J Physiol* 210(4):903-909, 1966.
- 7) 井上 新, 大木 崇, 内田知行, 他: 拡大心および肥大心における肺静脈血流速波形の検討. *日本超音波医学会講演論文集* 54: 143-144, 1989.
- 8) 山浦泰子, 吉川純一, 吉田 清, 他: 経食道心エコー・ドプラー法による僧帽弁疾患の肺静脈血流パターンの検討. *日本超音波医学会講演論文集* 54: 183-184, 1989.
- 9) 阿武義人, 塔間陽一, 松崎益徳, 他: 左房 reservoir 機能の維持における心房収縮の果たす重要性: 経食道ドプラー心エコー図による検討. *日本超音波医学会講演論文集* 55: 399-400, 1989.
- 10) 赤松 繁, 寺沢悦司, 加川憲作, 他: 肺静脈血流動態と左室流入動態の対比検討. *日本超音波医学会講演論文集* 55: 579-580, 1989.