

肺疾患における静脈還流異常：
上大静脈血流の呼吸性変動からの分析

Venous return disturbances in chronic pulmonary disease: A study using pulsed Doppler echocardiography

小林 茂雄*
泉 司郎
戸田 博敏
太田 哲郎
越智 弘
松野 好男
村上 林児
盛岡 茂文
森山 勝利

Shigeo KOBAYASHI*
Shiro IZUMI
Hirotoishi TODA
Tetsuro OHTA
Hiroshi OCHI
Yoshio MATSUNO
Rinji MURAKAMI
Shigefumi MORIOKA
Katsutoshi MORIYAMA

Summary

Pulsed Doppler echocardiography was used for investigation of respiratory changes of superior vena caval flow in chronic pulmonary disease to analyze the mode of venous return and its regulating factors. The subjects consisted of 55 patients with various pulmonary diseases and 44 healthy controls.

1. In the controls, the velocities of the S and D waves increased during the inspiratory phase.

2. Patients with pulmonary diseases were categorized into 2 groups. One with the mode of the healthy subjects (normal pattern), and the other with disappearance of the D wave or both the S and D waves (abnormal pattern) in the expiratory phase. All patients with restricted ventilation exhibited the normal patterns, while the abnormal patterns were observed in some of the patients with obstructive ventilation, and most of the patients with combined ventilation.

3. The respiratory patterns of the pressure gradients between the right atrium and subclavian vein reflected patterns of the superior vena caval flow well. In cases with abnormal patterns, the right atrial pressure exceeded the subclavian vein pressure in the expiratory phase.

4. The velocity of the A wave at the expiratory phase correlated significantly with pulmonary vascular resistance and with the mean pulmonary artery pressure.

In conclusion, the mode of venous return in patients with pulmonary disease varies depending on the mode of the ventilation disturbance and the presence of right ventricular pressure overload, which

島根医科大学医学部 第四内科
出雲市塩冶町 89-1 (〒693)
*松江市立病院
松江市灘町 101 (〒690)

The Fourth Department of Internal Medicine, Shimane Medical University, Enya-cho 89-1, Izumo 693
*Matsue Municipal Hospital, Nada-machi 101, Matsue 690

Received for publication May 9, 1990; accepted November 9, 1990 (Ref. No. 36-100)

is most likely caused by the intrathoracic pressure and by right ventricular filling abnormalities.

Key words

Pulmonary disease

Venous return

Superior vena cava

Pulsed Doppler echocardiography

はじめに

上大静脈の血流パターンは右心系血行動態を反映するとされており, 各種疾患における上大静脈血流パターンの異常が報告されている¹⁻⁶⁾. 肺疾患患者において頸静脈が呼吸とともに怒張虚脱する例が観察され, 静脈還流が健常者とは異なることが想像できる⁷⁾

本研究の目的は, 超音波パルス・ドップラー法を用いて上大静脈血流の呼吸性変動を分析し, 各種肺疾患における静脈還流の様相, およびそれを規定している因子を明確にすることである.

対象と方法

対象は肺活量(%VC)または1秒率(FEV_{1.0}%)に異常を示す肺疾患例55例, 男40例, 女15例, 年齢は48歳から90歳, 平均68歳である. 対照として, 肺機能, 心電図, 胸部レントゲン写真, 心臓超音波検査で異常の認められなかった健常者44例, 男14例, 女30例, 年齢35歳から87歳, 平均63歳を選んだ.

肺換気障害はFEV_{1.0}%が70%以下, かつ%VCが80%以上を閉塞性換気障害, %VCが80%以下, かつFEV_{1.0}%が70%以上を拘束性換気障害, FEV_{1.0}%が70%以下, かつ%VCが80%以下を混合性換気障害とした.

静脈還流は超音波パルス・ドップラー法による上大静脈血流波形で代表した. 使用した超音波装置は東芝製SSH-65Aである. 使用探触子周波数は2.5MHzで低周波成分を除去するフィルターは100Hzである. ドップラー検査の施行にあたっては, 被検者を安静仰臥位とし, 右鎖骨上窩より上大静脈を描出し, サンプルボリュームの位置を探触子下5~6cmに設定し上大静脈血流波

形を記録した. 記録は安静呼吸下にて行ない, 呼吸曲線と心電図を同時に記録した. なお, ドップラー上3度以上の三尖弁閉鎖不全例は除外した⁸⁾.

上大静脈血流波形からは, 収縮期波S波, 拡張期波D波, 心房収縮期逆流波A波の呼吸性変動を観察し, それぞれ吸気時, 呼気時で計測し, その流速を測定した.

肺疾患例19例, 健常者16例に対し, 右心カテーター検査を施行し, 各種血行動態指標を求めた. このうち, 肺疾患例2例, 健常者1例に胸腔内外の静脈圧, すなわち右房圧および鎖骨下静脈圧とその圧較差を測定した.

統計解析の二群間比較には Student's t 検定を, 呼吸機能と上大静脈血流波形の関係は χ^2 検定を行なった. 各測定値は mean \pm SD で記載し, $p<0.05$ を統計的有意とした.

結 果

1. 上大静脈血流波形

健常者では, 吸気時にS波, D波両者の流速が増加し, 呼気時にはS波, D波両者とも減少した(Fig. 1).

肺疾患例では健常者と同じ正常パターンを示す群39例と, 異常パターンを示す群16例の2群に分かれた. 異常パターンには, 呼気時にD波のみが消失する例8例と, 呼気時にS波とD波の両者とも消失する例8例が認められた(Fig. 2).

S波の吸気時, 呼気時の流速は, 健常者ではそれぞれ48.4 \pm 11.7 cm/sec, 27.6 \pm 10.1 cm/secで, 肺疾患例ではそれぞれ50.1 \pm 15.0 cm/sec, 17.8 \pm 12.2 cm/secと, 呼気時には肺疾患例で小さく($p<0.001$), 吸気時と呼気時の流速差は肺疾患例で大きかった($p<0.001$). D波の吸気時, 呼気時の流速は, 健常者ではそれぞれ31.4 \pm 7.9 cm/sec,

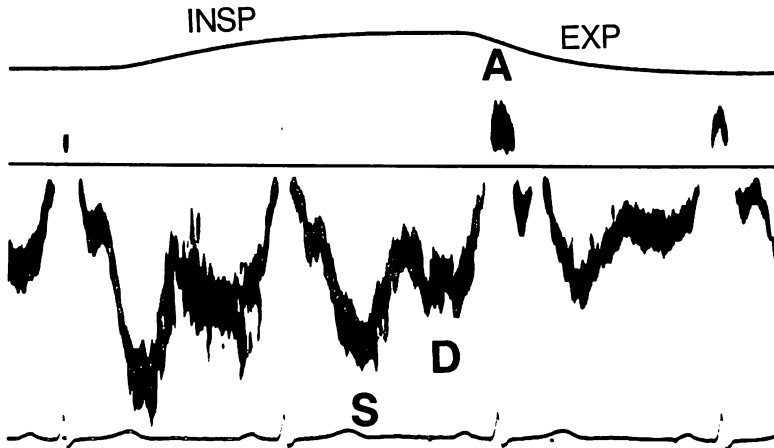


Fig. 1. Superior vena caval flow in a normal subject.

The velocity of the S wave (S) and D wave (D) increased during the inspiratory phase (INSP).
A=reverse A wave at atrial systole; EXP=expiratory phase.

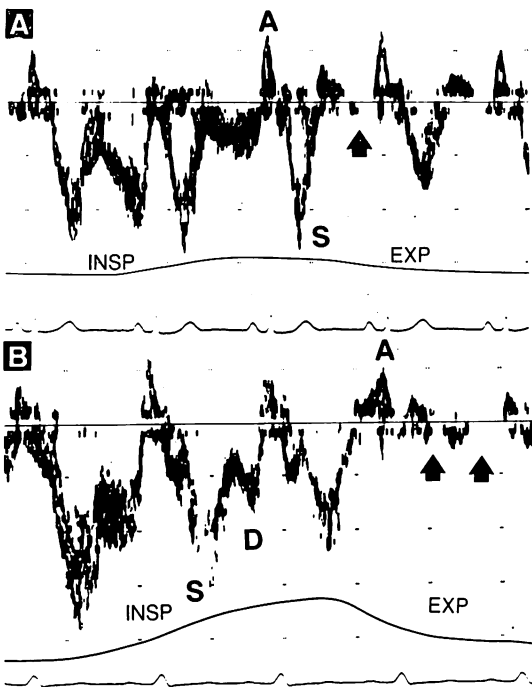


Fig. 2. Superior vena caval flow in patients with pulmonary disease.

A: D wave disappeared (arrow).
B: Both the S and D waves disappeared (arrows).
Abbreviations: see Fig. 1.

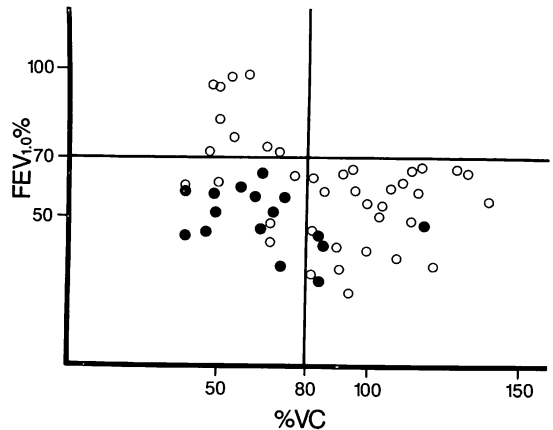


Fig. 3. Relationship between ventilation function and the pattern of superior vena caval flow.

The incidence of abnormal patterns of superior vena caval flow was higher in patients with reduction in both $FEV_{1.0}\%$ and $\%VC$.

Open circles=cases with normal pattern; closed circles=cases with abnormal patterns.

13.9 ± 5.8 cm/sec で、肺疾患例ではそれぞれ 38.3 ± 12.6 cm/sec, 8.6 ± 8.9 cm/sec と、吸気時には肺疾患例で大きく ($p < 0.02$), 呼気時に肺疾患例で小さく ($p < 0.001$), 吸気時と呼気時の流速差は肺疾患例で大きかった ($p < 0.001$). A 波の吸気時,

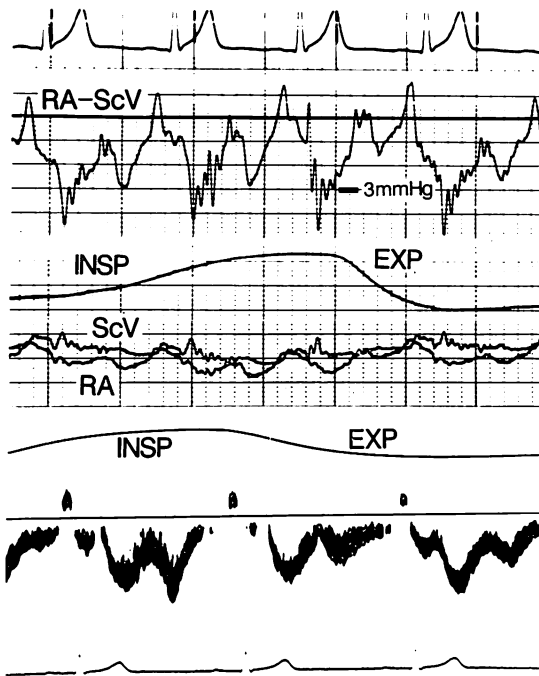


Fig. 4. Normal superior vena caval flow patterns compared with the pressure difference between intra- and extrathoracic veins.

RA=right atrial pressure; ScV=pressure of subclavian vein; RA-ScV=pressure gradient between RA and ScV.

Other abbreviations: see Fig. 1.

呼吸時の流速は、健常者ではそれぞれ 5.5 ± 5.6 cm/sec, 14.8 ± 6.7 cm/sec であり、肺疾患例では、それぞれ 3.6 ± 4.9 cm/sec, 17.1 ± 9.1 cm/sec であり、吸気時と呼気時の流速差は肺疾患例で大きい傾向があった。

2. 上大静脈血流波形と肺換気機能

肺疾患例における換気機能と上大静脈血流パターンの関係を Fig. 3 に示す。拘束性換気障害、すなわち $FEV_{1.0}\%$ が正常であれば正常な静脈還流パターンを示した。閉塞性および混合性換気障害、すなわち $FEV_{1.0}\%$ が低下すれば異常パターンの出現の頻度が増えた ($p < 0.01$)。さらに %VC の異常が加わると、すなわち混合性換気障害では、有意に異常パターンの出現が増えた ($p < 0.01$)。

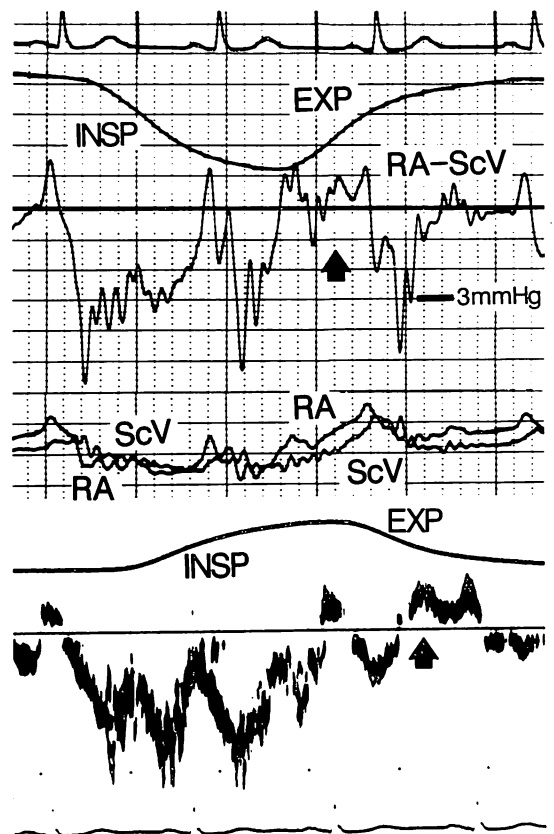


Fig. 5. Abnormal superior vena caval flow patterns compared with the pressure gradient between intra- and extrathoracic veins.

Abbreviations: see Figs. 1 & 4.

3. 上大静脈血流波形と右心系血行動態

健常者および上大静脈血流波形が正常パターンを示す肺疾患例では、鎖骨下静脈圧と右房圧はともに呼吸性的変動が少なく、右房圧は右房収縮期を除いては、鎖骨下静脈圧より常に低く、右房と鎖骨下静脈圧較差の呼吸性変動パターンは、上大静脈血流波形の呼吸性変動パターンとよく一致した (Fig. 4)。

上大静脈血流波形が異常パターンを示す肺疾患例では、呼気時右房圧が上昇し鎖骨下静脈圧を凌駕し、圧較差の逆転が生じた。その結果、D波が消失した (Fig. 5)。一方、呼気時のA波の流速と

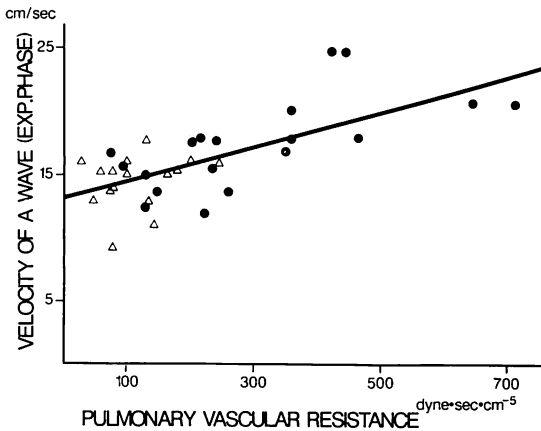


Fig. 6. Relationship between the velocity of the A wave at the expiratory phase and the pulmonary vascular resistance.

There was a significant correlation ($r=0.65, p<0.01$).

Open triangles=normal subjects; closed circles=cases with pulmonary disease.

肺血管抵抗値との間には、 $r=0.65$ の有意な正相関が認められた (Fig. 6)。また平均肺動脈圧の間にも、 $r=0.69$ の有意な正相関が認められた。

考 察

静脈は胸腔内圧、腹腔内圧の変動により右房へ還流している^{9,10}。この右房への静脈還流は、胸腔内圧に異常のない限り、心臓側の条件に規定されていると考えられる。

正常の上大静脈血流波形は、1) 心房収縮による逆流波 A 波、2) 心室収縮期における心房弛緩および三尖弁輪の引き込みによる S 波、3) 心室弛緩期の心室流入による D 波、以上3つの波形からなり¹¹、S 波の流速は D 波の流速より速い¹²。上大静脈血流波形の呼吸性変動は健常者では、吸気時、呼気時とも S 波の方が D 波より速く、S 波、D 波とも呼気で低下した。これは従来¹²の報告と同じであった¹²。

肺疾患例では、上大静脈血流の呼吸性変動に異常を示す例があった。つまり、呼気時の S 波と D 波の消失、または D 波の消失であった。その

出現には、 $FEV_{1.0}\%$ の低下が強く関与していた。すなわち、 $FEV_{1.0}\%$ が正常である拘束性換気障害例では、全例が正常な上大静脈血流の呼吸性変動を示し、上大静脈血流波形に異常な呼吸性変動を示す例は、 $FEV_{1.0}\%$ の低下した閉塞性および混合性換気障害例であった。閉塞性換気障害例では胸腔内圧が呼気時に高く、吸気時に低く、その差が大きいことが報告されている^{13,14}。S 波、D 波の呼吸性変動が肺疾患で大きかったのも、胸腔内圧による影響と思われる。胸腔内圧に影響されやすい右房圧¹⁵と胸腔内圧の影響を受けにくい胸腔外の静脈との圧較差を、小数例ではあるが上大静脈血流波形と比べると、正常な呼吸性変動を示す例は右房圧の呼吸性変動が少なく、S 波、D 波の変化が少ない。しかし、異常な呼吸性変動を示す例では、右房圧の増減が大きく、S 波、D 波の変化が大きい。つまり、胸腔内圧が大きく変動することによって、右房圧が大きく変動し、異常波形が形成されると考えられる。右房圧の変動の成因としては、1) 呼気時の胸腔内圧の上昇により、胸腔内の右房圧が上昇して胸腔外静脈圧を凌駕する、2) 呼気時の胸腔内圧の低下により、右房への静脈還流が増加し、そのため呼気開始直後に右房圧が上昇する、のいずれか、あるいは両者が関与していると考えられる。胸腔内圧と直接比較検討することにより、さらに詳細が明らかになるとされる。

静脈還流には順流波以外に逆流波 A 波がある。心房収縮による逆流波 A 波の呼気時の流速と肺血管抵抗値は有意な正相関を示した。

重症肺疾患では肺血管抵抗値が上昇し、肺高血圧症や右室肥大などを引き起こす^{16,17}。右室肥大は右室の拡張障害を起し、急速流入が障害され、代償として心房のプースターポンプ機能が増強する¹⁸。これは、一方では右房から右室への心房収縮による流入を増加させるとともに、他方で上大静脈への逆流を増加させる。さらに拡張障害が高度となり、心房収縮による房室流入が障害されると、心房収縮による上大静脈への逆流はさら

に増強されることになる。上大静脈の A 波の流速は肺疾患による右室拡張障害を反映したものと
思われ, これは右室圧負荷の程度, すなわち肺血管抵抗を表わしたもので, 上大静脈血流の呼吸性
変動から肺血管抵抗値を予測できることは, 臨床的に意義深いと思われる。

要 約

各種肺疾患における静脈還流の様相, およびそれを規定している因子を, 上大静脈血流の呼吸性
変動から分析した。対象は肺活量または 1 秒率に異常を示す肺疾患例 55 例, 対照は健常者 44 例である。静脈還流の呼吸性変動は, 仰臥位における
超音波パルス・ドップラー法より得られた上大静脈血流波形で代表し, 肺換気機能および右心系血行動態と比較した。

1. 健常者における上大静脈血流波形の呼吸性変動では, 吸気時に, 収縮期 S 波, 拡張期 D 波のいずれも流速が増し, 呼気時にはいずれも低下した(正常パターン)。

2. 肺疾患例では, 健常者と同じパターンを示す群と, 呼気時に D 波のみ消失, もしくは S 波と D 波のいずれもが消失する異常パターンを示す群の, 2 つの群が認められた。拘束性換気障害例では全例正常パターンを示した。閉塞性換気障害例の一部および混合性換気障害例の多くは異常パターンを示した。

3. 右房圧と鎖骨下静脈圧の同時圧記録から, 呼気時 D 波が消失する機序は, 呼気時に右房圧が上昇し, 鎖骨下静脈圧を凌駕することであった。

4. 呼気時における A 波の流速は, 肺動脈圧および肺血管抵抗値と正相関を示した。

以上の結果より, 肺疾患の静脈還流は肺換気機能および右室圧負荷の有無により異なり, 静脈還流異常は胸腔圧上昇および右室圧負荷により引き起こされる右室拡張障害に起因すると考えられた。

文 献

1) Benchimol A, Stegall HF, Gartlan JL, Barreto

EC, Goldstein MR, Standval J: Right atrium and superior vena cava velocity in man measured with the Doppler-catheter flowmeter-telemetry system. *Am J Med* 48: 303-309, 1970

- 2) Izumi S, Beppu S, Matsuhisa M, Ohmori F, Park YD, Nagato S, Kinoshita N, Miyatake K, Sakakibara H, Nimura Y: The physiological role of the pericardium: Studies based on right heart inflow dynamics in cases of left-sided pericardial defect. *J Cardiogr* 17: 129-138, 1987 (in Japanese)
- 3) Izumi S, Beppu S, Miyatake K, Yamagishi M, Akiyama T, Hiraoka H, Yamamoto K, Suzuki S, Sakakibara H, Nimura Y: Significance of disturbances of cardiac filling in constrictive pericarditis. *J Cardiol* 19: 529-539, 1989 (in Japanese)
- 4) Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Demonstration of restrictive ventricular physiology by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 11: 757-768, 1988
- 5) Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Cardiac tamponade and pericardial effusion: Respiratory variation in transvalvular flow velocities studied by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 11: 1020-1030, 1988
- 6) Kobayashi S, Izumi S, Tanaka K, Murakami Y, Matsuno Y, Murakami R, Sugimura K, Morioka S, Moriyama K: Diagnosis of superior vena cava syndrome using pulsed Doppler echocardiography. *Am J Noninvas Cardiol* 5: 52-56, 1991
- 7) Waring WW: The history and physical examination. *in Disorders of the Respiratory Tract in Children* (ed by Kendig EL Jr & Chernick V). 3rd ed, WB Saunders, Philadelphia, 1977, pp 86-87
- 8) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Ohta M, Kozuka T, Sakakibara H, Nimura Y: Evaluation of tricuspid regurgitation by pulsed Doppler and two-dimensional echocardiography. *Circulation* 66: 777-784, 1982
- 9) Stegall HF: Muscle pumping in the dependent leg. *Circ Res* 19: 180-190, 1966
- 10) Fremond-Smith F: The role of elongation and contraction of the inferior vena cava, coincident with respiration, in the return of blood to the heart: Report of an observation on men. *J Mt Sinai Hosp* 9: 432-434, 1942
- 11) Kalmanson D, Veyrat C, Chiche P: Atrial versus ventricular contribution in determining systolic venous return: A new approach to an old riddle. *Cardiovasc Res* 5: 293-302, 1971
- 12) Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Superior vena cava and hepatic vein Doppler echocardiography.

- graphy in healthy adults. *J Am Coll Cardiol* **10**: 1032-1039, 1987
- 13) Olgiati R, Atchou G, Cerretelli P: Hemodynamic effects of resistive breathing. *J Appl Physiol* **60**: 846-853, 1986
- 14) Blaustein AS, Risser TA, Weiss JW, Parker JA, Holman BL, McFadden ER: Mechanisms of pulsus paradoxus during resistive respiratory loading and asthma. *J Am Coll Cardiol* **8**: 529-536, 1986
- 15) Robotham JL, Lixfeld W, Holland L, MacGregor D, Bromberger-Barnea B, Permutt S, Rabson JL: The effects of positive end-expiratory pressure on right and left ventricular performance. *Am Rev Resp Dis* **121**: 677-683, 1980
- 16) Fishman AP: Chronic cor pulmonale. *Am Rev Resp Dis* **114**: 775-794, 1976
- 17) Enson Y, Thomas HM, Bosken CH, Wood JA, Leory EC, Blanc WA, Wigger HJ, Harvey RM, Cournand A: Pulmonary hypertension in interstitial lung disease. *Trans Assoc Am Physicians* **88**: 248-255, 1975
- 18) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Tanouchi J, Masuyama T, Abe H, Morita H, Senda S, Matsuo H: Transmitral blood flow reflecting diastolic behavior of the left ventricle in health and disease: A study by pulsed Doppler technique. *Jpn Circ J* **46**: 92-102, 1982