

超音波連続波ドプラーエコー法による僧帽弁狭窄の評価：左室圧，肺動脈楔入圧の同時記録による検討

Continuous wave Doppler measurement of transmitral pressure gradients in mitral stenosis: Comparisons with simultaneous catheterization measurements

鄭 忠和  
木佐貫 彰  
有馬 新一  
有川 清猛  
尾辻 豊  
夏越久美子  
田中 弘允

Chuwa TEI  
Akira KISANUKI  
Shinichi ARIMA  
Kiyotake ARIKAWA  
Yutaka OTSUJI  
Kumiko NATSUGOE  
Hiromitsu TANAKA

### Summary

To determine the accuracy and reliability of measurements of mitral flow velocity and pressure gradients obtained from continuous wave Doppler (CWD) echocardiography, the left ventricular pressure, pulmonary capillary wedge pressure and CWD echo were simultaneously recorded simultaneously for 22 patients with mitral stenosis. An ultrasonic transducer was placed over the left ventricular apex to direct the ultrasonic beam parallel with the mitral flow. High-pitched audio signals were used to determine whether the ultrasonic beam direction was appropriate. The angle formed by the beam direction and the blood flow was assumed to be zero when a good Doppler echo was recorded. The maximum flow velocity and pressure gradients calculated from CWD echo were compared with pressure gradients obtained by catheterization. These were analyzed during the same heart beats.

The results were as follows:

Good recordings of pressures and CWD echograms were obtained for 17 patients, and their data were used for the analysis. The maximum flow velocity through the mitral valve obtained by CWD echography was very similar to the pressure gradients obtained by catheterization in terms of phases and patterns. The pressure gradients (x) calculated from CWD using a simplified Bernoulli's equation

---

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 February 28, 1985; accepted March 15, 1985 (Ref. No. 29-K11)

correlated well with those (y) measured at the same time on pressure tracings ( $y=1.2x+1.5$ ,  $r=0.92$ ,  $p<0.001$ ). Mean diastolic pressure gradients (X) obtained by CWD echography also correlated well with those (Y) recorded at catheterization ( $Y=1.2X+0.15$ ,  $r=0.95$ ).

Based on these results, we conclude that CWD echography is a reliable, noninvasive method to measure the pressure gradient across the mitral valve in patients with mitral stenosis.

### Key words

Continuous wave Doppler echocardiography  
Bernoulli equation

Mitral stenosis

Pressure gradient

Simplified

## はじめに

Mモード心エコー図や断層心エコー図が僧帽弁狭窄 (MS) の診断に極めて有用であることはよく知られているが, これらの検査法では, MSの重症度を評価する上で重要な僧帽弁口部圧較差を測定することはできない。弁口部圧較差はそこを通過する血流速度と表裏一体にあるので, 血流速度を測定することができれば, 圧較差を評価することも可能であると思われる。1976年 Holen<sup>1)</sup>は, 超音波連続波ドプラー (CWD) 法をはじめて MS に応用して血流速度を測定し, 非観血的に弁口部圧較差を測定した。その後, 現在まで超音波ドプラー法を用いて MS の圧較差を測定した報告はいくつかみられる<sup>2-4)</sup>。中でも1978年, Hatle<sup>5)</sup>は Bernoulli の簡易式を用いて, CWD 法から容易に圧較差が測定できることを報告した。

この研究の目的は, CWD エコーから求めた MS の血流速度および圧較差がどの程度正確であるかを調べるために, 心カテーテル検査中, CWD エコーと圧曲線の同時記録を行い, 僧帽弁を通過する血流最高速度と圧較差, CWD エコーから求めた圧較差と圧曲線からえられた圧較差の相関を, 同一心拍で検討することである。

## 対象と方法

### 1. 対象

心カテーテル検査中, 左室圧, 肺動脈楔入圧および僧帽弁血流の連続波ドプラー (CWD) エコ

ー図の同時記録を施行した MS 22 例を対象とした。年齢は  $51 \pm 8$  歳 (平均  $\pm$  標準偏差) で, 男 9 例, 女 13 例である。MS の診断は心エコー図および心音図によった。また健康者 15 例の僧帽弁血流の CWD エコー図を用いて, MS のそれと比較した。

### 2. CWD エコーの記録

CWD エコー図は東芝断層心エコードプラー装置 (SSH 40 B) あるいは Pedof Doppler System を一部改良した東芝断層心エコー・ドプラー装置 (SSH 11 A/SDS 10 A) に接続して, 断層心エコー図と同時に記録するか, あるいは単独で記録した。ドプラー探触子の周波数は, SSH 40 B は 2.4 MHz, Pedof Doppler System は 2.0 MHz で, 最高血流速度はそれぞれ 12 m/sec, 6 m/sec まで測定可能である。ドプラー探触子の位置は, 断層心エコー図を参考にして左室心尖部におき, 僧帽弁口に向かって入射した。超音波ビームの方向が僧帽弁口を通過する血流に対して平行であるかどうかは, 高調なドプラー信号 (high-pitched Doppler signal) から判断した。探触子を左室心尖部において明瞭な CWD エコー図が得られない場合には, ドプラー信号を参考にしながら, 探触子の位置と方向を少しずつ変えて, 信号が最も明瞭である時に CWD エコー図を記録した。

ドプラー信号の表示は横軸が時間, 縦軸が血流最高速度 (m/sec) を示し, 探触子に向う血流は基線より上向き, 探触子から遠ざかる血流は基線より下向きの血流として描出される。したがって拡張期の僧帽弁血流は基線より上向きの血流として

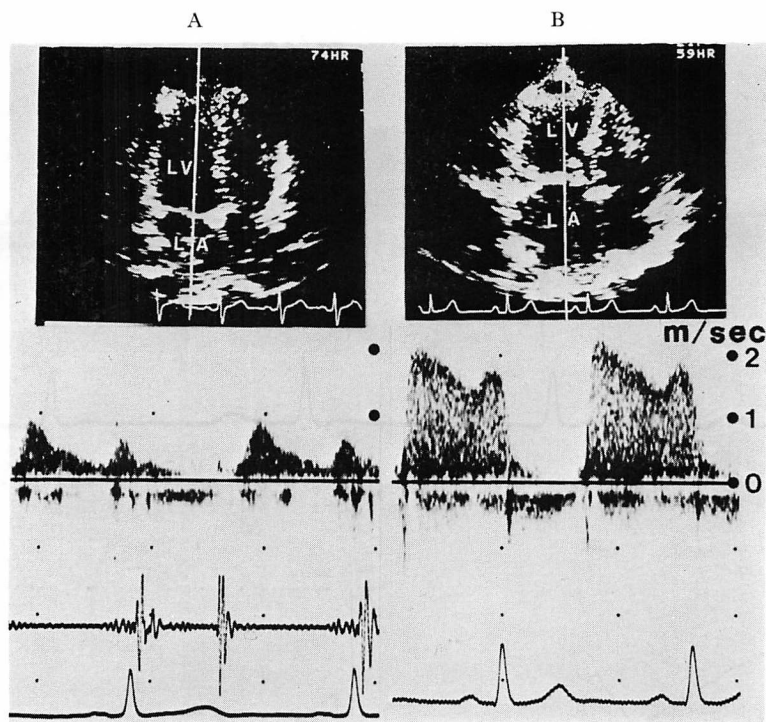


Fig. 1. Continuous wave Doppler echocardiograms recorded from a normal subject (A) and a patient with mitral stenosis (B).

A transducer is placed over the left ventricular apex. The flow toward the transducer is seen above the zero line. The white line shows the direction of the ultrasonic beam to obtain appropriate Doppler signals. The peak of the maximum flow velocity across the mitral valve is 0.9 m/sec in the left panel and 2.2 m/sec in the right one.

表示される (Fig. 1). ドプラーエコーより血流速度を測定する際、血流方向と超音波ビームとのなす角度が重要であるが、high pitch の Doppler signal が聴取されて明瞭な CWD エコーが記録された時は、超音波ビームが血流に対して平行に入射されているものと仮定し、角度  $0^\circ$  として計算した。

### 3. ドプラー血流波形による圧較差の計測

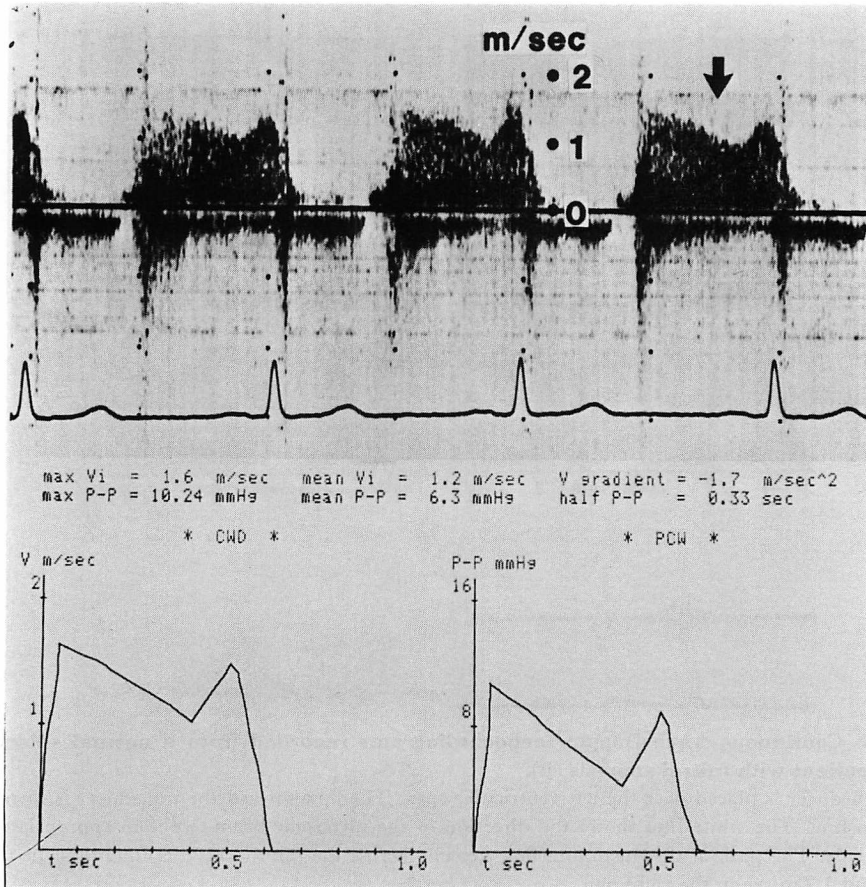
#### a) 任意の時相における圧較差

僧帽弁血流の CWD エコーより得られた血流最高速度を Hatle らの提唱した Bernoulli の簡易式<sup>3)</sup> [ $P=4V^2$ , ここで  $P$ =圧較差 (mmHg),  $V$ =血流最高速度 (m/sec)] に代入することにより、任意の時相における僧帽弁口部圧較差を算出し

た。拡張期の最大圧較差は、血流最高速度の最大値を Bernoulli の簡易式に代入して測定することができる。

#### b) 拡張期の平均圧較差

拡張期の平均圧較差は、血流最高速度波形から最大圧較差曲線を作成し、その面積を拡張期時間で除して求めることができる。しかし最大圧較差曲線を CWD エコーから作成するためには、多数の時相での圧較差を測定しなければならない。そこで我々は Bernoulli の簡易式を組み入れて、一部を改良したメディカル・システムズ・リサーチ製 Picture Analyzer  $\Sigma 5$  を用いて、light pen method により僧帽弁血流の CWD エコーをトレースして、自動的に求める方法を開発した。



**Fig. 2. Measurements of mean pressure gradient using the microcomputer method in a patient with mitral stenosis.**

The upper panel shows the continuous wave Doppler echogram. The left lower panel is the velocity curve and the right lower one is the pressure gradient curve obtained from the third heart beat (black arrow) by the computer method using a light pen.

**Fig. 2** はその実例を示す。上段矢印の心拍の CWD エコーを light pen でトレースすると、下段の図が得られる。下段左は血流速度曲線を、下段右は血流速度から得られた圧較差曲線を示している。この圧較差曲線より平均圧較差が自動的に算出される。

また平均圧較差をマイクロコンピューターを用いないで測定する方法として心カテーテル検査で平均圧較差を求める際しばしば用いられている方法を応用して、CWD エコーから平均圧較差を

測定した。すなわち第1の point は急速流入期にみられる左室圧下降曲線の最下点、第2は拡張末期の左室圧の急峻な立ち上り点、第3は両者の中間点を圧曲線から求め、これらの時相の血流速度を同時記録した CWD エコーから測定し、Bernoulli の簡易式<sup>3)</sup>を用いてそれぞれの圧較差を算出し、その平均値を平均圧較差とした。

いずれの方法においても連続5心拍の平均圧較差を計測して、その平均値をそれぞれの方法による値とした。

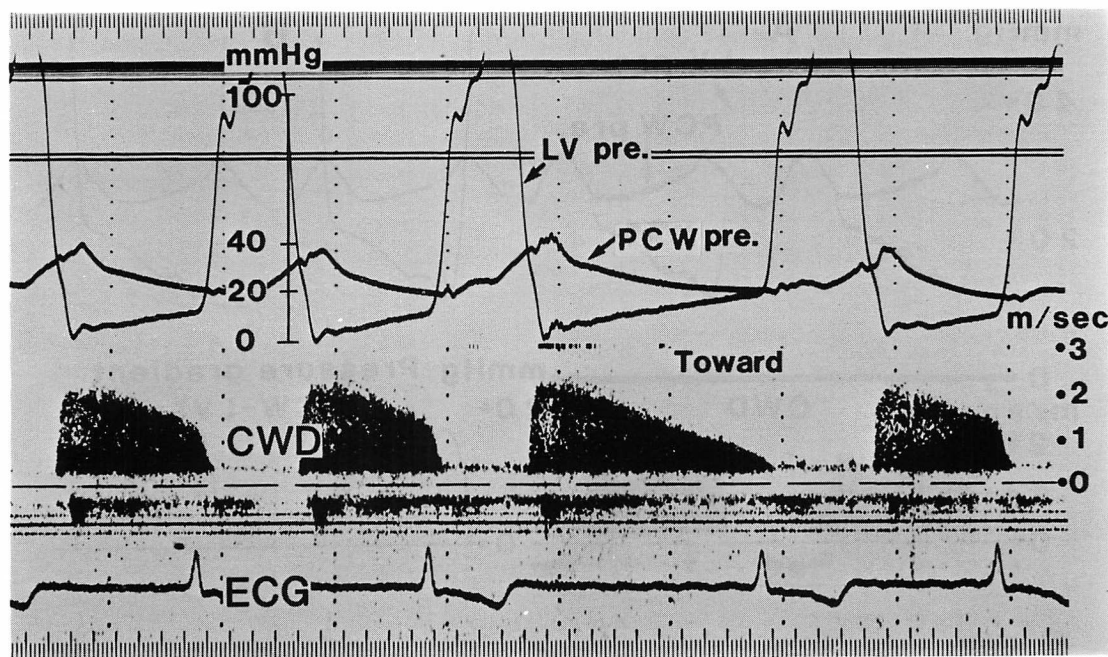


Fig. 3. Simultaneous recording of left ventricular pressure (LV pre.), pulmonary capillary wedge pressure (PCW pre.) and continuous wave Doppler echogram from a patient with mitral stenosis and atrial fibrillation.

The mitral flow velocity changes from beat to beat and in parallel with corresponding pressure gradient between LV pressure and PCW pressure, indicating that the flow velocity obtained by Doppler echography reflects closely pressure gradient across the mitral valve.

#### 4. 心カテーテル検査による房室間圧較差の測定

左室圧の測定にはミラー製カテーテル先端型圧トランスデューサーを、肺動脈楔入圧測定には体外式圧トランスデューサー (Statham製 P-23 Db) を用いて、CWD エコーとともに同時記録をした。体外式圧トランスデューサーは、カテーテル先端型圧トランスデューサーに比べて伝達時間に遅延がみられるため、圧較差を測定する際には、まずこの伝達時間の遅れを補正した。そのために肺動脈楔入圧曲線の  $v$  波を左室圧下降曲線に一致するように重ねて、房室間圧較差を求めた。拡張期の平均圧較差は planimeter を用いて圧較差の面積を求め、拡張期時間で除して測定した。

#### 5. Bicycle ergometer exercise 負荷中の圧と CWD エコーの同時記録

心カテーテル検査中 3 例に bicycle ergometer

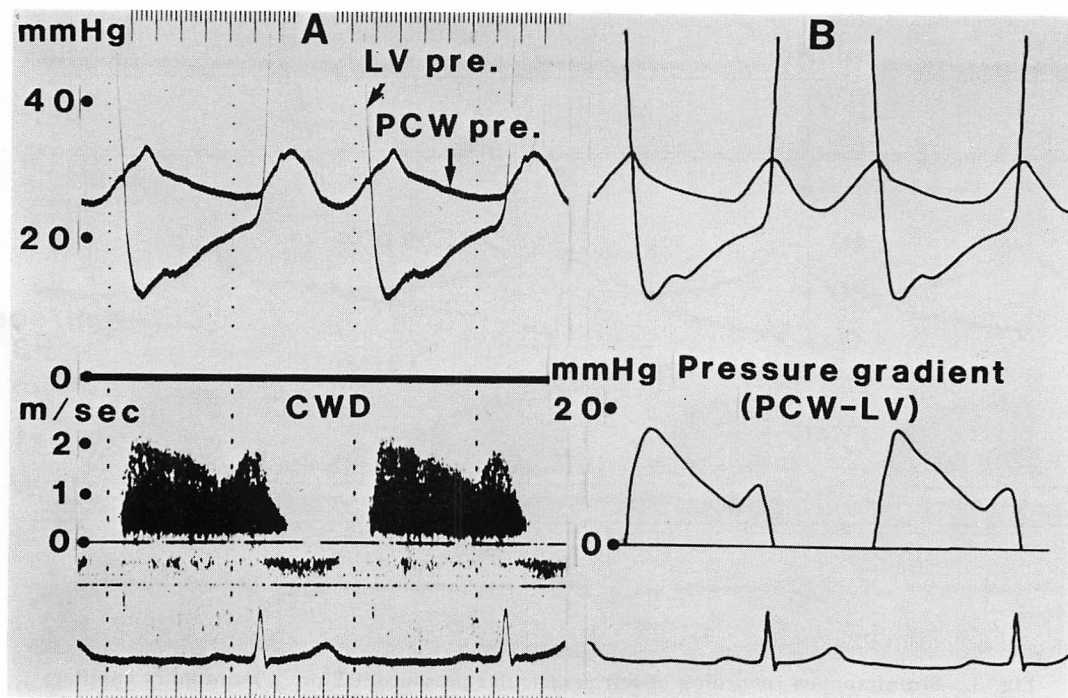
exercise 負荷を施行し、負荷前後に左室圧、肺動脈楔入圧、CWD エコーを同時記録した。負荷中患者の体位が変動しないように軀幹と両肩を台に固定して、35 ワット、4 分間の負荷を施行し、負荷前、中、後を通じて圧曲線と CWD エコーの同時記録をおこなった。

### 結 果

22 例中圧曲線と CWD エコーがともに明瞭に記録できたのは 17 例であった。したがってこの 17 例について、CWD エコーと圧曲線について以下の比較検討を加えたが、このうち 3 例は、bicycle ergometer 負荷前後でも比較した。

#### 1. MS の僧帽弁血流速度

Fig. 1 は健常者と MS の各 1 例における僧帽弁を通過する血流の CWD エコーを示す。僧帽



**Fig. 4.** Simultaneous recording of left ventricular pressure (LV pre.), pulmonary capillary wedge pressure (PCW pre.) and continuous wave Doppler (CWD) echogram from a patient with mitral stenosis and sinus rhythm.

The left panel is the actual recording. The right upper panel shows the pressure curves obtained by superimposition of the V wave of PCW pressure on the descending curve of the LV pressure to correct the time difference between LV pressure and PCW pressure. The right lower one is the pressure gradient curve across the mitral valve obtained manually from the upper one. Note that the timing and pattern of the CWD echogram are similar to those of the pressure gradient curve across the mitral valve.

弁血流速度は MS で明らかに増大している。血流最高速度の最大値の平均は健常者では 0.9 m/sec (0.6~1.1 m/sec), 一方, MS では 2.0 m/sec (1.5~2.7 m/sec) と有意に増大していた。

## 2. 僧帽弁血流の CWD エコーと圧曲線から得られる圧較差との比較

**Fig. 3** は心房細動例の圧曲線と CWD エコーの同時記録の 1 例を示す。心電図 R-R 間隔の違いによって拡張期圧較差 (肺動脈楔入圧と左室圧との差) は 1 拍ごとに変化しているが, 同じように CWD エコーの血流最高速度のパターンも変化している。すなわち圧較差が大きい時に血流速度は速く, 圧較差が小さい時には血流速度も遅い。

すなわち CWD エコーの血流速度は圧較差と密接な相関を有することが示されている。

**Fig. 4A** は洞調律例の心内圧と CWD エコーの同時記録の 1 例を示す。左室圧と肺動脈楔入圧との時間的遅延を補正して左図の圧曲線からトレースしたものが, 右図 (**Fig. 4B**) 上段にしたものである。**Fig. 4B** 下段は, 上段の左室圧および肺動脈楔入圧曲線から得られた拡張期圧較差曲線を示す。これを **Fig. 4A** 下段の僧帽弁血流の CWD エコーと比較すると, 両者は時相的にも波形的にも極めてよく類似していることがわかる。このように肺動脈楔入圧曲線の時間的遅れを補正して求めた拡張期の圧較差曲線は, 全例において僧帽弁



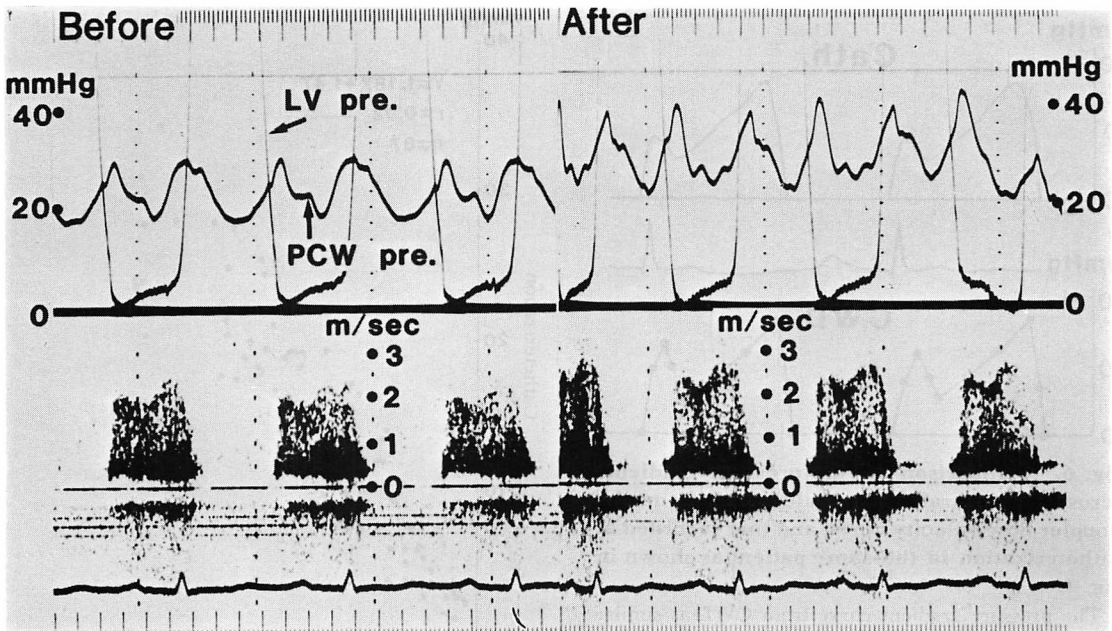


Fig. 5. Simultaneous recording of left ventricular pressure (LV pre.), pulmonary capillary wedge pressure (PCW pre.) and continuous wave Doppler echogram before and after bicycle ergometer exercise of a patient with mitral stenosis.

With exercise, the maximum velocity of mitral flow increases in parallel with the increment of the pressure gradients.

血流の CWD エコーによく類似しており、CWD エコーから得られる血流最高速度は、圧較差を非常に鋭敏に反映することが示された。

Fig. 5 は ergometer exercise 負荷前後の心内圧、CWD エコー同時記録を示す。負荷前に比べて圧較差は明瞭に増大しているが、同じように血流最高速度も増大している。負荷前後を通じて、CWD エコーの血流速度は圧較差の大きさに比例して変化していることがわかる。

### 3. 任意の時相における CWD エコーから得られた圧較差と圧曲線から得られた圧較差の比較

Fig. 6 は Fig. 4 と同一心拍の拡張期圧較差を圧曲線および CWD エコーから求めたものを、シェーマで示したものである。心カテーテル検査から得られた圧較差波形は肺動脈楔入圧曲線を補正して得られており、CWD エコーから求めた圧較差波形は 8 個の時点の圧較差を Bernoulli の

簡易式から測定して作成したものである。それぞれの方法から求めた圧較差曲線を同一心拍で比較すると、両者はよく一致しており、圧較差の値も近似している。

Fig. 7 は圧曲線と CWD エコーが明瞭に記録された 17 例において、任意の心拍の任意の時相における圧較差を、それぞれの方法で計 87 の異なる時点で求めて比較したものである。両者には密接な相関 ( $r=0.92$ ) が示されたが、CWD エコーから求めた圧較差の値は、心カテーテルから求めた値に比べて軽度ながら過小評価していることが示された。すなわち CWD エコーから求めた圧較差の値を 1.2 倍すると、圧曲線から求めた値に一致した。

### 4. 拡張期の平均圧較差の比較

1) マイクロコンピューターを用いて CWD エコーから得られた平均圧較差と圧曲線から得ら

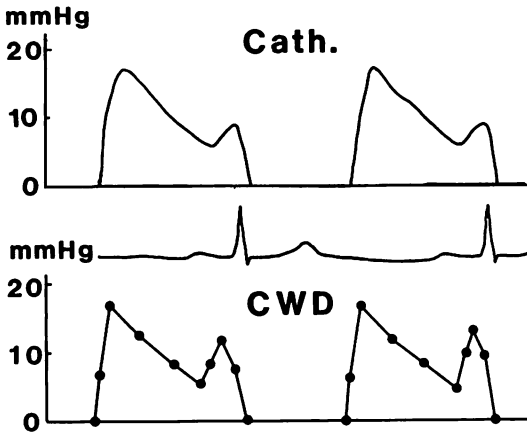


Fig. 6. Comparison of the pressure gradients across the mitral valve calculated from the Doppler flow velocity curve and that recorded at catheterization in the same patient as shown in Fig. 4.

The pressure gradient curve from CWD is similar to that from catheterization in terms of timing and amplitude.

れたそれとの比較

Fig. 8 は両者を比較したものであり, 両者の間には相関係数 0.95 という極めて密接な関係が示された. しかし心カテーテル検査で求めた圧較差の値に比べて, CWD エコーから求めた値は軽度ながら低値を示した. すなわち CWD エコーから求めた平均圧較差の値を 1.3 倍すると, 圧曲線から求めた値にほぼ一致した.

2) 3点法を用いて CWD エコーから求めた平均圧較差と圧曲線から得られたそれとの比較

Fig. 9 は両者の比較を示す. 両者の間には Fig. 8 と同じように密接な関係 (相関係数  $r=0.95$ ) が示された. また CWD エコーから求めた圧較差の値は心カテーテル検査から得られた圧較差の値に比べてやや低い値を示した.

### 考 按

今回の圧曲線と CWD エコーの同時記録による成績から, 僧帽弁狭窄の弁口を通過する血流最高速度の波形は, 真の圧較差を極めて鋭敏に反映

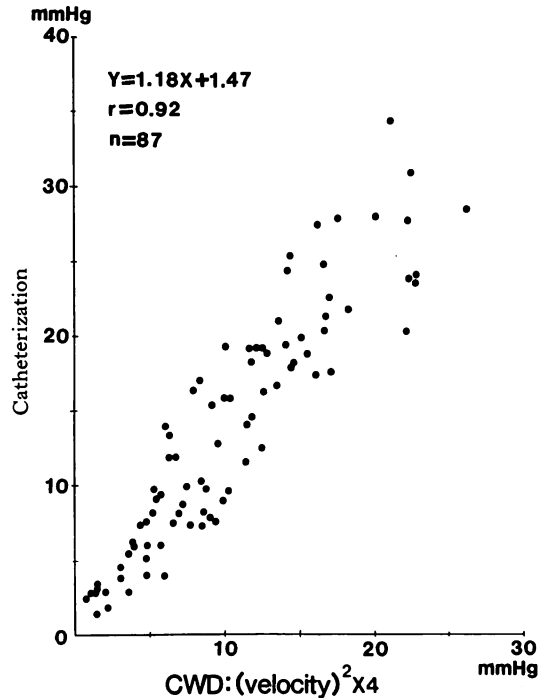


Fig. 7. Comparison of pressure gradients from catheterization and those from continuous wave Doppler echography in simultaneous recordings of 17 patients with mitral stenosis.

The correlation is excellent, but the pressure gradients from catheterization are about 1.2 times of those from continuous wave Doppler echogram.

しているものであることが示された. すなわち肺動脈楔入圧の時相的遅れを補正して求めた真の圧較差波形と, 僧帽弁血流の CWD エコーが, 時相的にもパターンのにも極めてよい相関を示したことは, 圧較差と血流最高速度の密接な関係を示す Bernouilli の式に符号するもので, MS における CWD 法による僧帽弁口血流速度の測定が極めて信頼できることを示唆する.

このように CWD 法で求められる MS の血流速度が圧較差を正確に反映することは, 血流速度パターンから MS の重症度を評価できることを示唆している. すなわち血流最高速度の最大値が大きく, 拡張期の血流速度の傾きが低い程, 拡



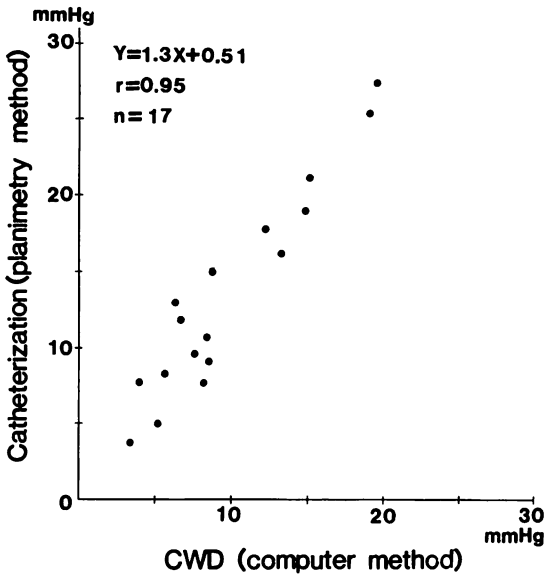


Fig. 8. Comparison of mean pressure gradients from catheterization and those from continuous wave Doppler (CWD) echography on simultaneous recordings.

The mean pressure gradient from CWD echography is measured by the computer method using a light pen. The correlation is excellent, but the mean pressure gradient from CWD tends to underestimate the value obtained by catheterization.

張期を通じて圧較差は大きく、弁狭窄が高度であると思われる。このことは Hattle ら<sup>4)</sup>が MS の重症度評価に用いた pressure half time (圧較差の最大の時点からその半分になるまでの時間) が長いほど、弁狭窄が高度であるという説を支持するものである。

Bicycle ergometer exercise 負荷前後の同時記録においても、血流最高速度パターンは圧較差の大きさに比例して変化を示したことは、CWD エコーが圧較差を正確に反映していることを裏づけるものである。

Bernoulli の簡易式<sup>3)</sup>を用いると、僧帽弁血流速度の CWD エコーから、容易に任意の時相における圧較差を測定することが可能であるが、こうして非観血的に求められた圧較差の値は、今回

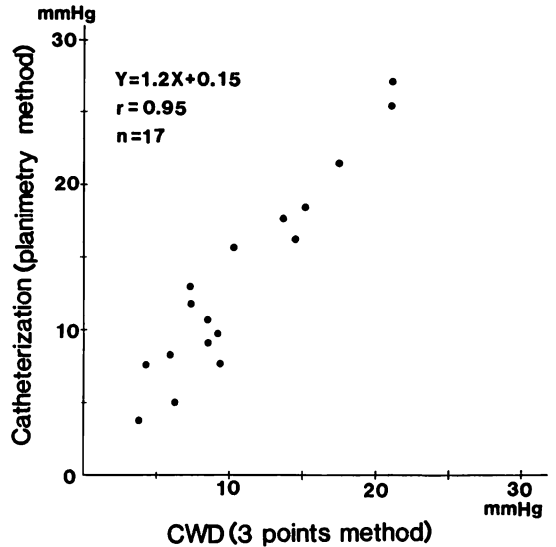


Fig. 9. Comparison of mean pressure gradients from catheterization and those from continuous wave Doppler (CWD) echography on simultaneous recordings.

The mean pressure gradient from CWD echography is measured by the 3 points method. An instantaneous gradient from CWD echogram is measured at 3 points (the end of the rapid decline in left ventricular pressure during the rapid filling period, the beginning of the steep rise in the pressure and midway between these two points), and the mean of these three is given as the mean pressure gradient. The correlation is excellent, but the value from CWD is slightly less than that from catheterization.

の成績から極めて信頼できるものであると思われる。すなわち圧曲線と CWD エコーの同時記録において、同一心拍の圧較差をそれぞれの方法で求めて比較すると  $r=0.95$  と高い相関を示しており、CWD 法を用いて MS の圧較差を非観血的に測定することは、十分に可能であると考えられる。しかし本研究で CWD 法を用いて求めた圧較差の値は、血流速度を測定する際に超音波ビームと血流との成す角度をゼロと仮定したので、真の値よりも過小評価される可能性がある。事実、Fig. 7 に示される通り、CWD エコーから得られた圧較差は圧曲線から得られた値よりも小さい

が, CWD エコーから求めた値を 1.2 倍すると, 同一心拍の圧曲線から求めた値にほぼ一致することが示される. このことは CWD 法を用いて MS の僧帽弁血流速度を測定する際, 超音波ビームと血流との成す角度の補正をしなくても, 角度ゼロと仮定して求めた血流速度から, 得られる圧較差の値を 1.2 倍することにより, 真の圧較差を求めることができると思われる. 以上の成績から判断すると, CWD 法を用いて MS の血流速度が明瞭に記録される時には, 超音波ビームと血流との間に  $\cos \theta = 1/\sqrt{1.2}$  を満足させる角度 ( $\theta$ ), すなわち約 25 度の角度で超音波ビームが僧帽弁血流に入射されていることが示唆される.

MS の弁口部圧較差を評価する場合, 一般に心カテーテル検査から得られた拡張期の平均圧較差が用いられる. CWD エコーを用いて平均圧較差を測定するには, まず多数の時相における圧較差を求めて, 圧較差曲線を作成する必要があるが, 実用的ではない. そこでマイクロコンピュータを用いて CWD エコーをトレースするだけで, 平均圧較差を得る soft ware を開発した. これを用いて求めた平均圧較差は, 同時記録した圧曲線から得られたそれと極めて密接な相関を示した. このコンピューターシステムは Bernoulli の簡易式<sup>9)</sup>を組み入れた簡単なもので, 容易に実用化することができる.

一方, 心カテーテル検査で簡便法としてよく用いられる三点法 (3 points 法)<sup>7)</sup>を応用して, CWD エコーの拡張期の 3 時相における圧較差の平均を算出し, これを同一心拍の圧曲線から得られた値と比較しても, 非常に良い相関が示された. したがって, 簡便法として三点法を用いて, CWD エコーから MS の平均圧較差を測定することも十分可能である.

いずれの方法を用いても, 平均圧較差を CWD エコーから求める際には, 最終的に得られた値を 1.2 ないし 1.3 倍することにより, 過小評価を補正する必要がある. こうして得られた平均圧較差は真の値にほぼ一致するので, CWD 法は MS の

平均圧較差を非観血的に評価する上で, 非常に有用な方法と思われる.

## 結 語

CWD 法は非観血的に MS の僧帽弁口を通過する血流最高速度を測定することが可能で, この血流速度パターンは房室間圧較差を鋭敏に反映している. また Bernoulli の簡易式を応用して, 血流速度波形から任意の時相における圧較差を容易に測定することもできる. このようにして, MS において CWD エコーから求められた僧帽弁口の拡張期平均圧較差は, 心カテーテル検査から求めたそれにほぼ一致した. したがって CWD 法により非観血的に MS の弁口部圧較差を評価することが可能である. この点において CWD 法は心カテーテル検査の一部を代用できると結論した.

## 要 約

CWD エコーを用いて, 非観血的にどの程度正確に MS における弁口部圧較差を評価することができるかを調べるために, 22 例の MS に心カテーテル検査中, CWD エコーと左室圧, 肺動脈楔入圧曲線の同時記録を施行した. このうち 3 例は bicycle ergometer exercise 負荷前後でも同様な記録を行った. そして CWD エコーから求められた僧帽弁を通過する血流最高速度と圧較差, CWD エコーから求めた圧較差と圧曲線からえられた圧較差の相関を, 同一心拍で各々検討した.

1. MS 22 例中, ergometer exercise 負荷を施行した 3 例を含む 17 例に, CWD エコーと圧曲線がともに明瞭に記録され, この 17 例において両者の比較検討を行った.

2. CWD エコーからえられた MS の血流最高速度パターンは, 左室圧曲線と肺動脈楔入圧曲線の時相的遅延を補正して作成した圧較差曲線に, 時相的にもパターンのにもよく一致しており, CWD エコーは圧較差を鋭敏に反映した.

3. Bernoulli の簡易式を用いて CWD エコーから求めた圧較差は、同一心拍の同じ時相の圧曲線からえられた圧較差と密接な相関を示した ( $r=0.92$ ). CWD エコーから求めた値は心カテーター検査でえられた値に比べてやや低値であったが、その値を 1.2 倍することにより、過小評価を補正することができた。

4. CWD エコーの血流最高速度波形から拡張期の平均圧較差を、マイクロコンピューター、あるいは簡便法として三点法を用いて求めたが、おのおの心カテーター検査でえられた値と高い相関を示した ( $r=0.95$ ). しかし CWD エコーから求めた値は圧曲線からえられた値に比べて過小評価の傾向があったので、おのおの 1.3 倍あるいは 1.2 倍することにより、補正する必要があった。

以上より、CWD 法により、非観血的に MS の弁口部圧較差を極めて正確に測定することがで

きると結論した。

#### 文 献

- 1) Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a noninvasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* **199**: 455-460, 1976
- 2) Holen J, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with Doppler echocardiography. *Br Heart J* **41**: 529-535, 1979
- 3) 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
- 4) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A: Noninvasive assessment of atrioventricular pressure half time by Doppler ultrasound. *Circulation* **60**: 1096-1104, 1979
- 5) Yang SS, Bentivoglio LG, Maranhao V, Goldberg H: Basic measurements and calculations. *in* From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters. FA Davis, Philadelphia, 1978, p 44-45