

超音波パルスドプラー法による肥大型心筋症の左室流入路および流出路血流動態の検討

Study on flow velocity patterns at the left ventricular inflow and outflow tracts in hypertrophic cardiomyopathy using pulsed Doppler echocardiography

竹村 晴光
大木 崇
村尾 明之
福田 信夫
浅井 幹夫
大島千寿子
沢田 誠三
仁木 敏晴
森 博愛

Harumitsu TAKEMURA
Takashi OKI
Akiyuki MURAO
Nobuo FUKUDA
Mikio ASAI
Chizuko OHSHIMA
Seizo SAWADA
Toshiharu NIKI
Hiroyoshi MORI

Summary

Blood flow velocity patterns at the left ventricular inflow (LVIT) and outflow (LVOT) tracts were noninvasively investigated using a combined system of the pulsed Doppler echocardiography and cross-sectional echocardiography in 25 patients with hypertrophic cardiomyopathy including 11 with obstruction (HOCM) and 14 without obstruction (HCM), and in 15 patients with hypertension complicated with left ventricular hypertrophy (HT).

Flow velocity patterns at the LVIT were characterized by the following results:

1) Deceleration time from the peak in velocity of diastolic rapid filling wave (D wave) to zero in velocity was significantly prolonged in HCM and HOCM (0.20 ± 0.053 sec) and in HT (0.17 ± 0.018 sec) probably because of diminished left ventricular compliance compared with normal subjects (0.09 ± 0.016 sec) ($p < 0.01$).

2) Deceleration time was correlated with diastolic descent rate (DDR) of the anterior mitral leaflet in HCM and HOCM ($r = -0.47$, $p < 0.05$).

3) D/A ratio (amplitude of D wave/amplitude of atrial contraction wave) was significantly de-

徳島大学医学部 第二内科
徳島市蔵本町 2-50 (〒770)

The Second Department of Internal Medicine, School of Medicine, University of Tokushima, Kuramotocho 2-50, Tokushima 770

Presented at the 20th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Nagoya, March 29-30, 1980
Received for publication August 11, 1980

creased in HCM and HOCM (1.43 ± 0.673), probably because of augmented atrial contraction compared with normal subjects (2.15 ± 0.395) ($p < 0.05$).

4) There was no correlation between D/A ratio and CE/CA ratio (amplitude between C point and E point / amplitude between C point and A point) of the anterior mitral leaflet.

5) Systolic bulging toward the transducer was detected in 10 of 11 patients with HOCM. This characteristic pattern was never observed in normal subjects, HCM and HT.

In HCM and HOCM, the flow velocity patterns at the LVOT showed two profiles: a) M-shaped pattern with two peaks in early and late systole, and with midsystolic interruption of an ejection flow, and b) monophasic pattern with a prominent peak velocity in early systole followed by very decreased flow velocity. These two patterns showed the marked differences compared with that in normal subjects, exhibiting monophasic pattern with a peak velocity in midsystole.

Key words

Hypertrophic cardiomyopathy Pulsed Doppler echocardiography Flow velocity pattern Left ventricular inflow tract Left ventricular outflow tract

はじめに

特発性肥大型心筋症は、心筋肥大を起こす原因不明の疾患で、本症における左室の収縮および拡張異常に関する報告は多い。超音波パルスドプラー法は、非観血的に心臓内血流動態を評価できるために、近年、本法を用いて種々の病態における心臓内血流動態について検討した研究が多くみられるようになった¹⁾。

今回、我々は超音波パルスドプラー装置と断層装置との複合システムを用い、特発性肥大型心筋症の左室流入路および流出路波形を検討し、本症の拡張期および収縮期血流動態について検討した。

対象および方法

対象は、臨床的諸検査により診断された 19~60 歳の肥大型心筋症 25 例(閉塞性 11 例, 非閉塞性 14 例)で、閉塞性および非閉塞性の各 1 例は心房細動を示し、他の例はすべて洞調律であった。なお、対照として健常者 15 例、左室肥大を伴う高血圧症 15 例を用いた (Table 1)。

血流計測に使用した装置は、方向指示型超音波パルスドプラー血流計 (ATL 製 500A: 搬送周波数 3 MHz, 繰り返し周波数 5.5 KHz) とセクター式電子走査型超音波断層診断装置 (東芝製

Table 1. Materials

Diagnosis	No. of cases
Hypertrophic cardiomyopathy	25
without obstruction	14
with obstruction	11
Hypertension with left ventricular hypertrophy	15
Normal	15

SSH-11A) の複合システムで、両装置の使用により血流計測部位の同定が可能である (Fig. 1)。

血流測定可能範囲は 0.5~17 cm で、深度を 12 cm に設定した場合の最大流速は 70.5 cm/sec まで計測が可能である。サンプリングボリュームは 2×4 mm の涙滴状型を使用した。両装置の 2 つの探触子はロッドおよびアームにより連結され、手もとのスイッチにより断層装置とドプラー装置との切り替えを自由に行うことができ、断層画像上にドプラービーム投入線を示し、かつその線上にサンプリング部位を示す dot を明示しうるように設定した。記録は Honeywell 製 strip chart recorder を用いて 50 mm/sec の速度で行った。

被検者は仰臥位あるいは左側臥位とし、ドプラービーム方向を左室流入路検索の場合には心尖部方向、流出路検索の場合には主として心基部方向

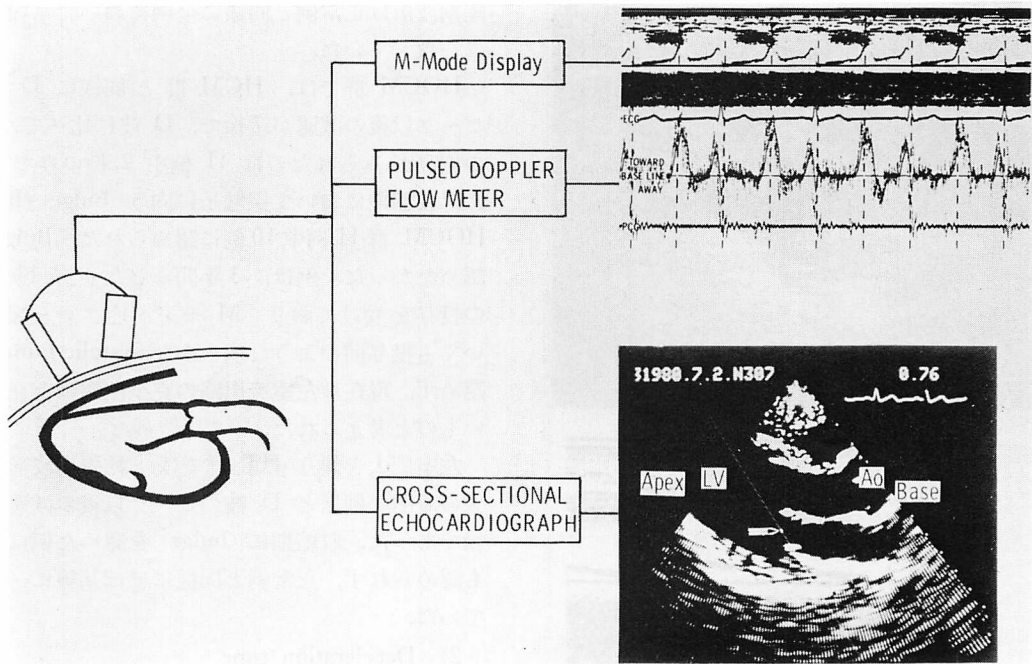


Fig. 1. Schematic diagram of our system which combined pulsed Doppler echocardiography with cross-sectional echocardiography.

からのアプローチを用い、2個の探触子を用いて、断層図、Aモード心エコー図、Mモード心エコー図およびドプラー音をモニターしながら、左室流入路および流出路の血流測定部位を定めた。

左室流入路における血流波形の名称²⁾および各計測項目を Fig. 2 に示す。基線 (base line) より上方が探触子に向かう血流 (toward), 下方が探触子から遠ざかる血流 (away) を示す。正常例では、心電図 QRS 波にほぼ一致した陰性の小さい振れ (ic) に続き、ほぼ基線に一致した systolic component (S) を認め、拡張期には早期の diastolic rapid filling (D) と終期の atrial contraction (A) からなる探触子に向う 2 峰性血流パターンを認めた。SV はサンプリング部位を示し、上段断層図上に矢印で示した部位に相当する。D 波のピークから zero レベルまでの時間 (deceleration time) を減速度として求め、 $\sqrt{R-R}$ で除して心拍数による補正を行った。

また、拡張期血流波形の D 波高を A 波高で除して D/A ratio を求め、各群間においてこれらの値を比較した。左室流出路における血流波形については、その定量的評価が困難なため、パターン変化、とくに駆出期における血流速度のピーク時相を中心として比較検討した。

結 果

1. 左室流入路血流波形

正常群、肥大型非閉塞性心筋症群 (HCM)、肥大型閉塞性心筋症群 (HOCM) および左室肥大の著明な高血圧症群 (HT) の左室流入路血流波形を Fig. 3 に示す。

1) 血流パターンの比較

HCM 群では拡張期波形が特徴的で、拡張早期波である D 波のピークからの減速が正常例に比べて緩徐であった。また、D 波に比べて心房収縮波 (A 波) の増高が 14 例中 4 例にみられた。収

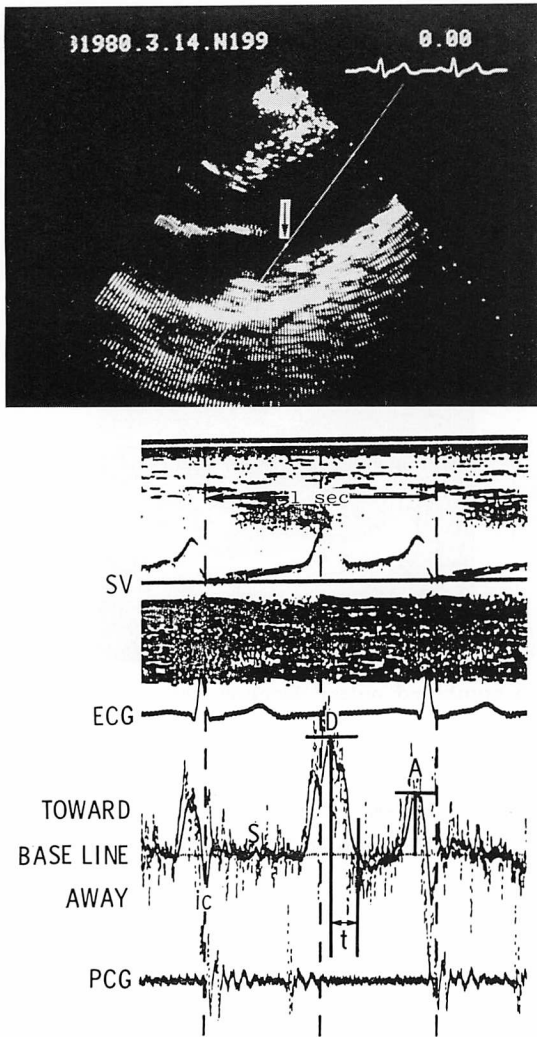


Fig. 2. Normal flow velocity pattern at the left ventricular inflow tract and the method of measurements.

Top: Projection of the Doppler beam and sampling position (arrow) on the cross-sectional echocardiogram.

Bottom: Pulsed Doppler flow velocity pattern.

SV=sampling volume; BASE LINE=zero flow level in velocity; TOWARD=flow toward the transducer; AWAY=flow away from the transducer; ic=isometric contraction deflection; S=systolic component; D=diastolic rapid filling wave; A=atrial contraction wave; t=deceleration time from the peak in velocity of diastolic rapid filling wave to zero in velocity.

縮期波形は正常例と同様に全例において基線にほぼ一致していた。

HOCM 群では, HCM 群と同様に D 波のピーク以後の減速が緩徐で, D 波に比べて A 波の増高がみられたのは 11 例中 2 例のみであった。収縮期において探触子に向う bulge (B) が HOCM 群 11 例中 10 例に認められた。Bulge を認めなかった 1 例は, 3 年間にわたり β blocker の投与を受けており, M モード心エコー図においても投与前のような明らかな systolic hump を認めず, 現在は左室流出路の完全閉塞は存在しないものと考えられた。

左室肥大を伴う HT 群では, 拡張期波形は肥大の著明な例ほど D 波のピーク以後の減速が緩徐であった。収縮期に bulge を認めた例は 1 例も認められず, 正常例と同様にほぼ基線に一致していた。

2) Deceleration time

正常群 (0.09 ± 0.016 sec) に比べて, HCM・HOCM 群 (0.20 ± 0.053 sec) では D 波のピークからの減速が緩徐で, 両者の平均値間には有意差 ($p < 0.01$) がみられた。HT 群 (0.17 ± 0.018 sec) では, 正常群に比べて有意 ($p < 0.01$) に減速を示したが, HCM・HOCM 群よりも減速度は軽度であった。

3) Deceleration time と僧帽弁前尖拡張早期後退速度 (DDR) との関係

HCM および HOCM 群における deceleration time と僧帽弁前尖 DDR との間には有意の負相関 ($r = -0.47, p < 0.05$) を認めた (Fig. 4)。

4) D/A ratio

正常群 (2.15 ± 0.395) と HCM・HOCM 群 (1.43 ± 0.673) の D/A ratio の平均値間には有意差 ($p < 0.05$) が認められた。HT 群では D/A ratio の平均値 1.29 ± 0.540 で, 前 2 群のそれに比べると低値であったが, その差は有意ではなかった。

5) D/A ratio と僧帽弁前尖 CE/CA ratio との関係

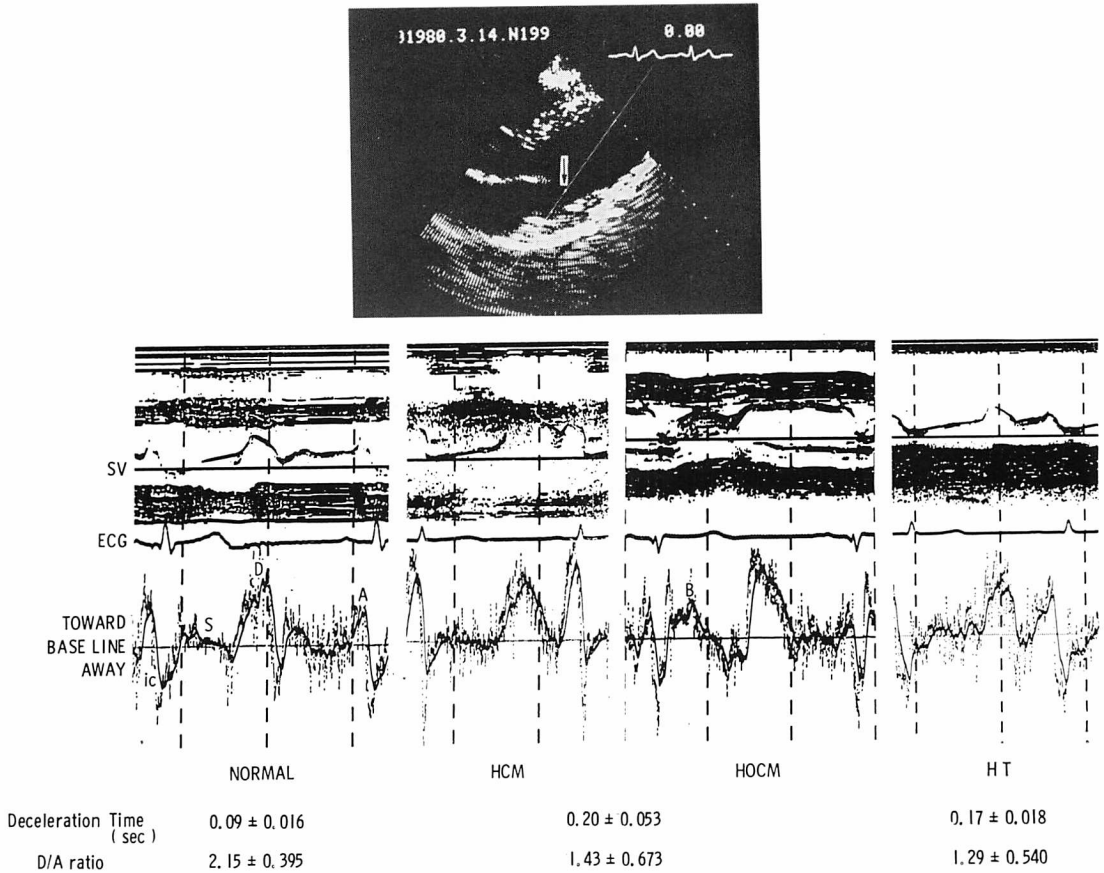


Fig. 3. Flow velocity patterns at the left ventricular inflow tract and the measured values.

Top: Projection of the Doppler beam and sampling position (arrow) on the cross-sectional echocardiogram.

Bottom: Pulsed Doppler flow velocity patterns.

SV=sampling volume; B=systolic bulge; HCM=hypertrophic cardiomyopathy without obstruction; HOCM=hypertrophic cardiomyopathy with obstruction; HT=hypertension with left ventricular hypertrophy; Means±standard deviations are shown at the bottom.

HCM・HOCM 群における D/A ratio と僧帽弁前尖 CE/CA ratio との間には有意な相関を認めなかった (Fig. 5).

2. 左室流出路血流波形

正常群, 肥大型心筋症群および HT 群の左室流出路血流波形を Fig. 6 に示す.

正常群の血流波形は大動脈基部から末梢における血流パターンと同様に, ほぼ全収縮期にわたる陽性波 (toward wave) を示し, その血流ピーク

は全収縮中期にみられる 1 峰性パターンであった.

肥大型心筋症においては, 駆出初期に著明な血流速度の増大を示し, 中期から後期に明らかな駆出の途絶あるいは減速を示すタイプ (25 例中 7 例) と, 収縮期に 2 峰性の陽性波を示し, 中期に逆流あるいは途絶を示す型 (25 例中 18 例) の 2 型に分類された. HCM 群では, 初期流速の著明な型 4 例, 2 峰性型 10 例で, HOCM 群では前者が 3

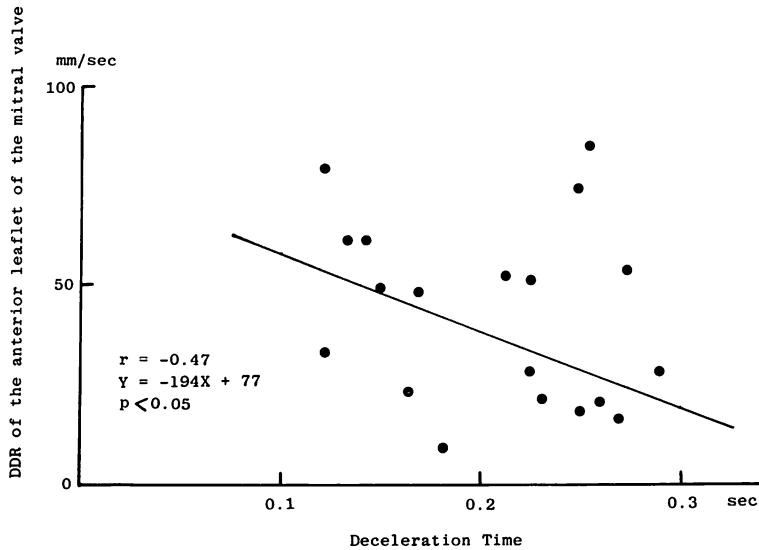


Fig. 4. Correlation between deceleration time and diastolic descent rate of the anterior leaflet of the mitral valve.

例, 後者が8例であった。

左室流出路血流パターンと大動脈弁エコー図の半閉鎖所見とはきわめて類似し, とくに血流波形で2峰型を示した18例においては, 大動脈弁収縮期半閉鎖所見は10例に認められた (Fig. 7)。

考 察

特発性肥大型心筋症は左室の拡張, および収縮異常を起こすことが知られており³⁾, その基本的病態は前者については diastolic compliance failure, 後者については systolic pump failure であるとみなすことができる。

拡張期異常については, 僧帽弁前尖エコーのパターンが本症における左室流入動態をよく反映し, 大木・沢田ら^{4,5)}はとくに拡張早期後退速度 (DDR), E-F 間の notch, F 点の位置, A 波高および B-B' step formation の各指標が重要であることを指摘している。しかしながら, これらはいずれも僧帽弁前尖の動きをとらえているもので, 左心系房室間血流動態を直接的に反映しているとはいえない。

最近, 超音波ドプラー法が臨床面に応用され, 心臓内血流動態を直接観察することが可能となった。松尾らは肥大型心筋症において僧帽弁開放シグナルから心尖拍動図のO点までの時間の延長⁶⁾, さらにパルスドプラー法を用いて拡張早期の血流速度の減速率の低下, および前収縮期ピーク速度と拡張早期ピーク速度の比の増大を認め⁷⁾, いずれも本症の拡張期左室コンプライアンスの低下を反映することを報告している。

本研究でも, 肥大型心筋症において deceleration time の著明な延長, D/A ratio の低下を認め, 僧帽弁前尖の DDR とパルスドプラー法の deceleration time 間に有意な負相関を認め, DDR が本症の左室流入動態を評価する上に有用なことを示唆する所見として注目される。しかし, D/A ratio と僧帽弁前尖の CE/CA ratio との間に有意な相関を認めえなかったことは, M モード法におけるビーム方向やパルスドプラー法による sampling 部位の変化によりそれぞれのパターンが変化しやすく, 心房収縮波の著明な症例以外についての検討は, かえって病態把握に関し

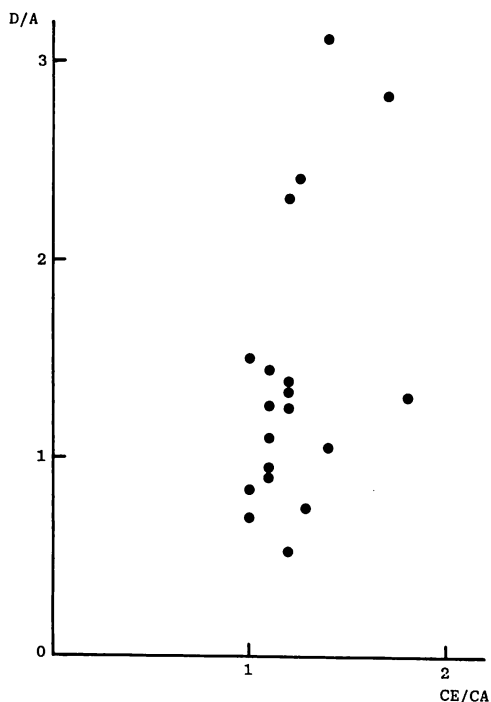


Fig. 5. Correlation between D/A ratio of flow velocity pattern and CE/CA ratio of the anterior leaflet of the mitral valve.

CE and CA=distance between C point and either E or A point.

て混乱を招くおそれがあることを示唆している。

以上のように、肥大型心筋症にみられる deceleration time の著明な延長および D/A ratio の低下は、本症の左室拡張異常が房室間血流の急速流入時における障害にあることを示唆している。しかしながら、肥大型心筋症におけるこれらの両指標の平均値と肥大を伴った高血圧症のそれらとの間に有意差を認めなかったことから、これらの所見は肥大型心筋症に特異的ではなく、心筋肥大による左室コンプライアンス低下によるものと思われた⁵⁾。

本症の左室流入路血流パターンにおいて、収縮期に探触子に向う特徴的な bulge が HOCM 群のほぼ全例に認められた。この bulge は正常群、HCM 群および HT 群にはまったくみられず、

HOCM 群に特徴的な所見であると思われた。Kalmanson ら⁸⁾は、頻脈時には収縮期に bulge が出現することがあることを報告しているが、Fig. 8 に示すように HOCM 群の bulge とはパターンが明らかに異なっており、また bulge が出現した HOCM 群ではとくに問題となるような頻脈を認めていない。

この bulge の発生機序としてはつぎの2説が考えられる。

1) 収縮期に生じた心尖部に向う異常血流による説：一般に HOCM では左室中央部あるいは流出路に狭窄を生じる。したがって、狭窄部位から心尖部側の左室内腔に異常血流を生じる可能性があり、この血流をとらえている。

2) 肥厚した左室筋あるいは乳頭筋などの構造物に起因する説：M モード法における systolic hump と類似し、左室内構造物の動きをとらえている。

通常、パルスドプラー法による心臓内血流パターンの検討のさいには、M モード法、A モード法、断層法を併用し、かつ、ドプラー音をモニターしながら実施しており、ビームがとらえているものが構造物であるか血流であるかの区別は比較的容易である。したがって、HOCM 群にみられる収縮期 bulge の発生機序としては、1) の左室内異常血流の存在が強く示唆される。これを証明するには左室流入路から心尖部にかけてのフローマッピングを行えばよいが、技術的制約のため困難な場合が多い。

本症の左室流出路血流波形としては、収縮期に2峰性陽性波を示すパターンと、駆出初期に著明な血流速度の増大を示し、中期から後期に明らかな駆出の途絶ないし減速を示すパターンの2型がある。正常群および HT 群の左室流出路血流波形は、収縮中期にピークを持つ1峰性パターンであるため、上記の2つのパターンは肥大型心筋症の駆出異常を特徴的に反映しているものと思われる。大動脈弓部^{9,10)}あるいは総頸動脈^{11,12)}における血流波形分析から、今回の我々の成績とほぼ同

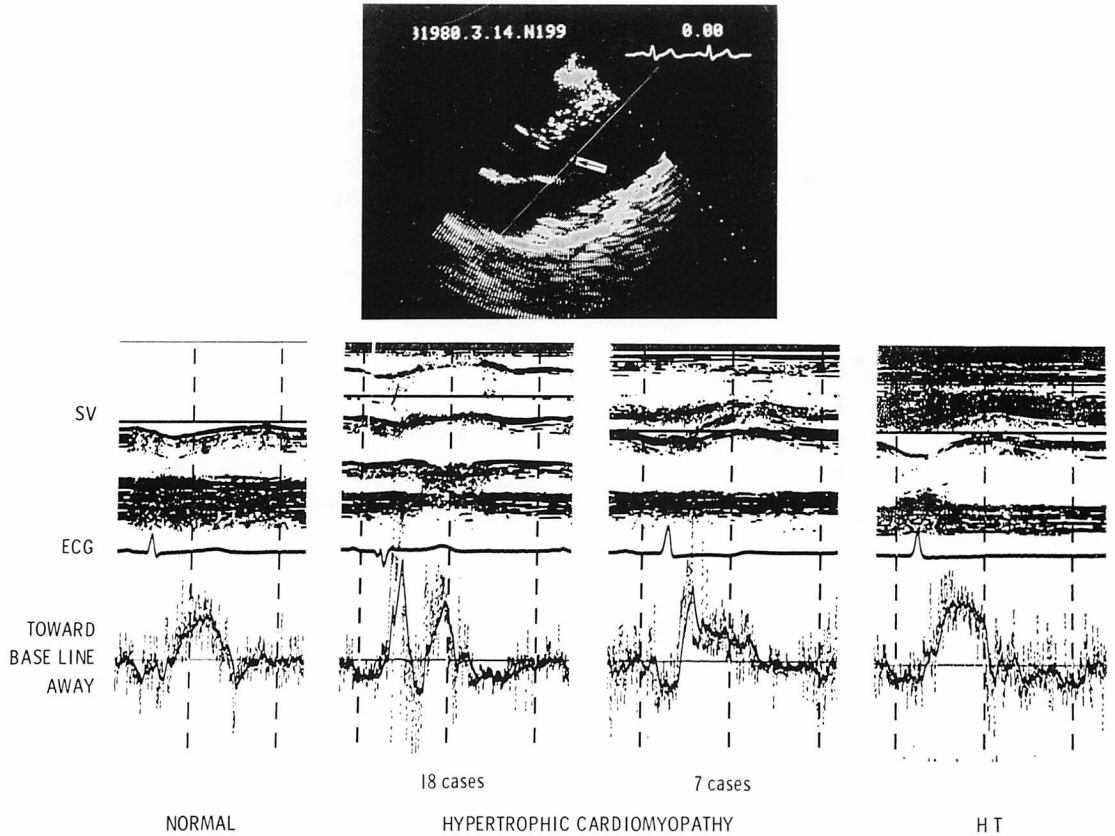


Fig. 6. Flow velocity patterns at the left ventricular outflow tract in hypertrophic cardiomyopathy, HT and normal subject.

Top: Projection of the Doppler beam and sampling position (arrow) on the cross-sectional echocardiogram.

Bottom: Pulsed Doppler flow velocity patterns.

SV=sampling volume; HT=hypertension with left ventricular hypertrophy.

様のパターンを認めた報告もあり、これらの所見は本症の駆出異常を示唆するものである。

大動脈弁の M モード心エコー図においても、パルスドプラー法と同様の収縮期半閉鎖所見をよくみるが、右冠尖、左冠尖および無冠尖のすべてを同時記録することは困難な場合が多く、したがって、本症の駆出異常を証明するには直接的なパルスドプラー法がより有利であると思われる。

以上、肥大型心筋症における左室流入路および流出路の血流波形について報告した。超音波パル

スドプラー法は心臓内の血流動態を直接的に把握できる利点があり、今後さらに臨床面への応用が期待される。

要 約

パルスドプラー装置と心断層エコー装置との複合システムを用い、肥大型心筋症 25 例(非閉塞性 14 例, 閉塞性 11 例), 正常 15 例および左室肥大を伴う高血圧症 15 例の左室流入路 および 流出路血流波形について比較検討し, 下記の成績を得た。

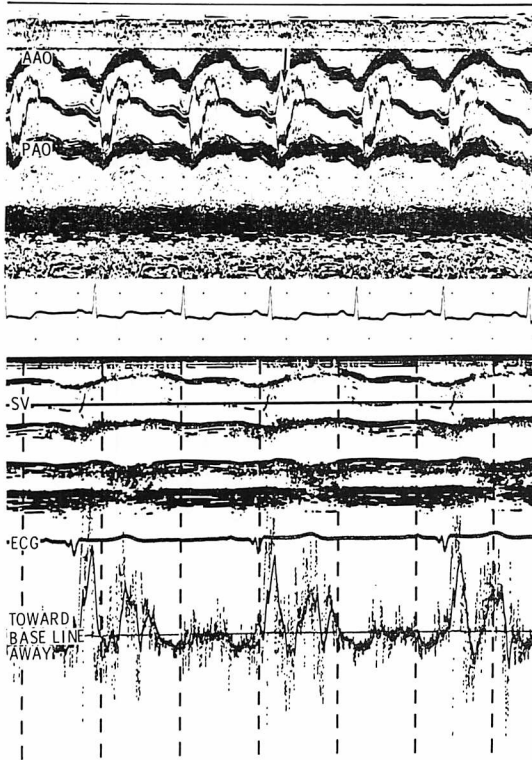


Fig. 7. Flow velocity pattern at the left ventricular outflow tract and aortic valve echocardiogram in HOCM.

Top: M-mode aortic valve echocardiogram. The aortic valve shows systolic semi-closure (arrow).

Bottom: Flow velocity pattern at the left ventricular outflow tract showing a M-shaped pattern with two peaks in early and late systole.

1) 左室流入路の血流波形において、拡張早期波 (D 波) のピークから zero レベルまでの deceleration time は、正常群 (0.09 ± 0.016 sec) に比べて HCM・HOCM 群 (0.20 ± 0.053 sec) および HT 群 (0.17 ± 0.018 sec) では有意に延長しており、これは左室コンプライアンスの低下によると考えられた。

2) HCM・HOCM 群における左室流入路血流波形において、deceleration time と僧帽弁前尖後退速度 (DDR) との間には有意の負相関を認

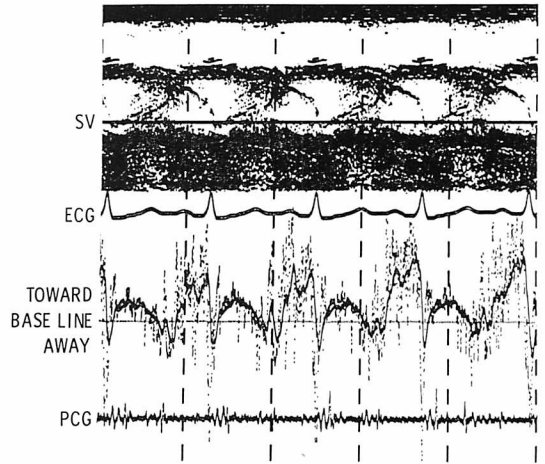


Fig. 8. Flow velocity pattern at the left ventricular inflow tract in normal subject with sinus tachycardia.

SV=sampling volume.

めた ($r = -0.47, p < 0.05$).

3) 左室流入路血流波形における D 波と心房収縮波 (A 波) の比 (D/A ratio) は、正常群 (2.15 ± 0.395) に比べて HCM・HOCM 群 (1.43 ± 0.673) では明らかに低く ($p < 0.05$), その原因としては、左室コンプライアンスの低下に基づく心房収縮の増大によると考えられた。また、D/A ratio と僧帽弁前尖の CE/CA ratio との間には相関を認めなかった。

4) HOCM 群の左室流入路血流波形において、11 例中 10 例に探触子に向う収縮期 bulge を認めた。この所見は HOCM に特徴的で、正常群、HCM 群および HT 群には認めなかった。その発生機序としては、収縮期に心尖部に向う異常血流に起因するものと考えられた。

5) HCM・HOCM 群の左室流出路血流波形としては、a) 収縮期の早期および終期に各 1 峰のピークを持ち、中期途絶ないしは逆流を示す 2 峰性パターン、および b) 駆出初期に著明な流速の増大を示し、中期以後に著明に減速するパターンの 2 型を認めた。正常群および HT 群の

竹村, 大木, 村尾, ほか

左室流出路血流パターンは, 収縮中期にピークを持つ1峰性パターンであるため, 上記のHCM・HOCM群にみられた左室流出路血流波形は本症に特徴的であると考えられた。

文 献

- 1) Baker DW, Rubenstein SA, Lorch GS: Doppler echocardiography. Use of graphical display system. *Circulation* **56**: 576-585, 1977
- 2) Kalmanson D, Colette Veyrat, Bouchareine F, Degroote A: Non-invasive recording of mitral valve flow velocity patterns using pulsed Doppler echocardiography. Application to diagnosis and evaluation of mitral valve disease. *Br Heart J* **39**: 517-528, 1971
- 3) 若林 章, 広瀬邦彦, 河合忠一: 血行動態. 内科シリーズ No. 32. 特発性心筋症のすべて. 南江堂, 東京, 1978, p 286-297
- 4) 沢田誠三, 大木 崇, 松久茂久雄, 近藤千秋, 橋本恵美子, 谷口哲三, 仁木敏晴, 森 博愛: 肥大型心筋症の僧帽弁前尖エコー. *日超医講演論文集* **33**: 193-194, 1978
- 5) 森 博愛, 大木 崇: 心エコー図診断の実際. 医学出版社, 東京, 1978, p 181-191
- 6) 松尾裕英, 浜中康彦, 高橋良夫, 松本正幸, 宮武邦夫, 浅生雅人, 仁村泰治: 特発性心筋症の心時相についての検討. *J Cardiography* **4**: 425-434, 1974
- 7) 松尾裕英, 北畠 颯, 林 亨, 浅生雅人, 寺尾祐輔, 三嶋正芳, 千田彰一, 森田久樹, 阿部 裕: パルス・ドプラ法による肥大型心筋症左室流入血流パターンに関する検討. *日超医講演論文集* **32**: 303-304, 1977
- 8) Kalmanson D, Bernier A, Colette Veyrat, Witchitz S, Savier CH, Chiche P: Normal pattern and physiological significance of mitral flow velocity recorded using transseptal Doppler ultrasound catheterization. *Br Heart J* **37**: 249-256, 1975
- 9) 木下直和, 仁村泰治, 宮武邦夫, 永田正毅, 榑原博, 林 亨, 浅生雅人, 寺尾祐輔, 松尾裕英: 肥大型心筋症における大動脈弓のパルス・ドプラ法による血流波形とその意義について. *J Cardiography* **8**: 325-332, 1978
- 10) Boughner DR, Schuld RL, Persaud JA: Hypertrophic obstructive cardiomyopathy. Assessment by echocardiographic and Doppler ultrasound techniques. *Br Heart J* **37**: 917-923, 1975
- 11) 仁村泰治, 榑原 博, 松尾裕英, 林 亨, 永田正毅, 松本正幸, 宮武邦夫, 佐藤健司, 阿部 裕: 肥大型心筋症にみられる総頸動脈の異常血流パターンについて. *心臓* **6**: 1434-1442, 1974
- 12) Joyner CR, Harrison FS, Gruber JW: Diagnosis of hypertrophic subaortic stenosis with a Doppler velocity flow detector. *Ann Int Med* **74**: 692-696, 1971