

連続波ドップラー法による 僧帽弁閉鎖不全症の重症度 評価

Continuous wave Doppler echocardiographic evaluations of the severity of mitral regurgitation

木佐貫 彰
鄭 忠和
皆越 真一
夏越久美子
柴田 邦彦
湯通堂敏郎
尾辻 豊
安部 智
有馬 新一
田中 弘允

Akira KISANUKI
Chuwa TEI
Shin-ichi MINAGOE
Kumiko NATSUGOE
Kunihiko SHIBATA
Toshiro YUTSUDO
Yutaka OTSUJI
Satoshi ABE
Shin-ichi ARIMA
Hiromitsu TANAKA

Summary

To ascertain the usefulness of continuous wave Doppler echocardiography in evaluating the severity of mitral regurgitation (MR), 29 patients with MR and 10 normal subjects were examined. The patients were categorized in three groups according to the angiographic evidence of severity of MR. To analyze the flow velocity patterns of MR, the time to peak velocity index (time from onset of MR signal to peak flow velocity/duration of MR signal), the A/B ratio (the ratio of the first and second half of the systolic MR signal area), systolic peak velocity, and diastolic peak velocity were measured using continuous wave Doppler echocardiograms.

The velocity patterns of MR differed significantly among the three groups. With severer MR, the flow velocity pattern showed an earlier appearance of the peak in systole, a steeper decrease in systole and a greater increase in early diastole. The time to peak velocity index was $55 \pm 7\%$ (mean \pm SD) in mild MR, $42 \pm 6\%$ in moderate MR and $35 \pm 5\%$ in severe MR. This index shortened significantly in accord with the severity of MR (mild vs moderate MR: $p < 0.001$, moderate vs severe MR: $p < 0.05$). The A/B ratio was 1.06 ± 0.12 in mild MR, 1.23 ± 0.10 in moderate MR and 1.41 ± 0.07 in severe MR. This ratio increased significantly with the severity of MR (mild vs moderate MR: $p < 0.01$, moderate vs severe MR: $p < 0.01$). The diastolic peak velocity increased significantly in patients with MR as compared to that of normal subjects (0.8 ± 0.1 m/sec) and it increased significantly with the severity of MR (1.1 ± 0.3 m/sec in mild MR, 1.6 ± 0.2 m/sec in moderate MR and 1.9 ± 0.1 m/sec in severe MR).

鹿児島大学医学部 第一内科
鹿児島市宇宿町 1208-1 (〒890)

The First Department of Internal Medicine, Faculty of
Medicine, Kagoshima University, Usuki-cho 1208-1,
Kagoshima 890

Received for publication November 24, 1988; accepted December 29, 1989 (Ref. No. 33-43)

However, systolic peak velocity was not related to the severity of MR.

In conclusion, continuous wave Doppler echocardiography proved to be a useful noninvasive method for evaluating the severity of MR.

Key words

Doppler echocardiography

Mitral regurgitation

Mitral flow velocity

はじめに

連続波ドップラー法は非観血的に心内にみられる異常血流の最高速度を測定することが可能であり、ベルヌーイの簡易式¹⁾を用いて弁口部の圧較差を測定することができる。連続波ドップラー法を用いて検討された今までの報告は、血流最大速度を測定することにより狭窄部位前後の最大圧較差^{2~4)}あるいは右室収縮期圧^{5,6)}を評価したものが多く、弁逆流の重症度について検討したものは少ない⁷⁾。連続波ドップラー法より得られる血流速度波形は、各時相における圧較差の推移を反映するので、血流速度波形は逆流の重症度と関連することが示唆される。

この研究の目的は、連続波ドップラー法を用いて僧帽弁逆流 (MR) の血流速度波形を分析することにより、MR の重症度評価を試みることである。

対象および方法

1. 対象

対象は心血管造影にて診断された MR 29 例 (男 10 例, 女 19 例) で、年齢は 23~69 歳 (平均 45 歳) である。MR の基礎疾患は、リウマチ性弁膜症 11 例, 僧帽弁逸脱 6 例, 腱索断裂 4 例, 拡張型心筋症 4 例, 虚血性心疾患 1 例, 原因不明 3 例である。対照として健常者 10 例 (男 6, 女 4 例, 年齢 26~66 歳, 平均 43 歳) を比較した。

2. 左室造影による MR の重症度評価

MR の重症度は左室造影所見より Sellers らの分類⁸⁾の I~II 度を軽度 MR, III 度を中等度 MR, IV 度を高度 MR として 3 群に分類すると軽度群 10 例, 中等度群 12 例, 高度群 7 例であつ

た。なお Sellers 分類の判定は、ドップラー検査とは独立して施行された。

3. 連続波ドップラー法による僧帽弁口部血流の記録

連続波ドップラーの装置は、東芝製超音波断層心エコー・ドップラー装置 SSH 40B, SSH 60B あるいは SSH 65A で、発振周波数は 2.4 あるいは 2.5 MHz である。僧帽弁口部血流の記録は左側臥位にて探触子を左室心尖部におき、超音波ビームが僧帽弁を通過し high-pitched の Doppler audio-signal が聴取される方向で行った (Fig. 1)。

4. 計測

MR の連続波ドップラーエコー波形より以下の 4 つの指標を計測した (Fig. 2)。(1) Time to peak velocity index (%): MR の開始より血流速度が最大になるまでの時間 (a) を全逆流時間 (b) で除した値を % で表したもの ($a/b \times 100\%$)。(2) A/B ratio: MR の血流波形と基線とで囲まれた面積の中で収縮前半期の面積 A を後半期の面積 B で除した値 (A/B)。(3) Systolic peak velocity: MR の収縮期血流最大速度 (c, m/sec)。(4) Diastolic peak velocity: 拡張早期の僧帽弁口部血流最大速度 (d, m/sec)。これは健常者 10 例と非リウマチ性 MR 18 例に対してのみ計測した。

なお A/B ratio の計測に際しては picture analyzer model Σ5 を一部改良したマイクロコンピュータを使用し、light pen method により行った。4 つの指標はすべて連続 5 心拍の平均で求めた。

結 果

1. 健常例と MR 例の僧帽弁口部血流波形 連続波ドップラー法による健常例の僧帽弁口部

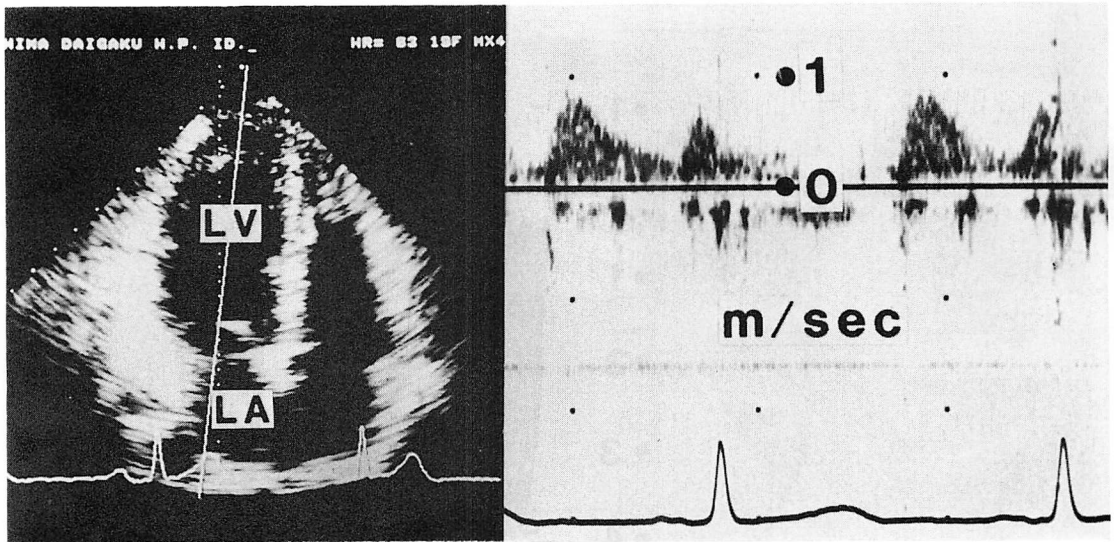


Fig. 1. Recordings of mitral inflow velocity pattern by continuous wave Doppler in a normal subject.

Doppler transducer is placed over the left ventricular apex and Doppler beam is directed parallel to the mitral inflow. During systole, there are no flow signals which indicate mitral regurgitation.

1. Time to peak velocity index : $a/b \times 100(\%)$
2. A/B ratio : A/B
3. Systolic peak velocity : c (m/sec)
4. Diastolic peak velocity : d (m/sec)

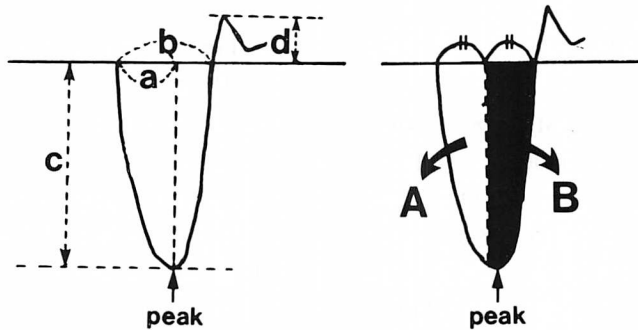


Fig. 2. Measurements of time to peak velocity index, A/B ratio, systolic peak velocity and diastolic peak velocity from the continuous wave Doppler echogram of mitral regurgitation.

血流波形は、Fig. 1 に示す如く、収縮期にはシグナルは認められず、拡張期に探触子に近づく二峰性の波形として記録された。これに対して MR

例の血流波形は、Fig. 3 に示す如く、収縮期には 3.5 m/sec 以上の速度を有する探触子より遠ざかる方向の血流波形、拡張期には洞調律例では二峰

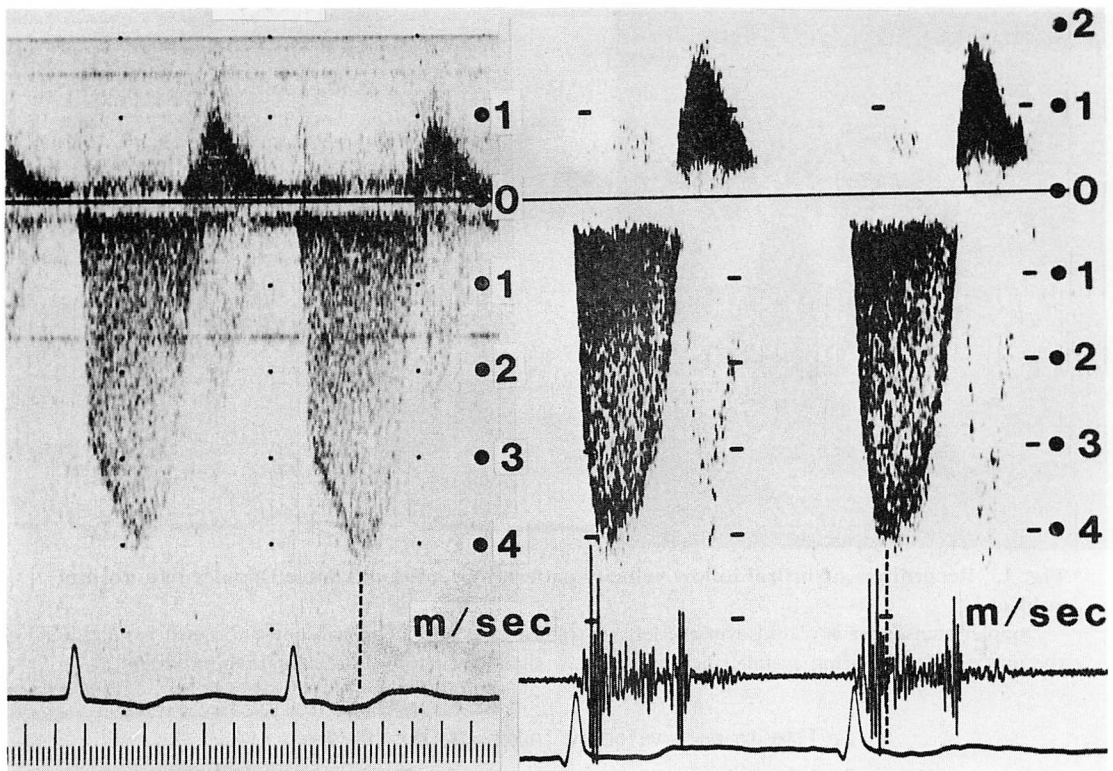


Fig. 3. Continuous wave Doppler echograms in patients with mild mitral regurgitation (MR) (left panel) and severe MR (right panel).

Systolic flow signals away from the transducer indicate MR jets. The timing of the systolic peak velocity is earlier and the diastolic peak velocity is faster in severe MR than in mild MR.

性, 心房細動例では一峰性の探触子に近づく血流波形として記録された。

2. 連続波ドップラー法による MR の重症度評価

1. Time to peak velocity index は, 軽度 MR 群で $55 \pm 7\%$, 中等度 MR 群で $42 \pm 6\%$, 高度 MR 群で $35 \pm 5\%$ で, 中等度群は軽度群よりも有意に低値を示し ($p < 0.001$), また高度群は中等度群よりも有意に低値を示した ($p < 0.05$, Fig. 4). すなわち MR が重症になるほど血流最大速度は収縮早期に偏位した (Fig. 3).

2. A/B ratio は軽度 MR 群 1.06 ± 0.12 , 中等度 MR 群 1.23 ± 0.10 , 高度 MR 群 1.41 ± 0.07 で, 中等度群は軽度群よりも ($p < 0.01$) また高度群は中等度群よりも ($p < 0.01$) 有意に高値を示し

た (Fig. 5). これは MR が重症になればなるほど, MR 波形の収縮前半期に占める面積が収縮後半期に占める面積に比べて大きくなることを示した (Fig. 3).

3. Systolic peak velocity は軽度 MR 群 4.4 ± 0.7 m/sec, 中等度 MR 群 4.4 ± 0.7 m/sec, 高度 MR 群 4.1 ± 0.5 m/sec で, 各群間で有意差を認めなかった (Fig. 6).

4. Diastolic peak velocity は健常者群 0.8 ± 0.1 m/sec, 非リウマチ性 MR の軽度群 (6例) では 1.1 ± 0.3 m/sec, 中等度群 (6例) で 1.6 ± 0.2 m/sec, 高度群 (6例) で 1.9 ± 0.1 m/sec で, 非リウマチ性 MR 群では健常者群より有意に高値を示し, しかも MR 群の中では重症になるほど高値を示

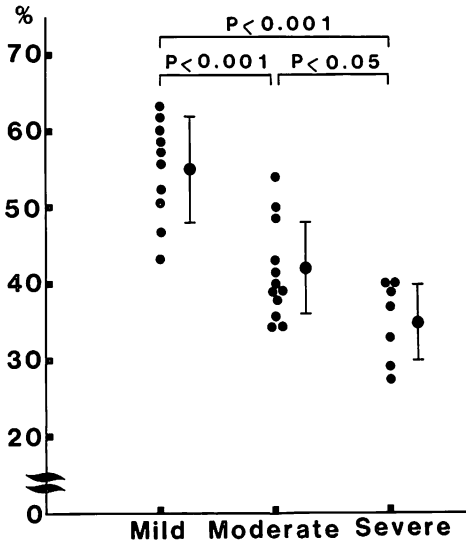


Fig. 4. Comparison of the time to peak velocity indexes.

The mean value shortened significantly in moderate MR ($42 \pm 6\%$) compared to that in mild MR ($55 \pm 7\%$, $p < 0.001$) and also shortened significantly in severe MR ($35 \pm 5\%$) compared to that in moderate MR ($p < 0.05$).

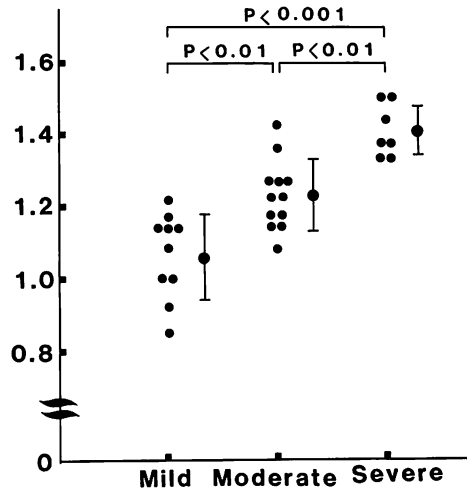


Fig. 5. Comparison of A/B ratios.

The mean value in moderate MR (1.23 ± 0.10) is significantly larger than that in mild MR (1.06 ± 0.12) ($p < 0.01$) and is significantly smaller than that of severe MR (1.41 ± 0.07).

した (Fig. 7).

考 察

現在まで超音波ドップラー法を用いて MR の重症度を評価した報告には、(1) 大動脈血流波形の変化より求める方法⁹⁾、(2) 逆流シグナルの拡がりを求める方法^{10,11)}、(3) 逆流率を求める方法¹²⁾などがあるが、本研究では以上3つの方法とは異なり、MR 例の僧帽弁口部血流を連続波ドップラー法を用いて記録し、その波形を分析することにより、MR の重症度評価を試みた。その結果、拡張期の血流最大速度、time to peak velocity index および A/B ratio が MR の重症度を評価する上で有用であることが示された。

各種弁狭窄においてすでに報告されているように¹⁻⁴⁾、血流最大速度は圧較差によって規定されているので、MR の血流最大速度は収縮期の左

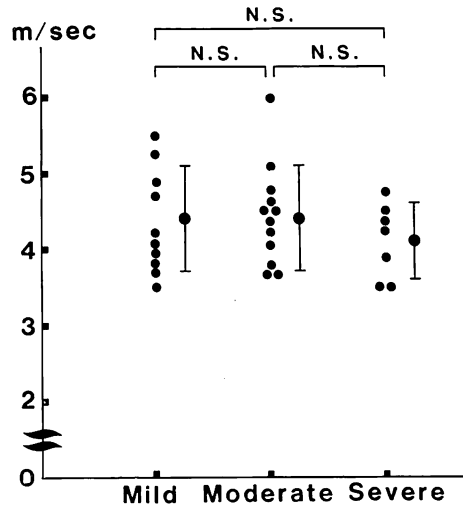


Fig. 6. Comparison of systolic peak velocities of mitral regurgitation.

There are no significant differences in the values among the 3 groups of patients.

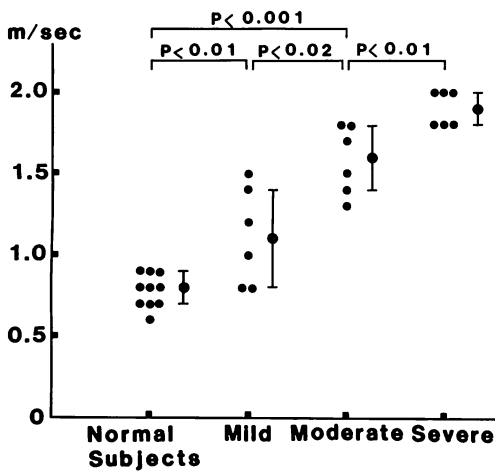


Fig. 7. Comparison of diastolic peak velocities of mitral inflow.

The mean value increased significantly in patients with MR compared to that in normal subjects (0.8 ± 0.1 m/sec, $p < 0.01$ or $p < 0.001$) and increased significantly in accord with the severity of MR (1.1 ± 0.3 m/sec in mild MR, 1.6 ± 0.2 m/sec in moderate MR and 1.9 ± 0.1 m/sec in severe MR).

室・左房間圧較差により規定されていると考えられる。それゆえ、MR の血流速度波形が重症度によって異なることは、収縮期の左室・左房間圧較差波形が MR の重症度により異なることが示唆される。

重症 MR では、収縮期後半に左房圧 V 波の著明な上昇がみられたり^{13,14)}、収縮期後半に左室圧の急激な低下がみられること^{15,16)}が報告されている。一方 Nichol らは⁹⁾、ドップラー法を用いて大動脈弓部の血流波形を記録し、これより MR の重症度評価を行っている。彼らの成績によると、重症 MR では収縮期後半の大動脈血流速度の低下がみられたが、これは左室が急速に縮小する結果、収縮期後半の左室の収縮力が弱くなり、左室圧が低下するためであろうと考察している。

以上の報告を考え合わせると、MR が重症になる程、収縮期後半の左室・左房間圧較差が小さくなり、その結果圧較差の peak は収縮期前半に偏

位するものと考えられる。

Time to peak velocity index, A/B ratio は左室・左房間圧較差の変化を反映したものであり、したがってこれらは逆流の重症度を評価する上で有用な指標であることが示唆される。また、diastolic peak velocity は非リウマチ性 MR 群で健常者よりも有意に高値を示し、しかも MR が重症な程高値を示した。これは僧帽弁口部の diastolic peak velocity が左房・左房間圧較差に規定されることを考え合わせると¹⁷⁾、MR 群では拡張早期の左房圧が正常よりも高く、重症例では更に左房圧が高くなることを示唆するものである。したがって純型 MR では、diastolic peak velocity も MR の重症度を反映する指標となり得ると思われる。

急性 MR と慢性 MR とでは左房のコンプライアンスが異なり、同じ重症 MR でも V 波の上昇の程度は異なることが報告されている^{13,18)}。すなわち急性 MR では左房拡大の程度が少なく、左房のコンプライアンスは正常あるいは低下しているので V 波は著明となるが、慢性 MR では左房は拡大しコンプライアンスも亢進するので、V 波の上昇の程度が小さいことが多い。極端な例では左房圧が正常である重症 MR も存在することが報告されている¹⁹⁾。それゆえ、急性 MR と慢性 MR では、MR の程度が同じでも左室・左房間圧較差が異なる可能性もあるが、この点については今後更に検討する必要がある。今回検討した症例の中には急性 MR は含まれておらず、腱索断裂例も数年経過したものであり、全例慢性 MR であった。

MR の全逆流時間には、駆出時間のみならず、等容収縮期、等容拡張期が含まれるので、左心機能が MR の血流速度波形に影響することも考えられる。この点に関しては今回の対象の中に拡張型心筋症 4 例が含まれていたが、MR を重症度ごとに分けて各指標を検討した場合、これら 4 例の中では例外的な値を示した症例はみられなかった。しかし症例数が少ないので今後更に検討する

必要があろう。

以上、連続波ドップラー法を用いて逆流血流速度波形から MR の重症度を評価する新しい方法について述べた。今後検討すべき問題点も残されているが、この方法は簡単で再現性が高いことから、今後、MR の臨床的重症度評価に有用であると結論した。

要 約

連続波ドップラー法を用いて僧帽弁逆流 (MR) の重症度評価を試みた。対象は心血管造影にて診断された MR 29 例と健常者 10 例である。左室造影所見より MR の重症度を軽度 MR (Sellers I~II 度), 中等度 MR (Sellers III 度), 高度 MR (Sellers IV 度) の 3 群に分類した。MR の連続波ドップラー波形より time to peak velocity index (MR の開始から peak までの時間と全逆流時間との比), A/B ratio (MR 波形の収縮前半と後半の面積の比), systolic peak velocity, diastolic peak velocity の 4 つの指標を計測した。

Time to peak velocity index は軽度 MR ($55 \pm 7\%$), 中等度 MR ($42 \pm 6\%$), 高度 MR ($35 \pm 5\%$) の順に小となり, 中等度 MR は軽度 MR より ($p < 0.001$), また高度 MR は中等度 MR より, 有意に ($p < 0.05$) 低値を示した。A/B ratio は軽度 MR (1.06 ± 0.12), 中等度 MR (1.23 ± 0.10), 高度 MR (1.41 ± 0.07) の順に大となり, 中等度 MR は軽度 MR より ($p < 0.01$), また高度 MR は中等度 MR より有意に ($p < 0.01$) 高値を示した。Diastolic peak velocity は健常者 (0.8 ± 0.1 m/sec) に対し MR 群では有意に高値を示し, しかも MR 群の中では軽度 MR (1.1 ± 0.3 m/sec), 中等度 MR (1.6 ± 0.2 m/sec), 高度 (MR 1.9 ± 0.1 m/sec) の順に高値を示した。しかし systolic peak velocity は各群間で有意差を認めなかった。

以上より, MR が重症である程血流最大速度は収縮早期に出現し, 拡張早期の血流最大速度は増大することが示された。連続波ドップラー法は MR の重症度評価に有用である。

文 献

- 1) Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B: Noninvasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* **40**: 131-140, 1978
- 2) Tei C, Kisanuki A, Arikawa K, Otsuji Y, Arima S, Kashima T, Tanaka H, Kushitani M, Shah PM: Continuous wave Doppler echocardiographic assessment of aortic stenosis and aortic regurgitation. *J Cardiogr* **15**: 111-121, 1985 (in Japanese)
- 3) Currie PJ, Seward JB, Reeder GS, Vlietstra RE, Bresnahan DR, Bresnahan JF, Smith HC, Hagler DJ, Tajik AJ: Continuous wave Doppler echocardiographic assessment of severity of calcific aortic stenosis: A simultaneous Doppler-catheter correlative study in 100 adult patients. *Circulation* **71**: 1162-1169, 1985
- 4) Lima CO, Sahn DJ, Valdes-Cruz LM, Goldberg SJ, Barron JV, Allen HD, Grenadier E: Non-invasive prediction of transvalvular pressure gradient in patients with pulmonary stenosis by quantitative two-dimensional echocardiographic Doppler studies. *Circulation* **67**: 866-871, 1983
- 5) Tei C, Kisanuki A, Arima S, Arikawa K, Otsuji Y, Ri S, Kashima T, Tanaka H: Non-invasive assessment of right ventricular pressure in patients with tricuspid regurgitation by continuous wave Doppler echocardiogram. *Circulation* **70** (Suppl): II-116, 1984 (abstr)
- 6) Yock PG, Popp RL: Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation* **70**: 657-662, 1984
- 7) Masuyama T, Kokama K, Kitabatake A, Nanto S, Sato H, Uematsu M, Inoue M, Kamada T: Noninvasive evaluation of aortic regurgitation by continuous-wave Doppler echocardiography. *Circulation* **73**: 460-466, 1986
- 8) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. *Am J Cardiol* **14**: 437-447, 1964
- 9) Nichol PM, Boughner DR, Persaud JA: Non-invasive assessment of mitral insufficiency by transcutaneous Doppler ultrasound. *Circulation* **54**: 656-661, 1976
- 10) Abbasi AS, Allen MW, DeCristofaro D, Ungar I: Detection and estimation of the degree of mitral regurgitation by range-gated pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* **61**: 143-147, 1980

- 11) Miyatake K, Izumi S, Okamoto M, Kinoshita N, Asonuma H, Nakagawa H, Yamamoto K, Takamiya M, Sakakibara H, Nimura Y: Semiquantitative grading of severity of mitral regurgitation by realtime two-dimensional Doppler flow imaging technique. *J Am Coll Cardiol* **7**: 82-88, 1986
- 12) Blumlein S, Bouchard A, Schiller NB, Dae M, Byrd BF, Ports T, Botvinick EH: Quantitation of mitral regurgitation by Doppler echocardiography. *Circulation* **74**: 306-314, 1986
- 13) DePace NL, Nestico PF, Morganroth J: Acute severe mitral regurgitation: Pathophysiology, clinical recognition and management. *Am J Med* **78**: 293-306, 1985
- 14) Braunwald E: Mitral regurgitation: Physiologic, clinical and surgical considerations. *New Engl J Med* **281**: 425-433, 1969
- 15) Wiggers CJ, Feil H: Cardiodynamics of mitral insufficiency. *Heart* **9**: 149, 1921
- 16) Ross J Jr, Braunwald E, Morrow AG: Clinical and hemodynamic observations in pure mitral insufficiency. *Am J Cardiol* **2**: 11-23, 1958
- 17) Ishida Y, Meisner JS, Tsujioka K, Gallo JI, Yoran C, Frater RWM, Yellin EL: Left ventricular filling dynamics: Influence of left ventricular relaxation and left atrial pressure. *Circulation* **74**: 187-196, 1986
- 18) Braunwald E: Valvular heart disease. *in* Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine (ed. by Braunwald E), WB Saunders, Philadelphia, London, Toronto, 1980, pp 1112-1113
- 19) Braunwald E, Awe WC: The syndrome of severe mitral regurgitation with normal left atrial pressure. *Circulation* **27**: 29-35, 1963