

## 僧帽弁狭窄症における肺静脈血流速 波形の検討

## Pulsed Doppler Findings of the Pulmo- nary Vein Flow in Mitral Stenosis

志手 淳也  
横田 慶之  
川合 宏哉  
清水 雅俊  
本多 由佳  
寺島 充康  
横山 光宏

Junya SHITE  
Yoshiyuki YOKOTA  
Hiroya KAWAI  
Masatoshi SHIMIZU  
Yuka HONDA  
Mitsuyasu TERASHIMA  
Mitsuhiro YOKOYAMA

### Abstract

Left atrial function was assessed by transesophageal echocardiography in 8 patients with mitral stenosis and sinus rhythm (MS group), and 16 age-matched normal controls (C group). Pulsed Doppler findings of left upper pulmonary vein flow were classified into first and second forward waves during systole (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>), forward wave during diastole (D), and backward flow during left atrial contraction (PVA). Peak velocity (P) and time-velocity integral (TVI) of each wave and acceleration and deceleration slope of S<sub>2</sub> wave (S<sub>2</sub>-Ac, S<sub>2</sub>-Dc) were obtained.

TVI-S<sub>2</sub> and P-D in the MS group were significantly lower than those in the C group (TVI-S<sub>2</sub>: 4±2 vs 12±3 cm, P-D: 27±13 vs 41±12 cm/sec). S<sub>2</sub>-Ac and S<sub>2</sub>-Dc in the MS group were significantly higher than those in the C group (S<sub>2</sub>-Ac: 456±116 vs 323±118 cm/sec<sup>2</sup>, S<sub>2</sub>-Dc: 380±102 vs 165±48 cm/sec<sup>2</sup>). There were no differences in S<sub>1</sub> and PVA.

Lower TVI-S<sub>2</sub> in the MS group suggests decreased reservoir function of the left atrium. Lower TVI-S<sub>2</sub> in the MS group was caused by increased S<sub>2</sub>-Ac and S<sub>2</sub>-Dc which suggests increased left atrial preload and deterioration of left atrial compliance. Decreased P-D in the MS group reflects dysfunction of mitral valve opening.

### Key Words

mitral valve stenosis, pulmonary circulation, atrial function, Doppler ultrasound, echocardiography (transesophageal)

### はじめに

僧帽弁狭窄症 (mitral stenosis: MS) は、僧帽弁の開放障害を主病態とする疾患であり、弁狭窄が高度な例ではしばしば心不全が惹起される。本疾患では拡張期左室流入障害により左房内の血流うっ滞がもたらされ、軽症例では代償機序として左房は拡大し、心不全症状の軽減に働くが、進行例では左房拡大そのものが逆に左房機能を悪化させる要因として働いている可能性がある。一般に左房は左室に対し、ブースターポン

プ、リザーバーおよびコンディットの3種の重要な機能を果たしているとされているが、MS例ではこの3機能の障害が考えられ、心不全の一要因と予想しうる。

近年、経食道心エコー図法の開発により、肺静脈血流速波形を詳細に記録することが可能となった<sup>1,2)</sup>。MS例のように左房血流うっ滞が著明な疾患では、正常例と異なり、その肺静脈血流速波形は特異な様態を示すと予想され<sup>3)</sup>、また、その波形解析により本疾患における左房機能を非観血的に類推することが可能と思わ

神戸大学医学部 第一内科: 〒650 神戸市中央区楠町7-5-1

The First Department of Internal Medicine, Kobe University School of Medicine, Kobe

Address for reprints: SHITE J, MD, The First Department of Internal Medicine, Kobe University School of Medicine, Kusunoki-cho 7-5-1, Chuo-ku, Kobe 650

Received for publication March 16, 1994; accepted August 8, 1994

**Table 1** Clinical characteristics of patients with mitral stenosis (MS) and normal controls

	MS	Control
Gender		
Male (patients)	4	11
Female (patients)	4	5
Age (yrs)	56±11	47±18
Heart rate (bpm)	66±11	71±11

Data are expressed as mean values ± standard deviations.

れる。今回われわれは、経食道心エコー図法を用い、MS例での肺静脈血流速動態を観察することにより、本症例の左房機能、とくにいまだ検討の少ない左房リザーバー機能に重点をおいて検討した。

## 対象と方法

### 1. 対象

有意な僧帽弁逆流を認めない正常洞調律のMS群8例(男4例, 女4例)および健常対照群16例(男11例, 女5例)である。なお対照群は健常ボランティアおよび心内異常構造の疑いによる精査の目的で経食道心エコー図法を施行し異常を認めなかった例である。MS群および対照群の平均年齢はおのおの56±11, 47±18歳で有意差を認めず、経食道心エコー図検査時の心拍数も、66±11, 71±11 bpmと両群間で有意差を認めなかった(**Table 1**)。なお、対象全例は肺静脈血流速波形で、左室収縮期順行性波が2峰性となり、拡張期順行性波および心房収縮期逆行性波も明瞭に記録された症例のみとした。

### 2. 方法

#### 1) 使用機器

東芝製SSH-160Aおよび3.75 MHzトランスデューサーを用い経胸壁心エコー図検査を、東芝製経食道探触子5 MHzを用い経食道心エコー図検査を施行した。

#### 2) 検査方法

経胸壁心エコー図検査を施行した同一日に、経食道心エコー図検査を次のごとく施行した。2%キシロカインゼリーで咽頭部を局所麻酔した後、diazepam静注で鎮静化し、経食道探触子を食道に挿入した。左側臥位、呼気終末保持時に、下記の検討諸指標をストリップ・チャート・レコーダー紙送り速度100 mm/secで、

心電図および心音図と同時記録した。なお、全例において両検査への同意を得ている。

### 3) 検討指標

American Society of Echocardiographyのrecommendation<sup>4)</sup>に基づき、経胸壁心エコー図検査法で左室拡張および収縮末期径(left ventricular end-diastolic dimension: LVDd, left ventricular end-systolic dimension: LVDs)、左室内径短縮率(percent fractional shortening: %FS)、左房径(left atrial dimension: LAD)を求めた。僧帽弁口面積(mitral valve area: MVA)は、断層心エコー図法によるarea trace法により求めた。経食道心エコー図検査法では、左上肺静脈開口部より1 cm近位側の部位で得られたパルス・ドプラー血流速波形から、**Fig. 1**に示すごとく肺静脈血流速波形を左室収縮早期順行性波(S<sub>1</sub>波)、左室収縮後期順行性波(S<sub>2</sub>波)、左室拡張期順行性波(D波)、左房収縮期逆行性波(PVA波)の4波形に分類した。この4波形のおのおのの最高流速(P-S<sub>1</sub>, P-S<sub>2</sub>, P-D, P-PVA)、時間速度積分値(TVI-S<sub>1</sub>, TVI-S<sub>2</sub>, TVI-D, TVI-PVA)およびTVI-S<sub>1</sub>+TVI-S<sub>2</sub>とTVI-S<sub>1</sub>+TVI-S<sub>2</sub>+TVI-Dの比:%TVI-(S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>)/(S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>+D)を求めた。またS<sub>2</sub>波では上行脚および下行脚の傾き(S<sub>2</sub>-Ac, S<sub>2</sub>-Dc)および収縮期僧帽弁輪部下方運動(mitral annular motion)も検討指標とした。これら検討指標をもとにMS群と対照群の肺静脈血流速波形の違いを求めた。

### 4) 統計学的処理

両群の有意差検定はunpaired *t*-testにより行い、*p*<0.05を有意水準とした。

## 結果

### 1. 経胸壁心エコー図検査所見

MS群のLADは対照群に比し有意に大であったが(48±5 vs 35±3 mm)、LVDd, LVDs, %FSには両群間で差を認めなかった。またMS群の僧帽弁口面積は平均1.3±0.4 cm<sup>2</sup>であった(**Table 2**)。

### 2. 経食道心エコー図検査所見

MS群のTVI-S<sub>2</sub>およびP-Dは対照群に比し、有意に低値であった(TVI-S<sub>2</sub>: 4±2 vs 12±3 cm, P-D: 27±13 vs 41±12 cm/sec)。一方、S<sub>1</sub>およびPVA波のおのおのの指標には、両群間で有意な差を認めなかった(**Table 3**)。

3.  $S_2\text{-Ac}$ ,  $S_2\text{-Dc}$  および  $\% \text{TVI}-(S_1+S_2)/(S_1+S_2+D)$   
 MS 群の  $S_2\text{-Ac}$  および  $S_2\text{-Dc}$  は対照群に比し有意に大であり ( $S_2\text{-Ac}$ :  $456 \pm 116$  vs  $323 \pm 118$   $\text{cm/sec}^2$ ,  $S_2\text{-Dc}$ :  $380 \pm 102$  vs  $165 \pm 48$   $\text{cm/sec}^2$ ),  $\% \text{TVI}-(S_1+S_2)/(S_1+S_2+D)$  は有意に小であった ( $40 \pm 14$  vs  $67 \pm 6\%$ ). また, mitral annular motion は両群間で差を認めなかった (Table 4).

4. 症例呈示

MS および対照両群の代表的な肺静脈血流速度波形を Fig. 2 に示す. MS 例での  $S_2$  波は上行および下行脚勾配が急峻となり, 健常例に比しその面積は小となっている. また MS 例での D 波は, その最高流速が健常例に比し小となっていることが明らかである.

考 察

近年, 経食道心エコー図検査法を用いて肺静脈血流速度波形を記録し, 左房機能を類推する研究が種々行われている. 一般に肺静脈血流速度波形は, 3 峰性の順行性波および 1 峰性の逆行性波に分類され, おおの  $S_1$ ,  $S_2$ , D および PVA 波と呼ばれている. MS 例では僧帽弁開口障害に起因し, 左房内血流うっ滞がもたらされ, 本疾患での肺静脈血流運動態は特異なパターンを呈することが予想される. 本波形解析により, MS 例での左房機能を非観血的に類推することができると思われる.

1.  $S_1$  および  $S_2$  波の検討

$S_1$  波は一般に左房の能動的弛緩能を反映していると考えられているが, 今回の検討では MS 群, 対照群間で差を認めなかった. また  $S_2$  波は, 上行脚においては前負荷<sup>9)</sup> および mitral annular motion による左房内圧低下<sup>6)</sup> が, 下降脚では肺静脈よりの受動的左房血液充満による左房圧上昇度が反映されていると考えられる.

MS 群では, 対照群と mitral annular motion で有意差を認めないにもかかわらず,  $S_2$  波の上行脚勾配 ( $S_2\text{-Ac}$ ) が大であったということは, 前負荷が大または同程度の mitral annular motion であっても左房圧変化度が大であるなどが考えられる. また,  $S_2$  波の下降脚勾配 ( $S_2\text{-Dc}$ ) が大であるということは, 左房血液充満による左房圧上昇度が大であることが示唆される. したがって, MS 群では前負荷の増大および左房圧変化度が大

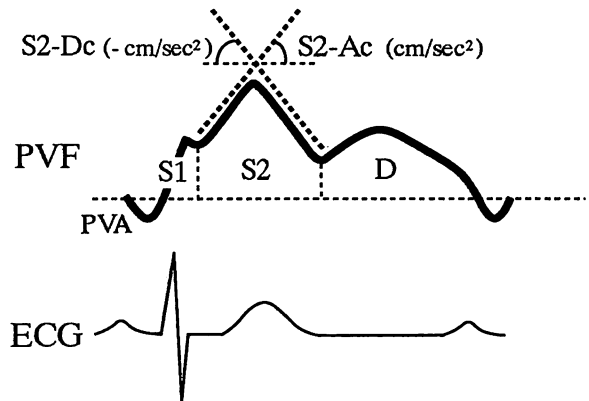


Fig. 1 Schematic illustration of pulsed Doppler findings of left upper pulmonary vein flow (PVF) obtained by transesophageal echocardiography

PVA=backward pulmonary vein flow during atrial contraction;  $S_1$ =first forward pulmonary vein flow during systole;  $S_2$ =second forward pulmonary vein flow during systole; D=forward pulmonary vein flow during diastole;  $S_2\text{-Ac}$ =acceleration slope of  $S_2$  wave;  $S_2\text{-Dc}$ =deceleration slope of  $S_2$  wave; ECG=electrocardiogram

Table 2 Transthoracic echocardiographic findings in patients with MS and controls

	MS	Control
LVDd (mm)	45±5	47±5
LVDs (mm)	30±4	30±5
%FS (%)	34±4	37±5
LAD (mm)	48±5*	35±3
MVA (cm <sup>2</sup> )	1.3±0.4	

\*  $p < 0.05$  vs control  
 LVDd=left ventricular end-diastolic dimension; LVDs=left ventricular end-systolic dimension; %FS=percent fractional shortening; LAD=left atrial dimension; MVA=mitral valve orifice area. Other abbreviation as in Table 1.

Table 3 Transesophageal pulsed Doppler findings of pulmonary vein flow in patients with MS and controls

	MS	Control
P- $S_1$ (cm/sec)	28±11	32±13
TVI- $S_1$ (cm)	2±1	3±1
P- $S_2$ (cm/sec)	43±15	50±9
TVI- $S_2$ (cm)	4±2*	12±3
P-D (cm/sec)	27±13*	41±12
TVI-D (cm)	10±6	7±3
P-PVA (cm/sec)	16±4	16±8
TVI-PVA (cm)	2±1	1±1

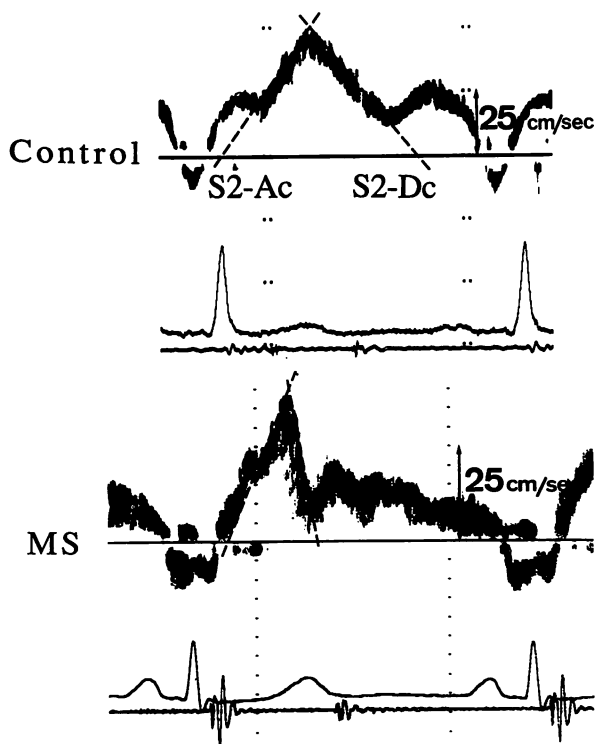
\*  $p < 0.05$  vs control  
 P=peak velocity of each wave; TVI=time velocity integral of each wave. Other abbreviations as in Table 1, Fig. 1.

**Table 4** Comparisons of S<sub>2</sub>-Ac, S<sub>2</sub>-Dc and %TVI-(S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>)/(S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>+D) in patients with MS and controls

	MS	Control
S <sub>2</sub> -Ac (cm/sec <sup>2</sup> )	456±116*	323±118
S <sub>2</sub> -Dc (-cm/sec <sup>2</sup> )	380±102*	165±48
%TVI-(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )/(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> +D)	40±14*	67±6
MAM (mm)	8±2	10±2

\* =  $p < 0.05$  vs control
$$\%TVI-(S_1+S_2)/(S_1+S_2+D) = (TVI-S_1 + TVI-S_2)/(TVI-S_1 + TVI-S_2 + TVI-D) \times 100$$

MAM=mitral annular motion. Other abbreviations as in Fig. 1, Table 3.

**Fig. 2** Representative findings of pulmonary vein flow in control and MS groups obtained by transesophageal echocardiography

Note the steep shape of the S<sub>2</sub> wave in the MS patient expressed increased S<sub>2</sub>-Ac and S<sub>2</sub>-Dc. The steep S<sub>2</sub> shape causes smaller TVI-S<sub>2</sub> than in the control. P-D in the MS patient is also smaller than in the control subject.

Abbreviations as in Table 1, Fig. 1.

であることが示唆され、その原因として左房コンプライアンス低下が考えられる。

MS群で左房コンプライアンスが低下していることは、Satoら<sup>7)</sup>によってもすでに報告されている。彼らは心臓カテテル法にて左房の圧容積曲線を求めているが、このVループでの左房圧容積曲線の傾きにより左房コンプライアンスを算出している。とくに今回検討したS<sub>2</sub>-DcはこのVループでの圧上昇度を反映していると考えられ、S<sub>2</sub>-Dcは非観血的に左房コンプライ

アンスを類推する一助となりうると思われる。また左房のコンプライアンスが左房リザーバーの重要な規定因子として働き、心拍出量や肺動脈圧などに影響を及ぼすことが、Suga<sup>8)</sup>およびMarcoら<sup>9)</sup>の実験系モデルによって推察されている。

一般に、左房のリザーバー機能とは、僧帽弁開放までの左室収縮期に肺静脈より流入する血液を左房内に貯留する機能のことをいい、肺静脈血流上S<sub>1</sub>およびS<sub>2</sub>波に相当する。今回のわれわれの検討では、MS群のS<sub>2</sub>波は、S<sub>2</sub>-AcおよびS<sub>2</sub>-Dcが大、すなわち急峻な波形となり、TVI-S<sub>2</sub>は小となり、結果として%TVI-(S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>)/(S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>+D)は対照群に比し有意に低値であった。すなわち、MS群の左房リザーバー機能は対照群に比し有意に低下していることが示唆される。左房リザーバー機能の左心機能に対する重要性はGrantら<sup>10)</sup>によってすでに指摘されており、本機能による左房貯留量は平均して左室1回駆出量の約42%を占めるとされている。MS重症例では左房のリザーバー機能低下により、持続的な肺静脈血流入から、間欠的な左室流入への橋渡しの役割が果たせなくなり、容易に肺うっ血などが出現するものと予想できる。

## 2. MS群、対照群間でのD波の検討

MS群のP-Dは対照群に比し有意に低値であった。Kawanoら<sup>11)</sup>は僧帽弁口面積とP-Dが逆相関すると報告しており、MS群でのP-D低下は拡張期僧帽弁開放障害による肺静脈血流パターンの変化を反映したものである。一方、TVI-DではMS群、対照群間で有意差を認めず、MS群の拡張期全体での左房コンディット機能は、拡張早期以降の緩徐流入により、ある程度代償されていると推察される。

## 3. MS群、対照群間でのPVA波の比較

今回のわれわれの検討では、MS群、対照群間で、PVA波の指標に有意差は認められなかった。PVA波は一般に左房収縮による肺静脈への逆行性波と考えられ、左房収縮能、すなわちプースターポンプ能をある程度反映すると思われる。しかし、左房駆出においては、左室への前方駆出と肺静脈への後方駆出の双方を考慮に入れる必要があることが指摘されている<sup>12)</sup>。MS群では僧帽弁開放障害が存在するため、左房の前方駆出が障害される。したがって、左房収縮能が対照群と

同じ場合には、MS 例では PVA 波は大となる可能性がある。本研究で MS 群、対照群間で PVA 波に差が認められなかったということは、逆に MS 群の左房収縮能は実際には低下している可能性が考えられる。

#### 4. 本研究の問題点

今回われわれの検討では、S<sub>2</sub> 波を中心に左房リザーバー機能を類推したが、S<sub>2</sub> 波は心拍数、僧帽弁逆流<sup>13,14)</sup>、mitral annular motion<sup>6)</sup>、前負荷<sup>5)</sup>および左房コンプライアンスなどの種々の因子に影響されることが知られている。われわれは対象を限定することにより、上記の心拍数、僧帽弁逆流、mitral annular motion の影響はある程度除外することができた。しかし前負荷および左房コンプライアンスを、おのおの個別に類推することは不可能であった。また左房コンプライアンスを類推するにあたり、圧変化度を反映すると思われる S<sub>2</sub>-Dc のみ、指標としては示しえなかった。コンプライアンスを評価するには容積変化も同時に考慮する必要があるが、経食道心エコー図法の限界により容積評価は行わなかった。参考までに、経食道心エコー図法で求めた S<sub>2</sub>-Dc 同時相での左房径の変化量を示すと、MS 群

1.3±0.4 mm、対照群 3.9±1.7 mm と MS 群で有意に小であった。本所見もまた MS 群での左房コンプライアンス低下を間接的に示唆する所見と考えられる。

また今回の肺静脈血流動態の検討では、肺静脈径を考慮に入れなかったが、MS 群では対照群に比し有意に拡大しているとの報告がある<sup>11)</sup>。しかし正常洞調律の MS 例では心房細動の MS 例ほど肺静脈は拡大していないとされており、本研究での血流速波形に対する影響は少ないと思われる。

## 結 論

MS 群での肺静脈血流速波形は、対照群に比し特異なパターンを呈した。MS 群では、S<sub>2</sub> 波の上行脚および下行脚勾配は急峻となり、S<sub>2</sub> 波の面積は対照群に比し有意に低値であった。本所見は MS 例での左房前負荷増大および左房コンプライアンス低下を示唆する所見と考えられ、ひいては左房リザーバー機能の低下の原因と考えられた。また MS 群の D 波の最高流速は対照群に比し有意に低値であり、本所見は僧帽弁開放障害による肺静脈血流パターンの変化を示唆するものと考えられた。

## 要 約

経食道心エコー図法を用い肺静脈血流速波形を検討することにより、僧帽弁狭窄症 (MS) における左房機能を類推した。対象は有意な僧帽弁逆流を認めない正常洞調律の MS 群 8 例および健常対照群 16 例である。経食道心エコー図法によって求めた左上肺静脈血流速波形を、収縮早期および後期順行性 (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>) 波、拡張期順行性 (D) 波および左房収縮期逆行性 (PVA) 波の 4 波形に分類し、おのおのの最高流速 (P) および時間速度積分値 (TVI) を求めた。また S<sub>2</sub> 波の上行および下行脚の傾き (S<sub>2</sub>-Ac, S<sub>2</sub>-Dc) も求めた。

MS 群での TVI-S<sub>2</sub> および P-D は対照群に比し有意に低値であった (TVI-S<sub>2</sub>: 4±2 vs 12±3 cm, P-D: 27±13 vs 41±12 cm/sec)。MS 群での S<sub>2</sub>-Ac および S<sub>2</sub>-Dc は対照群に比し有意に大であった (S<sub>2</sub>-Ac: 456±116 vs 323±118 cm/sec<sup>2</sup>, S<sub>2</sub>-Dc: 380±102 vs 165±48 cm/sec<sup>2</sup>)。S<sub>1</sub> および PVA の指標では、MS 群、対照群間に差を認めなかった。

MS 群での TVI-S<sub>2</sub> の低下は左房リザーバー機能低下を示唆している。MS 群での TVI-S<sub>2</sub> 低下は、S<sub>2</sub>-Ac および S<sub>2</sub>-Dc 増加に起因しており、本所見は左房前負荷の増大および左房コンプライアンス低下を反映しているものと思われた。また MS 群での P-D 低下は、僧帽弁開放障害を反映していると考えられた。

J Cardiol 1995; 25: 23-28

## 文 献

- 1) Toma Y, Matsuzaki M, Anno Y, Tamitani M, Maeda T, Yonezawa F, Konishi M, Okada K, Hiro J, Date T, Kusakawa R : Studies on patterns of pulmonary venous flow in man by pulsed Doppler flowmeter combined with 2-D esophageal echocardiography. Proc JSUM 1985; 46 : 683-684 (in Japanese)
- 2) Suetsugu M, Matsuzaki M, Toma Y, Anno Y, Okada K, Ono S, Michishige H, Kusakawa R : Analysis of left and right pulmonary venous flow patterns and its relevant factors : A study with transesophageal 2-D color Doppler echocardiography. Proc JSUM 1988; 52 : 29-30 (in Japanese)
- 3) Keren G, Pardes A, Miller HL, Scherez J, Laniado S : Pulmonary venous flow determined by Doppler echocardiography in mitral stenosis. Am J Cardiol 1990; 65 : 246-250
- 4) Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J, Weyman A : Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography : Results of survey of echocardiographic measurements. Circulation 1978; 58 : 1072-1083
- 5) Fujimoto T, Oki T, Iuchi A, Ogata S, Kageji Y, Hayashi M, Shinohara H, Hosoi K, Kiyoshige K, Fukuda N, Ito S : Changes in blood flow velocity pattern of the superior vena cava and pulmonary vein during lower body negative pressure in normal subjects. Jpn J Med Ultrasonics 1991; 18 : 668-677 (in Japanese)
- 6) Keren G, Sonnenblick EH, LeJemtel TH : Mitral anulus motion : Relation to pulmonary venous and transmitral flows in normal subjects and in patients with dilated cardiomyopathy. Circulation 1988; 78 : 621-629
- 7) Sato S, Kawashima Y, Hirose H, Nakano S, Matsuda H, Shimasaki Y : Clinical study of left atrial compliance and left atrial volume in mitral stenosis. Jpn Circ J 1991; 55 : 481-486
- 8) Suga H : Importance of atrial compliance in cardiac performance. Circ Res 1974; 35 : 39-43
- 9) Marco J, Standeven J, Barner H : Pulmonary and left atrial hemodynamics in mitral stenosis. Am Heart J 1977; 94 : 73-80
- 10) Grant C, Bunnell IL, Greene DG : The reservoir function of the left atrium during ventricular systole : An angiocardigraphic study of atrial stroke volume and work. Am J Med 1964; 37 : 36-43
- 11) Kawano T, Oki T, Iuchi A, Ogawa S, Fujimoto T, Kiyoshige K, Tabata T, Kageji Y, Manabe K, Fukuda N, Ito S : Evaluation of pulmonary venous flow velocity pattern in mitral valve disease with transesophageal pulsed Doppler echocardiography. Jpn J Med Ultrasonics 1992; 19 : 739-749 (in Japanese)
- 12) Takeuchi Y, Yokota Y, Tsumura Y, Nakatani M, Kawai H, Shite J, Fukuzaki H : Left atrial ejection performance in heart failure as assessed by transesophageal Doppler echocardiography. J Cardiol 1992; 22 : 193-200 (in Japanese)
- 13) Castello R, Pearson AC, Lenzen P, Labovitz AJ : Effect of mitral regurgitation on pulmonary venous velocities derived from transesophageal echocardiography color-guided pulsed Doppler imaging. J Am Coll Cardiol 1991; 17 : 1499-1506
- 14) Klein AL, Obarski TP, Stewart WJ, Casale PN, Pearce GL, Husbands K, Cosgrove DM, Salcedo EE : Transesophageal Doppler echocardiography of pulmonary venous flow : A new marker of mitral regurgitation severity. J Am Coll Cardiol 1991; 18 : 518-526