

拡張型心筋症における左室内拡張期血流動態: カラーならびにパルス・ドップラー法による検討

Left ventricular diastolic flow dynamics in dilated cardiomyopathy: A color flow imaging and pulsed Doppler echocardiographic study

三神 大世
工藤 俊彦
橋本 雅幸
菅原 智子
坂本 三哉*
安田 寿一

Taisei MIKAMI
Toshihiko KUDO
Masayuki HASHIMOTO
Tomoko SUGAWARA
Sanya SAKAMOTO*
Hisakazu YASUDA

Summary

Left ventricular filling flow was evaluated at the mitral orifice and in the left ventricle (LV) using color flow imaging and pulsed Doppler echocardiography in seven patients with dilated cardiomyopathy (DCM) and 10 normal subjects. Using the apical approach, filling flow in early and late diastole was observed by two-dimensional color and M-mode color flow imaging, and flow velocity patterns at the mitral orifice and in the LV, 3 cm below the orifice, were analyzed by pulsed Doppler echocardiography.

Color flow imaging disclosed slower movement of the inflow signals toward the apex in DCM than in the normal. With pulsed Doppler echocardiography, the delay in timing of peak velocity in the LV was distinctly greater in DCM than in the normal, although the mitral inflow velocity did not differ between DCM and the normal. The width of the filling flow, the rate of velocity reduction and the flow velocity in the LV did not differ between DCM and the normal.

Thus, in DCM, the timing of filling flow in the LV is clearly delayed compared to the timing at the mitral orifice, and this cannot be explained solely by the mitral flow velocity pattern.

Key words

Dilated Cardiomyopathy Left ventricular diastolic function Color flow imaging
Pulsed Doppler echocardiography

北海道大学医学部 循環器内科
*北海道大学 医療技術短期大学部
札幌市北区北15条西7丁目 (〒060)

Department of Cardiovascular Medicine, Hokkaido University School of Medicine and *College of Medical Technology, Hokkaido University, Kita-15, Nish-7, Kita-ku, Sapporo 060

Received for publication December 22, 1988; accepted April 17, 1989 (Ref. No. 35-70B)

はじめに

拡張型心筋症 (DCM) の僧帽弁口部血流は多彩なパターンを呈し, その成因や臨床的意義についての研究が注目されている^{1,2)}. 一方, DCM や心不全例の左室内には緩徐で複雑な流れのあることが報告されている^{3,4)}. しかし, DCM の僧帽弁口部血流と左室内血流との関係については報告が少ない⁵⁾. 本研究の目的は, DCM における僧帽弁口から左室内にかけての血液充満の様相を, カラーならびにパルス・ドップラー法で検討することである.

対象と方法

対象は洞調律の DCM 7 例および健常 10 例である. これらに対し, アロカ XA54 プロトタイプ超音波診断装置 (探触子発信周波数 2.5 MHz) を用いて, 各種ドップラー法を行った. まず, カラードップラー断層法により, 心尖部からの長軸断層像で左室充満血流を観察した. また, この断面上で左室流入血流の血流方向に沿ってカラードップラー M モード法を行った. これらを 3/4 インチビデオカセットに記録し, スローモーションないしコマ送り再生により定性的に検討した. また, カラー断層法から, 急速充満期および心房収縮期のおおのの血流について, 弁下 3 cm の左室内における短軸方向の血流幅を計測した.

一方, 血流速度や血流時相の定量的把握のため, パルス・ドップラー法を行った. 僧帽弁口および弁下 3 cm の左室内における左室充満血流を, ストリップチャート・レコーダーに紙送り速度 100 mm/秒で記録した. 計測は連続 3 心拍につき行い, それらの平均値を求めた. 両部位の血流速度波形より急速充満期 (R) と心房収縮期 (A) のピーク流速を求めた. これらから, 両時相それぞれの弁口から弁下 3 cm にかけての血流速度の減速率と, 両部位の流速の平均値から予想される血流の時間遅れを計算した. また心音図 II 音から R 波のピークまで, 心電図 P 波から A 波の

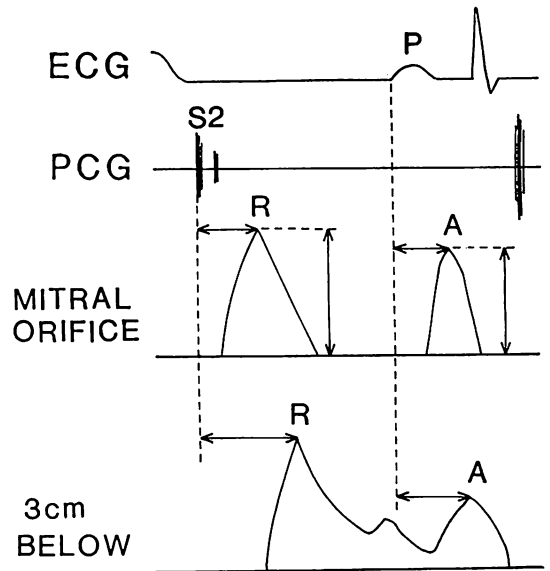


Fig. 1. Method of measuring the flow velocities at the mitral orifice and 3 cm below the mitral orifice in the left ventricle to assess the time delay of peak filling velocities between these 2 areas.

R=peak flow velocity curve at rapid filling; A=peak flow velocity curve at atrial contraction.

ピークまでの時間を計測し, これらから R と A おおののにつき, 弁口から左室内弁下 3 cm へ至る際の時間遅れを求めた (Fig. 1).

結 果

成績の概要を Table 1 に示す. DCM 例の左室拡張末期径は 57~85 mm, 左室内径短縮率は 8~16% の範囲にあった. カラー・ドップラー法上, DCM の全例に機能的僧帽弁逆流を認めた. 逆流の程度は 2 度が 3 例, 1 度が 4 例と軽度であった. 左室充満血流の流速が, 急速充満期ないし心房収縮期のいずれか一方で遅い場合, 弁下 3 cm の左室内血流が明瞭には捉えられないことがあった. その結果, 急速充満期血流に関しては DCM 5 例と健常 10 例, また心房収縮期血流に関しては DCM 5 例と健常 6 例が検討の対象と

Table 1. Comparisons of early diastolic (R) and late diastolic (A) flow dynamics at the mitral orifice and in the left ventricle in DCM and in normal subjects

| Groups | R flow | | A flow | |
|---|-----------|-------------|-----------|------------|
| | Normal | DCM | Normal | DCM |
| No. of cases | 10 | 5 | 6 | 5 |
| Age (years) | 38±17 | 52±11 | 48±14 | 45±15 |
| Heart rate (/min) | 60±11 | 68±7 | 59±10 | 73±12 |
| Left ventricle | | | | |
| End-diastolic dimension (mm) | 49±3 | 71±11*** | 48±3 | 68±9*** |
| Fractional shortening (%) | 36±4 | 12±4*** | 37±5 | 12±4*** |
| Flow at the mitral orifice | | | | |
| Peak R velocity (cm/sec) | 59±19 | 72±14 | 51±15 | 53±20 |
| Peak A velocity (cm/sec) | 39±10 | 45±23 | 42±12 | 60±21 |
| A/R ratio | 0.7±0.4 | 0.7±0.5 | 0.9±0.4 | 1.3±0.7 |
| Flow in the left ventricle | | | | |
| Peak R velocity (cm/sec) | 49±13 | 54±16 | | |
| Width of R flow (mm) | 22±4 | 25±5 | | |
| Peak A velocity (cm/sec) | | | 29±12 | 39±18 |
| Width of A flow (mm) | | | 15±1 | 23±6 |
| Relation between mitral flow and flow in the left ventricle | | | | |
| Delay of R peak ^{a)} (sec) | 0.02±0.01 | 0.11±0.03** | | |
| Calculated R delay ^{b)} (sec) | 0.06±0.02 | 0.05±0.01 | | |
| Reduction of R velocity (%) | 14±12 | 27±10 | | |
| Delay of A peak ^{a)} (sec) | | | 0.01±0.01 | 0.06±0.04* |
| Calculated A delay ^{b)} (sec) | | | 0.09±0.02 | 0.07±0.04 |
| Reduction of A velocity (%) | | | 32±9 | 24±12 |

Mean±S.D.

* p>0.05; ** p<0.01; *** p<0.001 compared with the normal subjects.

a) Measured by phase analysis illustrated in Fig. 1; b) Calculated from the mean peak velocities at the mitral orifice and in the left ventricle.

なった。

カラー断層法により、健常例の左室急速充満血流は、まず僧帽弁口から左室心尖近くまで達する明るい赤の血流として表示され、その後速やかに流速を減じ消失した (Fig. 2)。一方、DCM では急速充満開始時には僧帽弁口付近に明るい赤色の塊をなし、その後、両側に青色を伴いつつ左室内を緩徐に心尖へ向かう血流が観察された (Fig. 3)。心房収縮期血流についても、DCM では左室内血流の時相的遅れが観察された。なお、血流の短軸方向の幅は、両時相とも DCM で健常より

やや広い傾向にあったが、有意差はなかった (Table 1)。

カラー M モード法により、健常では左室充満血流がほぼ垂直に表示され、弁口部と左室内で血流がほぼ同時に発生していることを示した (Fig. 4 左)。一方、DCM では、明るい赤で示される充満血流が右上がりに傾いて表示された。DCM の急速充満期では、この血流以外に、僧帽弁解放とほぼ同時に左室内に出現し、暗い赤で表示される流速の遅い血流が存在した (Fig. 4)。

パルス・ドップラー法では、DCM 全例に弁

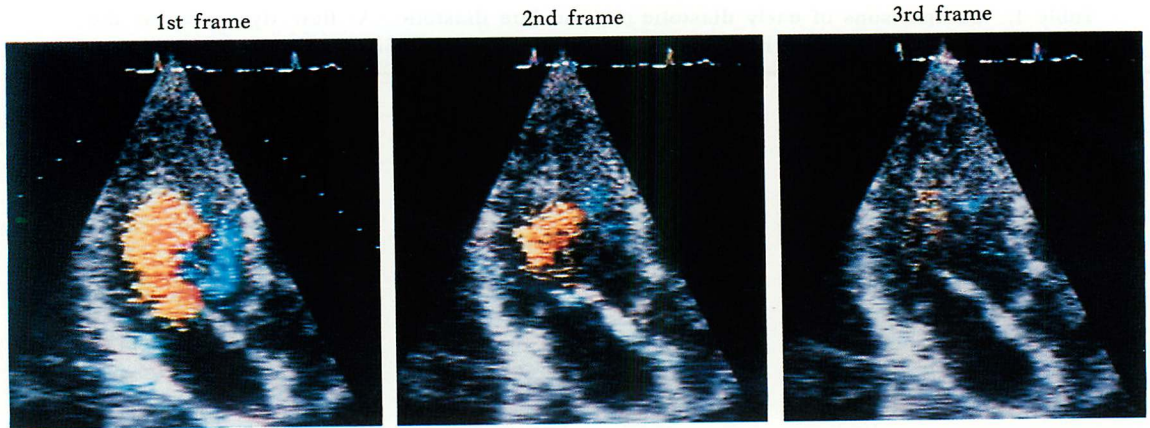


Fig. 2. Two-dimensional color flow images of left ventricular filling flow in a normal subject.

Three sequential stop-frame images in the apical long-axis view during the rapid filling phase are shown. The rate is 15 frames/sec.

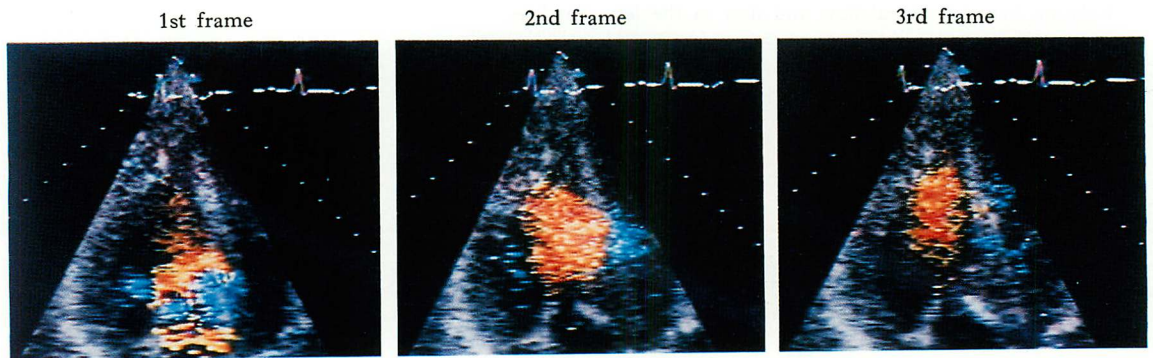


Fig. 3. Two-dimensional color flow images of left ventricular filling flow in a patient with dilated cardiomyopathy.

Three sequential stop-frame images in the apical long-axis view during the rapid filling phase are shown. The rate is 15 frames/sec.

下 3 cm の左室内における急速充満期血流の二峰化が観察された (Fig. 5)。急速充満期における弁口と弁下 3 cm 間の血流ピークの時間遅れは, DCM (0.08~0.15 秒) が健常 (0~0.04 秒) に比し有意に大であった。心房収縮期の血流ピークの時間遅れも, DCM (0.03~0.13 秒) で健常 (0~0.01 秒) より有意に大であった。一方, 弁口部と弁下 3 cm のピーク流速および両者の平均流速より予

想される血流時間遅れは, 両時相とも DCM と健常間に差を認めなかった。弁口と弁下 3 cm 間の血流減速率は, 両時相とも DCM で大となる傾向を示したが, 有意差はなかった。

考 接

一般に, 僧帽弁口部血流は左室拡張能の指標として, その有用性が強調されている⁸⁻⁹⁾。DCM

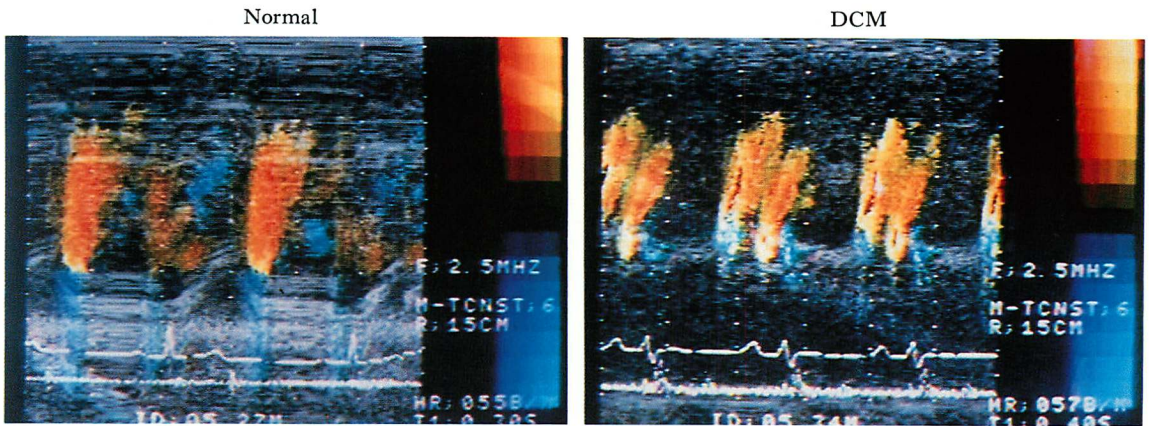


Fig. 4. M-mode color flow images of left ventricular filling flow in a normal subject (left) and in a patient with dilated cardiomyopathy (right).

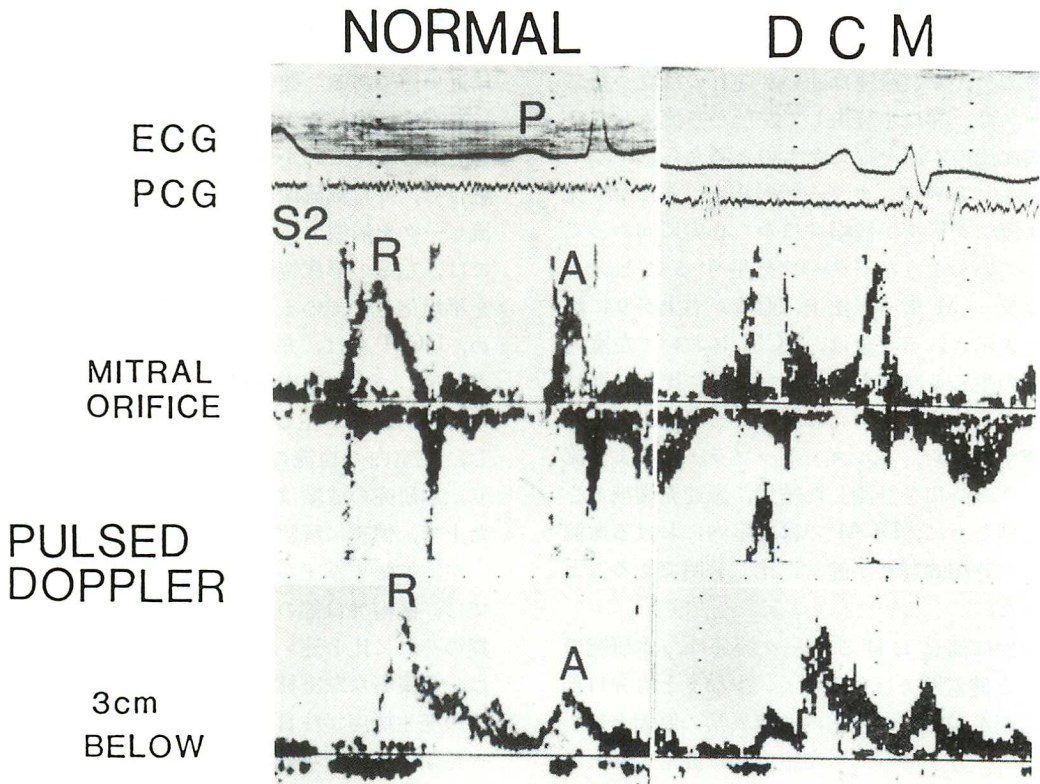


Fig. 5. Pulsed Doppler recordings at the mitral orifice (top) and 3 cm below it in the left ventricle (bottom) in a normal subject (left) and in a patient with dilated cardiomyopathy (right).

や広範囲心筋梗塞においても, しばしば左室拡張能の低下を認めるが, 左室拡張末期圧が極めて高い重症例において, 若年健常例類似の高速な急速充満期弁口部血流パターンをみると報告されている^{1,2)}. 一方, DCM において拡張期左室内血流は一般に低速であり, しばしば緩徐な回旋流を生じるという^{3,4)}. しかし, DCM における僧帽弁口部ないし左室内血流の動態, あるいはその機序については不明の点が少なくはなく, また弁口部血流と左室内血流との関係についても十分検討されていない.

本研究において, カラー M モード法とパルス・ドップラー法により, DCM の急速充満期血流が左室内で 2 つの成分に分離する現象が観察された. 低流速であるがほとんど時間遅れの無い第一のピークは, 左室吸引開始とともに左室内に生じた血流を, また流速は速いが遅れの目立つ第二のピークは, 弁口を経由して左房から流入してきた充満血流の本流を捉えたものと考えられた.

DCM において, カラー断層法上, あたかも塊状の血流シグナルが僧帽弁口から心尖に向かって浮遊していくようなパターンを呈すること, また, カラー M モード法上, 血流が右上がりに傾斜して表示される現象は, DCM において左室内で血流の生じる時相が, 僧帽弁口部に比し, 遅れることを意味すると考えられた. この点を定量的に確認するため, パルス・ドップラー法により流速ピークの時相を計測した結果, 急速充満期と心房収縮期ともに, DCM では左室内における血流ピークの時相的遅れが健常に比し著明であることが分かった.

僧帽弁口部におけるピーク流速は, 本研究の DCM と健常間では差がなく, 少なくとも弁口部の低流速が DCM の左室内血流異常の原因とはいえない. 一方, DCM の左室内径は健常より大であり, また有意差はなかったものの, 左室内における充満血流の幅と血流の減速率は DCM で大となる傾向があった. 加えて, DCM と類似の病態と考えられる広範囲心筋梗塞において, 充満血

流の左室内における減速の程度が大であるとの報告がある⁵⁾. すなわち, DCM における流入路拡大と血流幅の増大による減速, また, その際に生じる血流の剝離のためのエネルギー損失などが, この現象の一部を説明し得る¹⁰⁾. しかし, DCM における充満血流のピーク流速は, 弁下 3 cm においてもなお健常との間に差を認めず, 血流速度のみでは DCM における血流の著明な遅れを説明できない.

仮に左室充満血流が僧帽弁口部と弁下 3 cm における流速の算術平均値で移動したとすると, その移動に要する時間は, DCM と健常ともにほぼ同様であった. すなわち, 両群平均値をみると, 急速充満期では 0.05 ないし 0.06 秒, また心房収縮期では 0.08 ないし 0.09 秒となる (Table 1). これは, むしろ DCM の血流ピークの遅れ時間に近い値である. 健常では左室の充満開始とともに左室内に生じた圧力勾配が瞬時に左室内に血流を発生させ, これが弁口から流入してきた流れと融合し, 弁口部流速から予測されるより早期に血流ピークを形成すると考えられた. 一方, DCM では, 左室の形態特性の変化が拡張期の圧力勾配を平坦化させている可能性が考えられた. このため, DCM では, 弁口部を通過した血流そのものが減速しつつ左室内を流れるため, 相対的に血流の時相的遅れが生じるものと推察された. しかし, 左室内の血流の成立機序は極めて複雑であり, 本研究の成績は今後さらに基礎的検討を加えた上で, 慎重に解釈すべきであると考えられた.

左室拡張末期圧が高値を示す DCM 例の一部では, 僧帽弁口部の急速充満期血流速度が心房収縮期のそれに比し速いことが知られている^{1,2)}. これは一見良好な左室拡張能を示唆する所見であり, その発生機序が注目されている^{11,12)}. 本研究は, 一見類似する若年健常例と DCM の僧帽弁口部血流パターンが, 左室内に流入後はまったく異なる血流動態を呈することを示した. DCM における多彩な僧帽弁口部血流波形の意義を解明するためには, 今後, 弁口部のみならず左室内の血流

動態をも分析する必要があると考えられる。

要 約

拡張型心筋症 (DCM) における左室充満時の左室内血流動態を、カラーならびにパルス・ドプラー法を用いて検討した。対象は DCM 7 例と健常 10 例である。急速流入期と心房収縮期の左室充満血流を心尖部から観察し、カラー・ドプラー法による長軸断層像と M モード像、およびパルス・ドプラー法による僧帽弁口とその 3 cm 心尖側の流速パターンを記録した。

左室内における充満血流は、急速充満期では DCM 5 例と健常 10 例、心房収縮期では DCM 5 例と健常 6 例で十分観察可能であった。カラー断層法上、健常では左室充満開始とともに、弁口から左室にかけて長軸方向に長い血流シグナルを生じ、そのまま消失してゆくのに対し、DCM ではより円形に近いシグナルが、左室内を緩徐に心尖へ向かう様子が観察された。この左室内での血流移動の時相的遅れは、M モード法でも明瞭に観察された。パルス・ドプラー法上、急速流入期と心房収縮期ともに、弁口部血流速度は DCM と健常との間に差がなかったにもかかわらず、弁口と弁下 3 cm 間の血流ピークの時相的遅れは、DCM で健常よりも明らかに大であった。左室内における充満血流の幅や弁口部と弁下 3 cm での血流減速率は、DCM で大となる傾向を認めたものの、健常と有意差はなく、加えて、弁下 3 cm における流速の絶対値にも両群間で差がなかった。

DCM では、左室への血液充満に際し、左室内における血流ピークの時相適遅れが著明である。DCM におけるこの現象には、弁口部流速波形からは把握できない左室拡張特性の関与が考えられる。

本研究の一部は厚生省特定疾患特発性心筋症調査研究班研究費の補助により行われた。

文 献

- 1) 下 在福, 木下直和, 宮武邦夫, 岡本光師, 仲宗根出, 仁村泰治, 榊原 博: 断層エコー・ドプラー法による僧帽弁口血流の分析: うっ血型心筋症と広範囲心筋梗塞. 日超医講演論文集 **39**: 247-248, 1981
- 2) Tominaga T, Oki T, Asai M, Ishimoto T, Okushi H, Uchida T, Kawano T, Kawano K, Fukuda N, Mori H: Non-invasive assessment of left ventricular filling during atrial systole by pulsed Doppler echocardiography and apexcardiography. *Jpn J Med Ultrason* **13**: 315-323, 1986 (in Japanese)
- 3) 安田寿一, 工藤俊彦, 桜井信子, 阿久津光之, 三神大世, 坂本三哉: 拡張型心筋症の左室血流動態のドプラー断層による検討. 厚生省特定疾患特発性心筋症調査研究班昭和 59 年度研究報告書 1980, pp 293-297
- 4) 吉田 豊, 北畠 颯, 田内 潤, 石原謙司, 上松正朗, 堀 正二, 鎌田武信, 武田 裕, 井上通敏, 千原国宏: 心腔内二次元血流速度ベクトルマッピング法による左室腔内血流動態の解析. 日超医講演論文集 **51**: 239-240, 1987
- 5) 辻林 隆, 高元俊彦, 伊東春樹, 谷口興一: 左室充満血流動態による左室拡張能の評価. 日超医講演論文集 **49**: 837-838, 1986
- 6) Matsuo H, Kitabatake A, Asao M, Terao Y, Mishima M, Senda S, Shimazu T, Tanouchi J, Abe H: Noninvasive evaluation of diastolic properties of the left ventricle by pulsed Doppler flowmetry combined with real-time two-dimensional echocardiography. *J Cardiogr* **10**: 697-708, 1980 (in Japanese)
- 7) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Tanouchi J, Masuyama T, Abe H, Morita H, Senda S, Matsuo H: Transmittal 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
- 8) Rockey R, Kuo LC, Zoghbi WA, Limacher MC, Quinones MA: Determination of parameters of left ventricular diastolic filling with pulsed Doppler echocardiography: Comparison with cineangiography. *Circulation* **71**: 543-550, 1985
- 9) Spirito P, Maron BJ, Bonow RO: Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function: Comparative analysis of Doppler Echocardiographic and radionuclide angiographic techniques. *J Am Coll Cardiol* **7**: 518-526, 1986
- 10) 沖野 遙, 山口隆美: 心臓血管系の流体力学: 流体力学的基础. 沖野遙, 菅原基晃, 松尾裕英 編. 心臓血管系の力学と基礎計測. 講談社, 東京, 1980, pp

三神, 工藤, 橋本, ほか

156-186

- 11) Takenaka K, Dabestani A, Gardin JM, Russell D, Clark S, Allie A, Henry WL: Left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy: A pulsed Doppler echocardiographic study. *J Am Coll*

Cardiol 7: 1263-1271, 1986

- 12) Choong CY, Herrmann HC, Weyman AE, Fifer MA: Preload dependence of Doppler-derived indexes of left ventricular diastolic function in humans. *J Am Coll Cardiol* 10: 800-808, 1987