

閉塞性肥大型心筋症の収縮期左室内圧および流出路圧較差の非観血的評価

Pulsed Doppler evaluation of left ventricular pressure and pressure difference in hypertrophic obstructive cardiomyopathy

山本 厚子
田中 元直
佐藤ノリ子
大川井宏明
十河 寛
仁田 新一
仁田 桂子
片平 美明

Atsuko YAMAMOTO
Motonao TANAKA
Noriko SATO
Hiroaki OKAWAI
Yutaka SOGO
Shinichi NITTA
Keiko NITTA
Yoshiaki KATAHIRA

Summary

To assess the patho-physiological severity of hypertrophic obstructive cardiomyopathy (HOCM), the systolic pressure differences caused by the functional stenosis across the outflow tract of the left ventricle must be evaluated. The present study explored and proposed a non-invasive method predicting the pressure difference across the intraventricular obstruction and the pressure proximal to the obstruction by using pulsed Doppler technique, guided by simultaneous two-dimensional echocardiography.

The ultrasonic equipment recently developed in our laboratory was used. It consisted of a 3.0 MHz pulsed ultrasonic transducer with a 4.4 KHz repetition rate and a mechanical sector scanner equipped with a single concave transducer 1.3 cm in diameter having a 70 mm radius of curvature. The sample volume was approximately $3 \times 3 \times 3$ mm. Doppler signals obtained were subjected to a real-time analyzer with a fast Fourier transformer, and were simultaneously recorded on a thermal recorder as a spectral display together with an M-mode echocardiogram, lead II ECG, phonocardiogram and mechanocardiogram.

Ten adults with HOCM were the subjects in the present study. For six of the 10, good pressure tracings were obtained. The pressure differences estimated by the maximum velocity as measured from the Doppler signals at the left ventricular (LV) outflow tract and the pressure gradients as obtained by cardiac catheterization were subjected to correlative analysis.

東北大学抗酸菌病研究所 電子医学部門
仙台市星陵町4-1 (〒980)

Department of Medical Engineering and Cardiology,
the Research Institute for Chest Diseases and Cancer,
Tohoku University, Seiryomachi 4-1, Sendai 980

Received for publication April 24, 1985, accepted May 7, 1985 (Ref. No. 29-18)

Prior to investigating the pressure differences, the site and mechanism of the outflow obstruction in HOCM were studied in two cases using two-dimensional echocardiography in the longitudinal- and short-axis views. The obstruction was produced during systole by posteroinferior displacement of the hypertrophied interventricular septum and by abnormal anterosuperior movement of the hypertrophied, and elongated anterior or posterior papillary muscles. Thus, a concentric and centripetal narrowing was formed at the midportion of the outflow tract. In some cases, a bottle-shaped chamber was clearly observed in the apical area.

Ultrasonic Doppler examinations were performed by the apical approach. Flow velocity patterns in the apical region or proximal to the obstruction had two peaks with a narrow spectrum in systole. At the distal portion or downstream the obstruction had a pattern with a narrow spectrum and a sharp single peak. To measure the maximum flow velocity, Doppler velocity patterns recorded immediately distal to the obstruction were used. However, for the jet-flow thus recorded, there were some questions as to whether the simplified Bernoulli equation (pressure difference: $\Delta P = 4 \times V^2$ ($V =$ maximum velocity) proposed by Hatle et al could be applied, because the chamber configurations upstream the obstruction change dynamically during systole.

Therefore, the correlation between the maximum flow velocity recorded at the area distal to the obstruction and the pressure difference across the stenosis measured by cardiac catheterization was explored. Very close correlation between these values, with a correlation coefficient (r) of 0.99, was obtained as follows:

$$\Delta P \text{ (mmHg)} = 32.5 \times V \text{ (m/sec)}^2$$

By using this equation and peripheral systolic blood pressure (PBP) at rest by the usual brachial manometry, the upstream pressure (LVSP) could be estimated by

$$\text{LVSP (mmHg)} = 32.5 \times V \text{ (m/sec)}^2 + \text{PBP (mmHg)}$$

In general, LVSP thus calculated were in good agreement with those measured directly by catheterization. These results indicate that pulsed Doppler technique is useful in estimating the pressure difference across the intraventricular obstruction and the pressure upstream the obstruction, provided the evaluation of the maximum velocity is carefully performed. Therefore, the methods presented here are promising for assessments and serial management of patients with HOCM.

Key words

Hemodynamics Cardiomyopathy Pulsed Doppler echocardiography Bernoulli's equation
Pressure difference

はじめに

閉塞性肥大型心筋症 (hypertrophic obstructive cardiomyopathy: HOCM) の診断には, 左室肥大とその形状, 特に非対称性中隔肥大 (asymmetric septal hypertrophy: ASH)¹⁻³⁾, 僧帽弁前尖の収縮期前方運動 (systolic anterior motion: SAM), 大動脈弁の収縮期ノッチと弁細動を伴う早期閉鎖^{4,5)}, 乳頭筋の肥大と異常運動⁶⁻⁸⁾など, 形態的および動態的異常を心エコー図により検出することが重要である. また本症の重症度判定には, 収縮期に左室流出路に生ずる機能的狭窄(圧較

差)の有無, およびその程度を量的に評価することが不可欠である. そのため, これまでは心カテーテル法による心室内圧較差の測定が行われてきている^{9-13,16)}. しかしながら, カテーテルを左室内狭窄上流部に挿入する際, 期外収縮が頻発したり, カテーテル先端が trap されることなどによって測定誤差が大きくなったり, またカテーテル先端を狭窄部上流に挿入すること自体, 容易でないことがある. このような診断上の問題点を除去するとともに, 本症の病態上からも, 非侵襲的, 非観血的, かつ安全に心内狭窄度を判断できる方法の確立が期待されている.

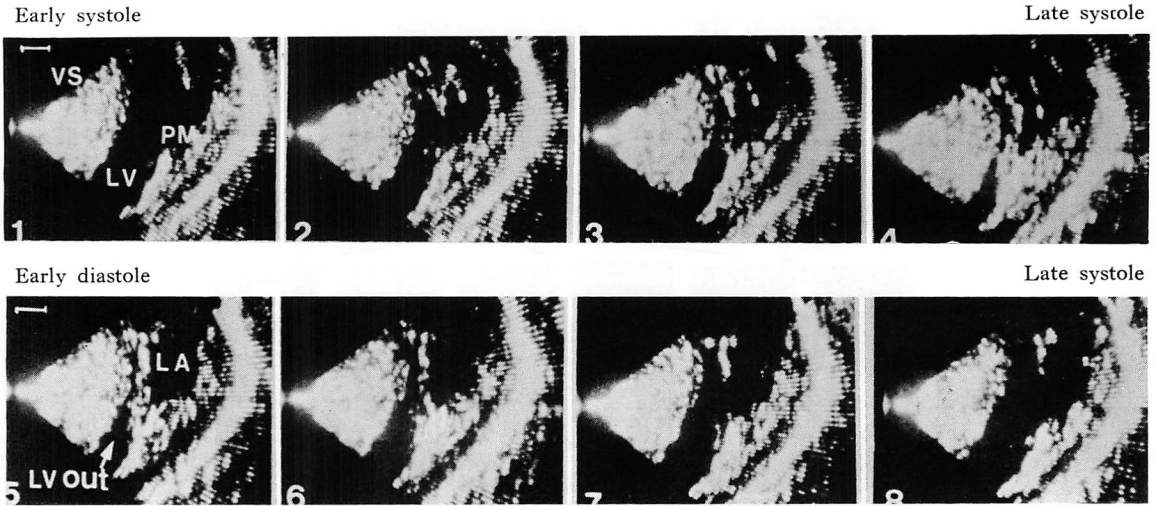


Fig. 1. Two-dimensional echocardiograms by a parasternal long-axis approach in a patient with HOCM.

The upper row represents the recordings in systole; the lower one, in diastole. During the systolic phase, the left ventricle is divided by hypertrophied papillary muscles into two compartments; one, the inflow tract; the other, the outflow tract involving the apical area.

LA=left atrium; LV=left ventricle; LV OUT=left ventricular outflow tract; PM=papillary muscle; VS=ventricular septum.

この点に関し、我々は心エコー図法とパルスドプラー法との併用により、HOCMの左室流出路部における収縮期最高血流速度から狭窄部圧較差、および狭窄上流部圧を非観血的に推定する方法を検討し、その可能性を証明し得たので報告する。

方法および対象

1. 装置

使用した機器は、アロカ社との共同開発による直記式ポリグラフ型超音波パルスドプラー装置である。これは機械式高速走査を基礎とし、エコー法およびドプラー法で使用できるものであり、超音波周波数は3 MHz、パルス繰り返し周波数は4.4 KHzである。パルスドプラー法による心内血流速度信号の検出範囲は約 $3 \times 3 \times 3$ mm、周波数分析はFFT方式とし、心音図(PCG)、心電図(ECG)、心エコー図(UCG)を、サーマルレコーダーを用いて多チャンネル方式で同時記録した。

2. 対象および測定方法

HOCM 10例を対象とし、全症例に心カテーテル検査を施行したが、そのうち、心内圧と心内血流速度との関係は、左室内狭窄部上流にカテーテルを挿入し得、かつ良好な圧記録が可能であった6例について検討した。本症では左室内狭窄部の上、下流で同時に圧測定をすることは困難であるため、狭窄上流部からの引き抜き時の圧曲線から圧較差を求めた。また狭窄部をカテーテルが通っている状態では血流速度が大きく変化するため、カテーテル検査と超音波ドプラー検査とを同時に実施することは難しく、心カテーテル検査の前7日以内に超音波ドプラー血流検査を行った。

超音波ドプラー法による心内血流の測定は仰臥位で実施した。心尖部アプローチにより、流出路および狭窄部のほぼ中央部を通る左室長軸断層図を描かせ、左室内構造および血流方向と超音波ビーム方向とを確認したのち、ドプラー信号を得るために sample position を狭窄部上流の心室腔内

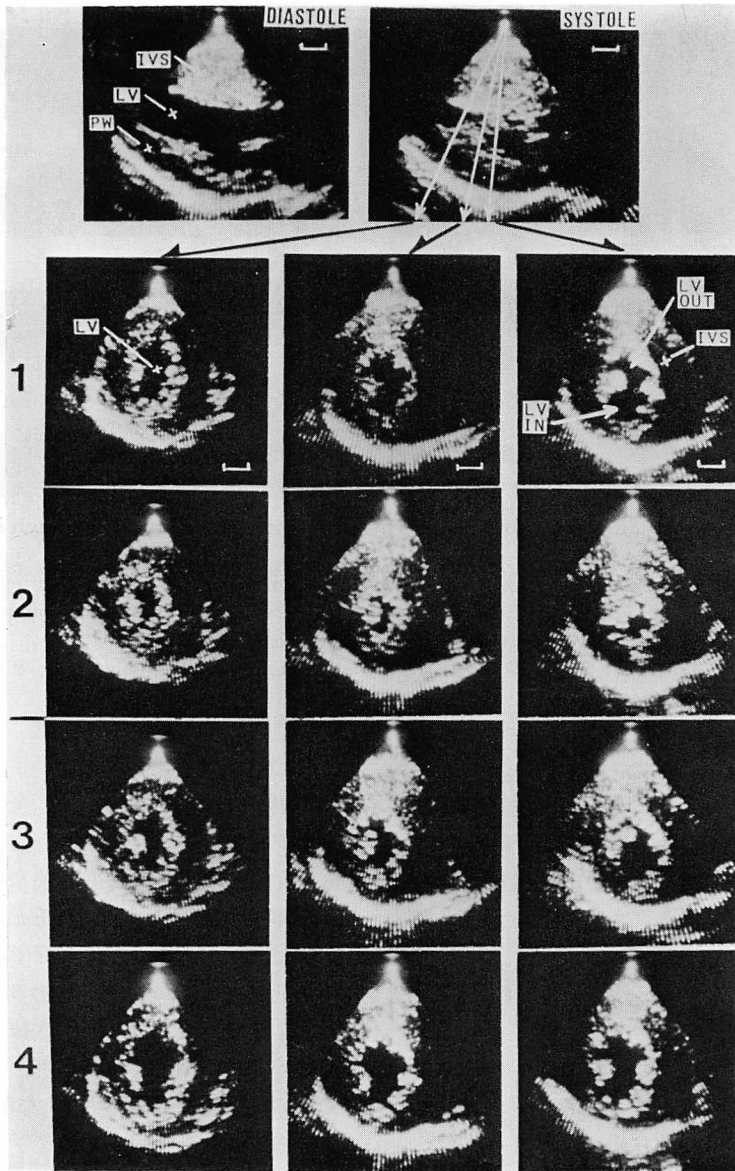


Fig. 2. Two-dimensional echocardiograms illustrating the correlation between the long-axis (above) and short-axis (below) views in a case of HOCM.

The left column shows the short-axis sections at the level of the apex. The right one shows the sections at the most stenotic portion. The middle one shows those between these two sections. Note that concentric narrowing of the outflow tract occurs during systole along the outflow tract.

LV IN=left ventricular inflow tract; LV OUT=left ventricular outflow tract; IVS=interventricular septum; PW=posterior wall of the left ventricle.

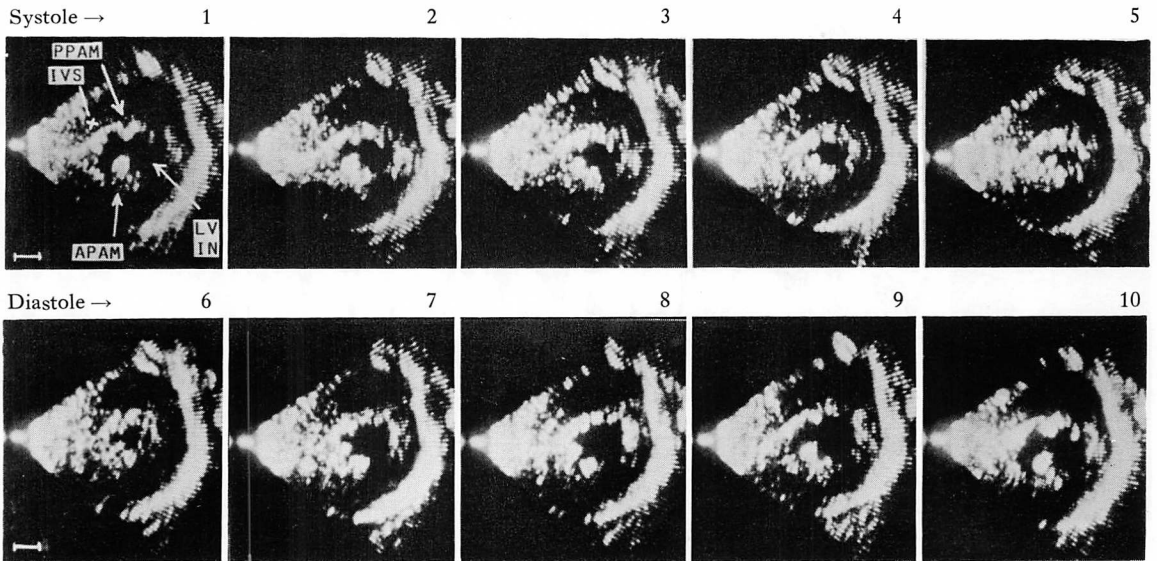


Fig. 3. Two-dimensional echocardiograms of the left ventricle in the short-axis view at the level of the papillary muscles.

A concentric narrowing of the outflow tract is observed during systole, showing no significant shifts of the cavity either anteroposteriorly or laterally.

APAM=anterior papillary muscle; PPAM=posterior papillary muscle; LV IN=left ventricular inflow tract; IVS=interventricular septum.

および下流の流出路部に設定し、十数ヵ所で信号を記録した。

心カテーテル法による圧較差、およびパルスドプラー法により得られた最大血流速度値は、5心拍について測定し、その平均値として求めた。血流速度値は、表示されたスペクトルの最高値を読みとった。

本研究では左室形態とその変化を解析するために、血流信号を得る目的で設定した心尖部アプローチ心断層走査面とほぼ一致する面上で、走査の位置を第IV肋間胸骨縁付近に移動させて左室長軸断層図を描かせ、16mmシネで記録し解析した。

結 果

1. 左室内狭窄の動態

本症における左室流出路の機能的狭窄に伴う血流性状の変化を検討するためには、その基礎とな

る左室形態変化と、狭窄形状を明らかにしておくことが必要である。本研究で対象とした症例の形態変化は、全例、ほぼ類似した所見であった。すなわち、Fig. 1に示すごとく、左室長軸断面でASHあるいは対称性肥大を認めるが、特に心室中隔の心基部ないし中央部附近の肥大が著明であった。全例に乳頭筋の異常を認め、前乳頭筋の肥大あるいは延長がみられた。収縮期における左室長軸断面上の特徴は、肥大した心基部中隔の後下方への移動と、自由壁中央部附近の前方への動き、および肥大した乳頭筋が前上方へ向い、流出路に侵入するような動きであった。そのため長軸断面上、左室腔は流入路部と、心尖部を含む流出路部とに二分されたようになり、心尖部を底とし、先端を流出路に向けた水滴状、ないし紡錘状の嚢状腔が形成された。

これを短軸断面上で観察すると、狭窄上流部、すなわち心尖近傍の断面上では(Fig. 2左列)、内

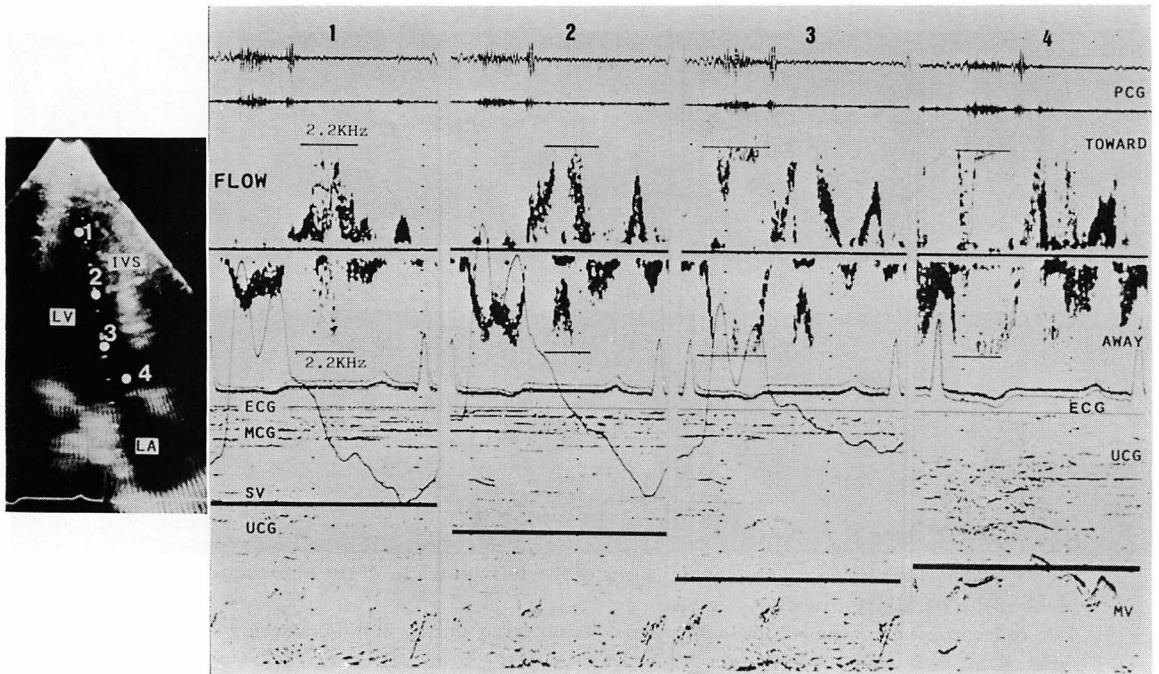


Fig. 4. Doppler flow patterns recorded at various sites indicated in the two-dimensional echogram.

Sampling sites numbered in the two-dimensional echocardiogram correspond to each Doppler flow pattern.

腔は収縮期を通じて求心性、同心円状に縮小し、収縮末期でも流出路(狭窄上流部)が残った。これに対し、狭窄部(Fig. 2 右列)では、狭窄上流部と同様な求心性の縮小が認められた。Fig. 3 にみられるように、流入路部と流出路部とで縮小の様相に差がみられ、収縮の進行とともに、肥大した中隔の後方への移動と、後方から前方へ向かう前後乳頭筋の接近によって、流出路腔は扁平状になりつつ、ほぼ求心性に狭くなった。狭窄口は不正形であるが、腔の前後あるいは左右への移動は極めて少なかった。前乳頭筋の後方にみられる流入路腔は、後壁の前方への動きも加わって、やはり同心円状に縮小するが、収縮極期でもある程度の空間が残されていた。

2. 狭窄部血流速度波形および圧波形

狭窄状態を生じた流出路部における流れの状況

を、流出路中心軸上の数箇所 sample volume を設定し、血流速度 pattern を描かせ、観察した(Fig. 4)。その結果、狭窄上流部では収縮中期に流速を減ずる二峰性 pattern が示され、狭窄口に近いほど収縮中期の速度の低下は少なかった。狭窄部下流の流出路部では著明な折り返しを示す一峰性 pattern であり、そのスペクトルの拡がり比較的狭く、層流に近い流れと判断された。一方、圧波形はこの逆で、狭窄部上流では一峰性の鋭い波形を示し、下流では収縮中期に、一時、圧の低下がみられる二峰性 pattern を示した。

3. 収縮相における圧較差と流速値との関連

1) 狭窄上流部からの良好な引き抜き圧波形の得られた6症例のうち、2症例(Case 1, Case 3)について、R-R 間隔のほぼ等しい心拍を用い、狭窄上流部の圧波形と狭窄直後の流出路部の圧波形

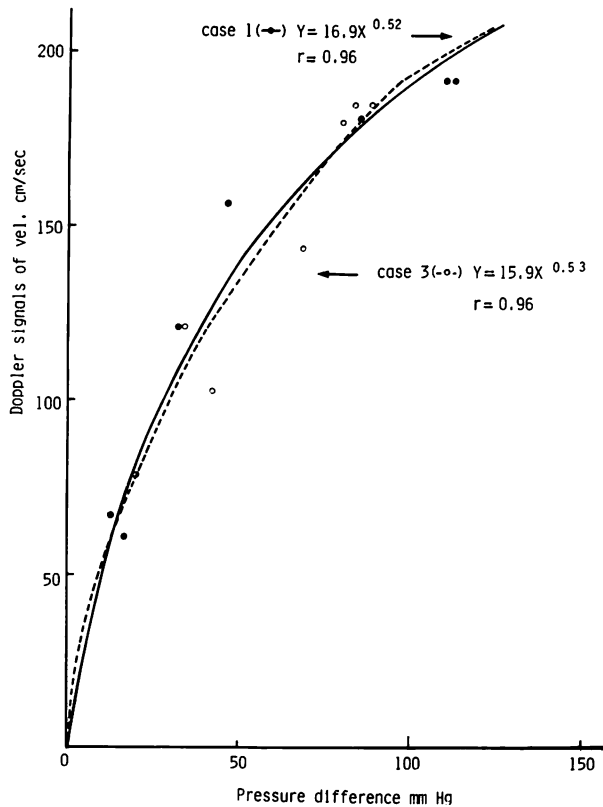


Fig. 5. Curvilinear correlation between the pressure differences measured by the catheter and the blood flow velocities.

The velocity was obtained by the pulsed Doppler method during a single systolic phase in the cases 1 and 3.

とを重ね、その収縮期経過中の圧較差を求めるとともに、最高速度を示す狭窄直後の部位で、ドプラー血流波形の収縮経過中、数時点の流速値を選び、両者をプロットして検討した (Fig. 5). 両症例とも、収縮期中の圧較差とスペクトルから求めた最高流速値との間には、高い正相関が認められた (相関係数 $r=0.96$). また、その回帰曲線は、両症例とも累乗係数約 0.5、すなわち血流速度値は圧較差の平方根に比例するという曲線で得られた。このことから、本症における狭窄部下流の血流最高流速値と圧較差との間に、Bernoulli の定理が適用できることが推定された。

2) 上述の結果に基づき、6 症例を対象とし、

大動脈弁下部、僧帽弁前尖心室面の部位で得た最高流速値と、左心カテーテル法によるほぼ同一時点での圧較差との相関について検討した (Fig. 6).

その結果、両者の間には相関係数 $r=0.99$ の正相関が得られ、流速値 Y (cm/sec) は圧較差 X (mmHg) の平方根に比例し、

$$Y = 17.5 X^{0.5}$$

すなわち、圧較差は、

$$\Delta P \text{ (mmHg)} = 32.5 V \text{ (m/sec)}^2$$

の回帰曲線で得られた。この関係は前述の 1) の結果とほぼ同様であった。

3) すでに報告した如く (第 27 回臨床心臓図学会)、僧帽弁狭窄症における最高流速値と圧較差

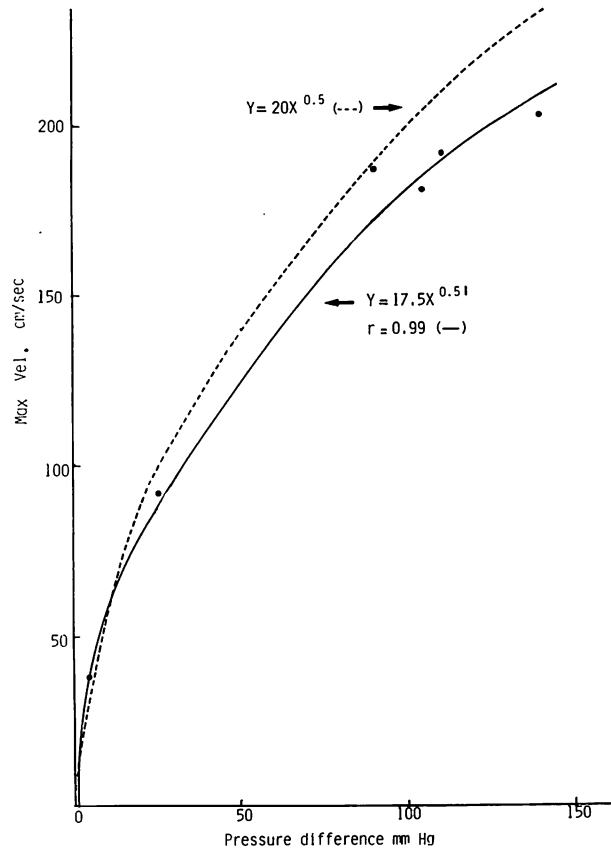


Fig. 6. Curvilinear correlation between the pressure differences and the maximum velocities in 6 cases of HOCM.

との関連, および弁狭窄のない症例における左房-左室間圧較差と僧帽弁口最高血流速度との関連においても, 同様の結果が得られた. これらを総合した結果, **Fig. 7** に示した如く, 全例でほぼ同じ回帰曲線

$$Y = 20 X^{0.5}$$

上に分布することが確認された.

4. 狭窄上流部の圧推定の試み

上述の如き結果から, 本症における心室内狭窄流についても Bernoulli の定理が適用できる可能性が認められ, $\Delta P = 32.5 V^2$ の回帰式から圧較差を求め, これと上腕部収縮期血圧との和から, 狭窄上流部の圧が推定できる可能性が示された.

この点を確認するため, 6 症例につき, 安静時に測定した上腕部収縮期血圧を狭窄部下流の圧とし, 上述の式から圧較差を求め, 両者の和より狭窄部上流圧を推定し, 実測した狭窄上流圧と比較検討した. その結果, **Table 1** に示した如く, 両者の間に $r=0.967$ の良好な相関が認められた. この事実から, 断層心エコー図法とドプラー法との併用によって, HOCM における機能的狭窄発生時の心室内圧較差と狭窄上流部圧とが, 非侵襲的, 非観血的に測定できると判断された.

考 察

狭窄前後の圧較差を評価することは, 弁狭窄に

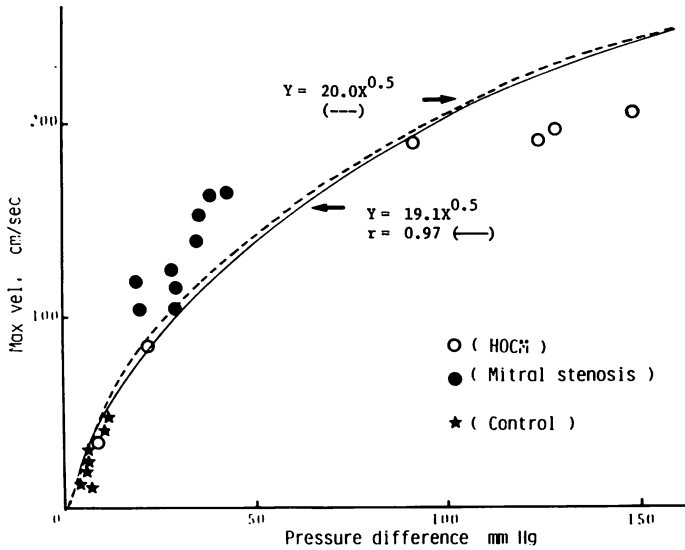


Fig. 7. Curvilinear correlation between the pressure differences and the maximum velocities in control cases, mitral stenosis and HOCM.

Table 1. Estimates of the left ventricular upstream pressures utilizing the pressure differences obtained by pulsed Doppler echocardiography and peripheral blood pressure in cases of HOCM

Case	PBP (mmHg)	PD		Cath.		PBP + Pr. Diff (PD) (mmHg)
		Max. Vel (m/sec)	Pr. Diff (mmHg) ($\Delta P = 32.5 V^2$)	Pr. Diff (mmHg)	LVSP (mmHg) (upper)	
1	100-60	1.92	119.8	110.0	214.0	219.8
2	112-70	2.04	135.2	140.0	240.0	247.2
3	100-62	1.87	113.6	90.0	200.0	213.6
4	128-88	0.38	4.7	5.0	133.0	132.7
5	100-40	1.91	118.6	105.0	220.0	218.6
6	120-70	0.92	27.5	25.0	167.5	147.5

The sum of PBP (peripheral blood pressure) and the Pr. Diff (pressure difference) as measured by pulsed Doppler echocardiography (PD) is in close proximity to the LVSP (left ventricular systolic pressure at the upstream cavity) obtained by catheterization.

においても、その有効面積の測定とともに、弁の機能的狭窄度を評価する指標として重要な意義もっている。その臨床的測定手技として、従来、心臓カテーテル法が行われてきた。しかし近年、超音波ドプラー装置の発展とともに、血流の最高速度が容易に計測できるようになり、これに Ber-

noulli の定理を適用し、非観血的に圧較差を測定する方法が提案されてきている^{11,13-17}。

ドプラー法により圧較差を推定する方法として、Holen らは

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{d \cdot V_{max}^2}{1.36}$$

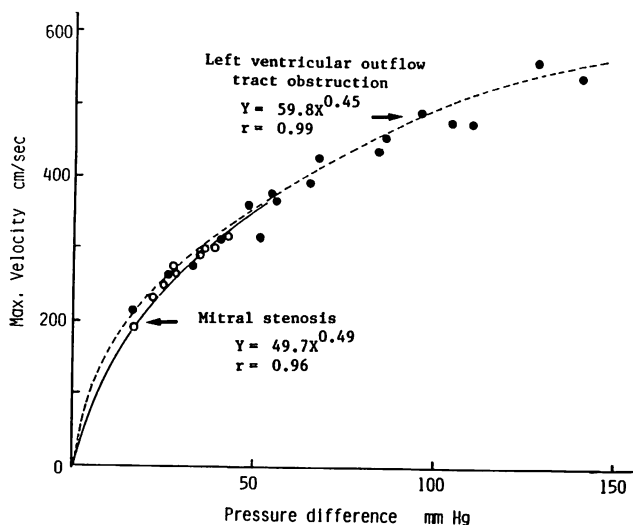


Fig. 8. Curvilinear correlation between the pressure differences and the maximum velocities from the data reported by Hatle et al in cases with left ventricular outflow tract obstruction and mitral stenosis.

The data were illustrated in a linear regression manner and are re-plotted to accomplish curvilinear regression analysis.

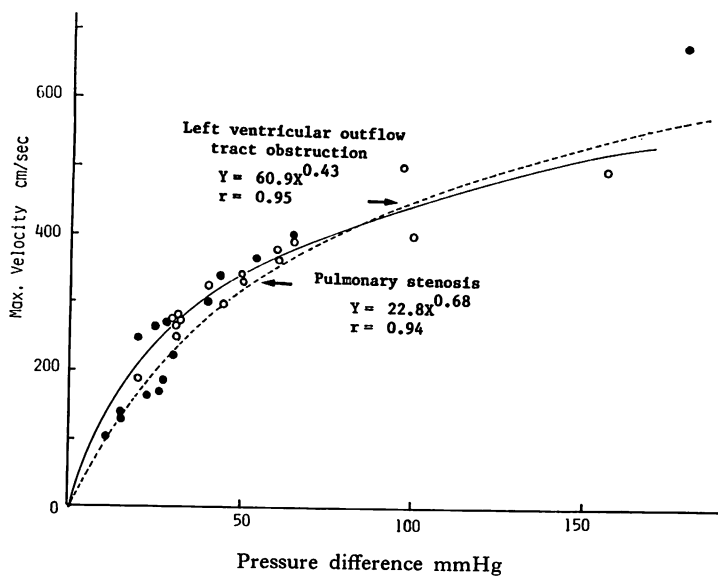


Fig. 9. Curvilinear correlation between the pressure differences and the maximum velocities replotted from the report of Lima et al.

A linear regression analysis was applied to the data of the cases of left ventricular outflow tract obstruction and pulmonary stenosis.

ここで、 ΔP : 圧較差 mmHg, d : 血液密度 ($1/981 \text{ g}\cdot\text{sec}^2/\text{cm}^4$), 1.36: 変換定数, V_{max} : 最大流速 (cm/sec)

の式を示し、また Hatle らは一次元流に関する Euler の式において、局所加速度項を 0 とした Bernoulli の定理から得られる簡易式

$$P_0 - P = \frac{1}{2} \rho V^2$$

ここで、 P_0 : 上流圧, P : 下流圧, ρ : 液体密度, V : 液体最高速度 m/sec

を用い、血液の比重を $1.06 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ とし、近似式

$$\Delta P = 4 V^2 \text{ (mmHg)}$$

を提案し、ドプラー法によって弁口を通過する血流の最高速度測定により狭窄弁前後の圧較差が求められることを示している。さらに Hatle ら¹³⁻¹⁵, Lima ら¹⁶は大動脈弁狭窄症および大動脈弁下狭窄症に、また Lima ら¹⁷は肺動脈弁狭窄症に同様の関係式を適用し、弁狭窄に伴う圧較差を推定している。

流れに対して Bernoulli の定理を適用するためには、基本的には、1) 流線が交叉することがない流れであること、また 2) 流路内壁に変形が生じないことが必要である。

僧帽弁狭窄症では、拡張初期から中期の時期に狭窄僧帽弁尖と左房下部とで構成される、狭窄上流部の壁に生ずる変形は、極めて少なく、無視できる。また、狭窄下流に相当する左室の拡張は、初期には長軸方向の伸展が主となって圧の低下が起り、ついで緩徐な短軸方向の拡大によって圧低の状態が維持され、その血流速度波形は比較的平坦に経過する。それ故、この時期には受動的に房室間圧較差が生じ、これによってのみ狭窄弁口を通過する血流が規定される。したがって、定常流類似の流れと仮定でき、Holen ら¹², Hatle ら¹³⁻¹⁵が示すように、局所加速度を 0 と仮定し、粘性損失を無視した前述の関係式が適用できると考えられる。

しかし Holen ら¹²らは、僧帽弁狭窄症でも、洞

調律の症例では、拡張末期の心房収縮が生ずる時期には、実測した圧較差とドプラー法を用いて求めた圧較差とは一致せず、その差が大きくなることを指摘している。また Lima らも大動脈弁下狭窄症¹⁶および肺動脈弁狭窄症¹⁷では、ドプラー法で求めた圧較差は過小評価されることを指摘し、その要因として、局所加速度と粘性の影響を無視できないと述べている。

心室の収縮によって、狭窄上流の血液に力が加えられ、加速度が与えられるような流れの時に、Hatle ら¹³⁻¹⁵, Lima ら^{16,17}が示しているように、この局所加速度の影響を無視してよいか否か問題になるところである。

大動脈弁狭窄症および肺動脈弁狭窄症では、明らかに壁の収縮によって血液が圧出される状況であり、上流の速度には変化が生ずる。すなわち、加速度が加えられることになる。したがって、僧帽弁狭窄における拡張期血流とは異なり、収縮期最高血流速度値には加速度による影響が慣性として加わってくる可能性がある。このような場合にも、圧較差と弁口を通過する血流の最高速度との間に、前述の如き局所加速度を無視した Bernoulli の定理が適用できるとするならば、実測された圧較差と最高速度値との間には近似的に、

$$\Delta P = 4 V^2 \text{ あるいは } V = 0.5 \sqrt{\Delta P}$$

の回帰曲線をもつ正相関が成立すると考えられる。その点に関し、Hatle ら^{13,14}, Lima ら^{16,17}のデータについてその関連を検討したところ、Hatle らのデータについては Fig. 8 に示す如く、この関係を示唆する結果であった。しかし、Lima らのデータでは、Fig. 9 の如く、BP の累乗値を 0.5 になるように修正すると、肺動脈弁狭窄症では、

$$\Delta P = 5.5 V^2 \text{ (} \Delta P = 4 V^2 + 0.27 \Delta P \text{)}$$

大動脈弁下狭窄症では、

$$\Delta P = 4.37 V^2 \text{ (} \Delta P = 4 V^2 + 0.09 \Delta P \text{)}$$

となり、一応 Bernoulli の定理が適用できることを示す結果ではあったが、局所、加速度項および粘性損失を無視できないことを示す結果であった。

本研究で対象とした HOCM は心室腔内に生

ずる狭窄が問題である。狭窄上流部の流れも、狭窄直下の流れも、Fig. 4 にみられる如く、ドプラー信号は狭帯域スペクトルを示し、層流に近い流れであり、この点からは縮流と考えられ、Bernoulli の定理を応用出来る可能性がある。しかし、狭窄の発生機序は弁狭窄の場合と異なり、肥厚した心室中隔の後下方への動きと乳頭筋の前上方への動きとによって、流出路にはほぼ同心的な求心性の狭窄が生ずる。上流部の形状は短軸断面上では円形であるが、長軸断面上では心室中隔と後壁および乳頭筋とで囲まれる空間は、先端を流出路に向け、心尖部を底とした紡錘形の囊状構造を形成し、収縮期中に左室の収縮とともに変形する。このような流路および狭窄口の形状変化とともに、上流部血液に力加えられて生ずる流れについて Bernoulli の定理を適用し、最高速度値から狭窄部圧較差を求めることについては問題が多い。また Hatle らの如く局所加速度項を 0 とし、粘性損失を無視することの出来ない可能性も含まれている。

これらの点を考慮して、まず 2 症例について心カテーテルで求めた狭窄上流部圧と下流部圧の時間経過とともに生ずる圧較差と、ドプラー法により狭窄直下の流速波形から求めた各時間点での最高速度値との関連を検討した結果、両者の間には相関係数 $r=0.96$ で、

$$\Delta P = 34.6 V^2 \quad (\Delta P = 4 V^2 + 0.92 \Delta P)$$

および

$$P = 39.1 V^2 \quad (\Delta P = 4 V^2 + 0.90 \Delta P)$$

の回帰曲線式が得られ、第 2 次項以下が大きく影響していることが示された。

ついで、6 症例について狭窄直下の最高血流速度値と、心カテーテル法で求められた同時点での圧較差との間には相関係数 $r=0.99$ で、

$$\Delta P = 32.5 V^2 \quad (\Delta P = 4 V^2 + 0.88 \Delta P)$$

の回帰曲線式が得られ、同様に、係数値は大きく、第 2 次項以下の影響を考慮する必要がある結果であった。

この事実は、HOCM でみられる狭窄流につい

ても、Bernoulli 定理が適用できることを示唆したものと見える。しかし、その係数は極めて大きな値として示された。したがって、ドプラー法で得られた最高速度値から Holen, および Hatle らの式を用いて圧較差を推定すると、心カテーテル法による実測圧較差に比し、極めて小さい値となって示され、Lima ら^{16,17)}が指摘しているように、過小評価することになる。

このような結果は、Bernoulli の定理における局所加速度項、あるいは粘性の項が無視し得ないという可能性を示しているといえるが、反面、それのみではなく、得られる結果にはさらに、記録血流波形から最高速度値を読みとる時の読み取り精度、および機器の表示性能も大きく影響して、見逃しえない。

本研究における実測圧較差と最高速度値との 2 次回帰式を適用し、心臓カテーテル検査に随伴する誤差、およびドプラー法による最高速度検出時に生じうる誤差等を考慮すれば、ほぼ妥当と思われるドプラー測定値が得られ、本法によって非観血的に狭窄上流部の左室内収縮期圧を推定できると判断された。勿論、臨床面での実用に際し、本法では超音波ビーム方向と流れの方向とのなす角度により、検出される最高速度値を補正しなければならないことがある。しかし、実用上心尖部投入法で行えば、その角度差による測定誤差は 6% 以内であるため、無視できるであろう。むしろ本法の実用時に注意しなければならない事は、次の 2 点にあると考えられる。すなわち、

1) 本法による測定では、流出路部の形状を判断するとともに、狭窄部を確認し、その下流の大動脈弁下部、かつ僧帽弁前尖心室面の流出路部における狭帯域スペクトルパターン記録部位に sample position を設定し、最高速度値を検出しなければならないという点である。この点は連続波ドプラーでは困難なところであり、パルスドプラー法を用いる方が信頼性のある測定ができるといえる。

2) 本法ではドプラー信号から最高速度値を求

めなければならず、その速度値は検出精度によって大きく左右される。その表示と読み取り誤差に影響する因子の1つに、可聴域ドプラー信号の処理方法、記録器の特性など、機器のもつ検出性能の良否があり、その良否は、上述の回帰曲線式の係数の値にも大きく影響することになる。したがって、使用機器については、あらかじめ表示性能を検討しておくことが必要である。

しかし實際上、超音波法に内在するこのような問題点を十分留意しつつパルスドプラー法を実施すれば、非観血的、かつ安全に実施しうる方法であるが故に、その臨床的有用性は高いと考えられた。

結 語

超音波ドプラー法と心断層法との併用により、閉塞性肥大型心筋症の左室内狭窄状態を検討した。本症の如く、収縮期に心室腔内に生ずる機能的狭窄の場合にも、Bernoulli の定理に基づく圧較差測定が可能と考えられた。したがって、収縮期最高血流速度から求めた圧較差 ($\Delta P = 32.5 V^2$) と安静時に得られた末梢収縮期血圧との和から、狭窄上流圧を非観血的かつ安全に推定しえた。

要 約

閉塞性肥大型心筋症 (以下 HOCM) の病態の重症度判定には、左室流出路の機能的狭窄による収縮期圧較差を測定することが不可欠である。今回、我々は心エコー図法とドプラー法との併用により、HOCM の左室流出路における収縮期最高血流速度から、狭窄部圧較差、および狭窄上流部圧を非観血的に推定する方法を検討した。

超音波ドプラー装置は研究室で開発したもので、超音波周波数は 3 MHz、パルス繰り返し周波数は 4.4 KHz である。機械式高速走査で探触子は半径 1.3 cm のものを使用した。Sample position の範囲は約 $3 \times 3 \times 3$ mm、周波数分析は FFT 方式とし、心エコー図 (UCG)、心電図 (ECG)、心音図 (PCG)、および心機図 (MCG) を同時記

録した。

10 例の HOCM 症例を対象とし、全例に心カテーテルを施行したが、圧較差と最高血流速度との関係は、心カテーテルにより良好な心内圧が得られた 6 例について検討した。

圧較差を検討するに先立って、流出路狭窄の局在と機序につき、心断層法を用い、長軸断面と短軸断面により追求した。閉塞は収縮期における肥大した心室中隔の後下方への移動と、前乳頭筋または後乳頭筋の肥大あるいは長さの増大により、それらの前上方への動きによって形成された。それ故、流出路中央部では求心性、同心円状に狭窄を生じ、数例では心尖部先端に嚢状腔が形成された。

超音波ドプラー法は心尖部アプローチで施行し、心内血流パターンは、狭窄上流部では狭帯域の二峰性のパターンを呈した。狭窄下流部の流出路部では一峰性の狭いスペクトルを示した。最大血流速度測定には、狭窄直後のドプラーパターンを利用した。しかし、本症のように、左室の収縮とともに狭窄上流部の形態に変化を生ずる流れについては、最大流速測定値を、Hatle らが提唱している Bernoulli の定理の簡易式、 $\Delta P = 4 V^2$ に適用することには疑問があった。

この点について、狭窄直下の最大血流速度値と心カテーテル法で求められた圧較差との関連を検討した。その結果、相関係数 0.99 で、

$$\Delta P = 32.5 V^2$$

の回帰曲線式が得られた。この ΔP と上腕部収縮期血圧 (PBP) より、狭窄上流部圧 (LVSP) の測定が可能であった。すなわち、

$$LVSP = 32.5 V^2 + PBP$$

狭窄上流部圧と心カテーテルにより得られた値との間には良好な相関が得られた。

この結果、超音波ドプラー法は最大流速の測定を注意して行うことにより、左室狭窄部の圧較差と上流部圧測定に有用なものと考えられた。それ故、本法は HOCM 血流動態の評価と治療の上で有望なアプローチと考えられた。

文 献

- 1) Teare D: Asymmetrical hypertrophy of the heart in young adults. *Br Heart J* **20**: 1-8, 1958
- 2) Henry WL, Clark CE, Griffith JM, Epstein SE: Mechanism of left ventricular outflow obstruction in patients with obstructive asymmetric septal hypertrophy (Idiopathic hypertrophic subaortic stenosis). *Am J Cardiol* **35**: 337-345, 1975
- 3) Shah PM, Gramiak R, Kramer DH: Ultrasound localization of left ventricular outflow obstruction in hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *Circulation* **40**: 3-11, 1969
- 4) Popp RL, Harrison DC: Ultrasound in the diagnosis and evaluation of therapy of idiopathic hypertrophic subaortic stenosis. *Circulation* **40**: 905-914, 1969
- 5) 田中元直: 超音波心臓診断学, メディカルエレクトロタイムス, 1978, p 328
- 6) 田中元直: 心運動と超音波法. *心臓* **3**: 1092-1101, 1971
- 7) 田中元直, 香坂茂美, 岡 捨己, 寺沢良夫, 海野金次郎, 仁田桂子, 柏木 誠, 海老名敏明: 超音波心断層法による IHSS の左室動態の解析. *日超医講演論文集* **22**: 127-128, 1972
- 8) Gramiak R, Shah PM: Cardiac ultrasonography; A review of current applications. *Radiol Clin N America* **9**: 469-490, 1971
- 9) Ross J Jr, Braunwald E, Gault JH, Mason DT, Morrow AG: The mechanism of the intraventricular pressure gradient in idiopathic hypertrophic subaortic stenosis. *Circulation* **34**: 558-578, 1966
- 10) Wigle ED, Auger P, Marquis Y: Muscular sub-aortic stenosis; The initial left ventricular inflow tract pressure as evidence of outflow tract obstruction. *Canad Med Ass J* **95**: 793-797, 1966
- 11) 山本厚子, 田中元直, 仁田新一, 仁田桂子, 片平美明, 十河 寛, 大川井宏明, 佐藤ノリ子: 超音波 Doppler 法における流速波形と心内圧との関係. *日超医講演論文集* **44**: 531-532, 1984
- 12) Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a non-invasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* **199**: 455-460, 1976
- 13) 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
- 14) Hatle L: Noninvasive assessment and differentiation of left ventricular outflow obstruction with Doppler ultrasound. *Circulation* **64**: 381-387, 1981
- 15) Hatle L, Angelsen BA, Tromsdal A: Non-invasive assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* **43**: 284-292, 1980
- 16) Lima CO, Sahn DJ, Valdes-Cruz LM, Allen HD, Goldberg SJ, Grenadier E, Barron JV: Prediction of the severity of left ventricular outflow tract obstruction by quantitative two-dimensional echocardiographic Doppler studies. *Circulation* **68**: 348-354, 1983
- 17) 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