

弁逆流の診断における各種 超音波ドップラー法の有用 性と限界

Doppler techniques in the detection of valvular regurgitation: Their val- ue and limitations

吉田 清
吉川 純一
赤阪 隆史
赤土 正洋
城 泰子
高尾 精一
白鳥 健一
奥町富久丸
小泉 克巳
加藤 洋
深谷 隆

Kiyoshi YOSHIDA
Junichi YOSHIKAWA
Takashi AKASAKA
Masahiro SHAKUDO
Yasuko JYO
Seiichi TAKAO
Kenichi SHIRATORI
Fukumaru OKUMACHI
Katsumi KOIZUMI
Hiroshi KATO
Takashi FUKAYA

Summary

To evaluate the clinical value of various Doppler techniques in detecting valvular regurgitation, we compared the sensitivity, timing and duration of regurgitation, and the peak velocity of regurgitant signals among conventional pulsed Doppler, color Doppler, continuous wave Doppler and HPRF Doppler echocardiography.

1. Sensitivity of Doppler techniques in detecting mitral regurgitation:

Among fifty patients with mitral regurgitation confirmed by left ventriculography, mitral regurgitation was detected in 48 (96%) using color Doppler and pulsed Doppler echocardiography; in 41 (82%) by HPRF Doppler; and in 37 (74%) by continuous wave Doppler echocardiography.

In 103 consecutive normal volunteers, mitral regurgitant signals were detected in 46 (45%) by color Doppler, in 39 (38%) by pulsed Doppler, in 16 (16%) by HPRF Doppler, and in 8 (8%) by continuous wave Doppler echocardiography.

2. Timing and duration of regurgitant signals:

To assess the timing and duration of regurgitant signals, 43 patients with regurgitant signals of short duration during systole or diastole were studied using M-mode color Doppler echocardiography. Using the latter method, regurgitant signals throughout systole and the isovolumic relaxation period could be demonstrated in all but four patients who had regurgitant signals of short duration during systole, but suggesting mitral or tricuspid regurgitation. In all patients with regurgitant signals of short duration during diastole, aortic or pulmonary regurgitant signals throughout diastole could

be demonstrated with M-mode color Doppler echocardiography. Thus, this technique is superior to conventional pulsed Doppler echocardiography for detecting accurate timing and duration of valvular regurgitation.

3. Peak velocity of regurgitant flow:

To compare the peak velocity of regurgitant flow by continuous wave Doppler and by HPRF Doppler echocardiography, 20 patients with mitral regurgitation and 22 patients with tricuspid regurgitation were examined using the both methods. In patients with severe mitral regurgitation, the peak velocity detected by HPRF Doppler echocardiography correlated well ($r=0.96$) with that detected by continuous wave Doppler echocardiography. However, in patients with mild mitral regurgitation, the peak velocity detected by HPRF Doppler echocardiography was higher than that detected by continuous wave Doppler echocardiography. In patients with severe tricuspid regurgitation, the peak velocity had a close correlation ($r=0.99$) with the both techniques. In patients with mild tricuspid regurgitation, the peak velocity was higher by HPRF than by continuous wave Doppler echocardiography.

In conclusion, color or pulsed Doppler echocardiography should be used for detecting valvular regurgitation. M-mode color Doppler echocardiography is superior to conventional pulsed Doppler echocardiography for detecting timing and duration of valvular regurgitation. Continuous wave Doppler echocardiography should be used in the evaluation of the peak velocity of regurgitant flow. However, in patients with mild regurgitation, HPRF Doppler echocardiography should be used in evaluating the peak velocity of regurgitant flow.

Key words

Valvular regurgitation

Pulsed Doppler

Continuous wave Doppler

Color Doppler

はじめに

超音波ドップラー法は非観血的に弁逆流を診断できる方法として広く臨床に応用されている¹⁻¹²⁾。ドップラー法は、パルス・ドップラー法と連続波ドップラー法に大別される。最近開発されたカラードップラー心エコー図法はパルス・ドップラー法に属するが、本法は断層心エコー図上にドップラーシグナルをカラーで表示できるため、弁逆流の診断に極めて有用であるとされている¹³⁻¹⁵⁾。しかしながら、これら各種ドップラー法の特徴や弁逆流検出精度¹⁶⁾については、いまだ十分には検討されていない。今回の研究の目的は、弁逆流の診断における各種ドップラー法の有用性と限界について比較検討することにある。

対象と方法

対象は臨床症状を有し、理学的所見より弁逆流

が疑われ、通常のパルス・ドップラー法、high pulse repetition frequency (HPRF) 法、連続波ドップラー法、カラードップラー法(断層およびMモード法)のすべてを施行した各種弁膜疾患72例と、理学的検査、心電図、胸部レントゲン写真にて異常を認めず、上記の各種ドップラー法のすべてを施行した健常者連続103例である。

超音波診断装置は東芝製SSH-65A、またはAloka製SSD-730を使用し、探触子は2.5MHzをものを使用した。検査方法は、まずカラードップラー法を行い、次にパルス・ドップラー法、更にHPRF法、連続波ドップラー法を行った。これら各種ドップラー法を用いて、

1. 弁逆流の検出精度
2. 弁逆流の時相分析
3. 逆流シグナルの最大速度

について比較検討した。

1. 弁逆流の検出精度

弁逆流の検出精度に関しては、左室造影により僧帽弁逆流が確認された 50 例と、健常者 103 例を対象とした。

カラードップラー法における房室弁逆流の診断基準は、収縮期に弁接合部より心房に向かう血流シグナルが認められ、その持続が M モードカラードップラー法で 100 msec 以上あるものとした。通常のパルス・ドップラー法での房室弁逆流の診断基準は、収縮期に弁接合部より心房内で乱流シグナルが認められ、その持続が 100 msec 以上あり、かつ逆流に特有の audio signal を有するものとした。HPRF 法では、通常のパルス・ドップラー法の基準に加え、最大流速が収縮期のいずれかの時相で 2 m/sec を越えるものとした。連続波ドップラー法の房室弁逆流の診断基準は、房室弁の方向に超音波ビームを向けたとき、収縮期のいずれかの時相で 2 m/sec 以上の流速が捉えられるものとした。

2. 弁逆流の時相分析

弁逆流の時相分析は、従来、パルス・ドップラー法により行われてきたので、今回は通常のパルス・ドップラー法と M モードカラードップラー法とを比較した。すなわち、パルス・ドップラー法では、収縮期または拡張期の一時相にしか逆流シグナルを得ることができなかった 43 例を対象とした。その内訳は僧帽弁逆流 15 例、三尖弁逆流 13 例、大動脈弁逆流 7 例、肺動脈弁逆流 8 例であった。

3. 逆流シグナルの最大速度

パルス・ドップラー法(カラードップラー法も含めて)は折り返し現象のため、高速の血流を捉えるのには適さず、従来は、連続波ドップラー法により逆流シグナルの最大速度の測定がなされてきた。したがって、逆流シグナルの最大速度に関しては、今回は連続波ドップラー法と HPRF 法とで比較した。すなわち、カラードップラー法により僧帽弁逆流または三尖弁逆流シグナルが検出された 42 例を対象とした。内訳は僧帽弁逆流 20

例(高度逆流例: 9 例, 軽度逆流例: 11 例), 三尖弁逆流 22 例(高度逆流例: 13 例, 軽度逆流例: 9 例)である。

結 果

1. 弁逆流の検出精度

各種ドップラー法の検出精度を **Table 1** に示す。左室造影法で僧帽弁逆流が確認された弁膜疾

Table 1. Comparison of sensitivity by four Doppler techniques in detecting mitral regurgitation in patients with mitral valve disease (N=50)

Color Doppler echocardiography	96%
Pulsed Doppler echocardiography	96%
HPRF Doppler echocardiography	82%
Continuous wave Doppler echocardiography	78%

Table 2. Comparison of detection rate of mitral regurgitation in normals by four Doppler techniques (N=103)

Color Doppler echocardiography	45%
Pulsed Doppler echocardiography	39%
HPRF Doppler echocardiography	16%
Continuous wave Doppler echocardiography	8%

患 50 例のうちカラードップラー法により 48 例(96%)に僧帽弁逆流シグナルが検出された。パルス・ドップラー法でも検出率は同じく 96% であった。カラードップラー法、パルス・ドップラー法で逆流が捉えられなかった 2 例は超音波が入りにくい例であった。一方、HPRF 法では 82%、連続波ドップラー法では 74% と検出率はやや低かった。HPRF 法、連続波ドップラー法で逆流が検出できなかった症例はすべて逆流が軽度の例であった。

健常者 103 例での成績を **Table 2** に示す。カラードップラー法では、46 例(45%)に逆流シグナルが検出された。パルス・ドップラー法での検出率は 38% とカラードップラー法に比べてやや劣った。これに対し、HPRF 法の検出率は 16%、

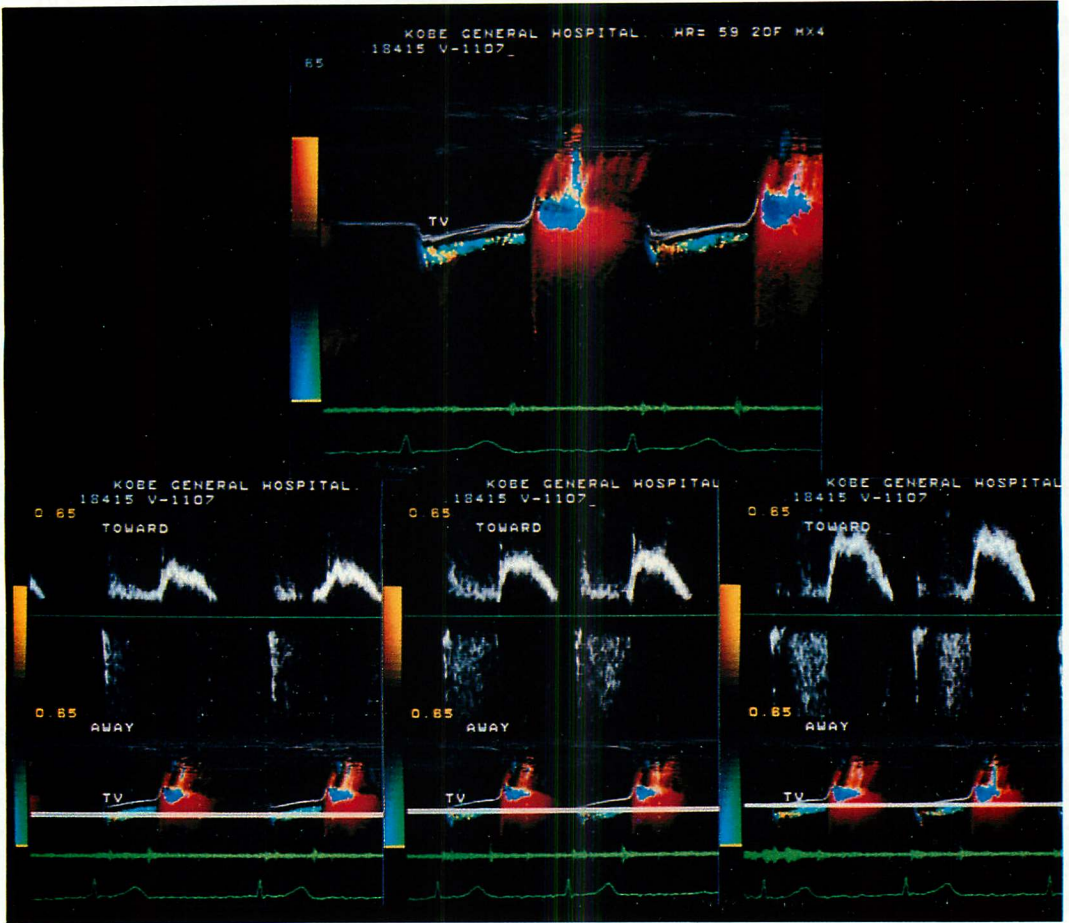


Fig. 1. M-mode color Doppler (upper panel) and pulsed Doppler echocardiograms (lower panel) from a patient with tricuspid regurgitation.

TV=tricuspid valve.

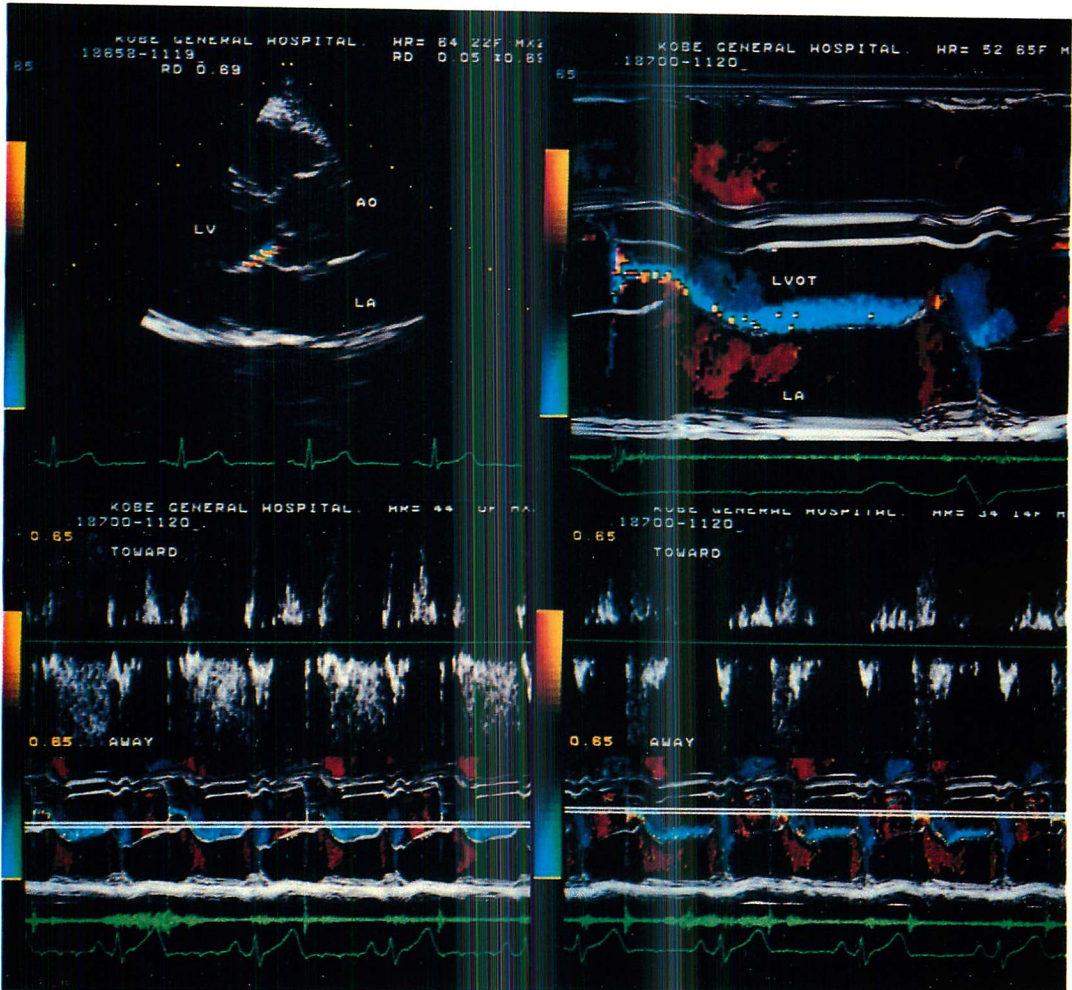


Fig. 2. Two-dimensional color Doppler (upper left panel), M-mode color Doppler (upper right panel) and pulsed Doppler (lower panel) echocardiogram of a patient with aortic regurgitation.

Ao=aorta; LA=left atrium; LV=left ventricle; LVOT=left ventricular outflow tract.

連続波ドップラー法では 8% と著しく低かった。

2. 弁逆流の時相分析

通常のパルス・ドップラー法では収縮期の一部でしか逆流シグナルが捉えられなかった僧帽弁逆流 15 例中 12 例, 三尖弁逆流 13 例中 12 例について, M モードカラードップラー法により収縮初期から等容拡張期に至る逆流シグナルを検出することが可能であった (Fig. 1)。すなわち, M モードカラードップラー法によれば通常のパルス・ドップラー法よりも長く逆流シグナルを検出することが可能であった。また, 通常のパルス・ドップラー法では拡張期の一部でしか逆流シグナルが捉えられなかった大動脈弁逆流 7 例, 肺動脈弁逆流 8 例の全例で M モードカラードップラー法により拡張期の全時相で逆流シグナルを捉えることができた (Fig. 2)。

3. 逆流シグナルの最大速度

僧帽弁逆流での成績を Fig. 3 に示す。高度逆流例 9 例 (黒丸) での逆流シグナルの最大速度は HPRF 法, 連続波ドップラー法ともに極めて近似しており ($r=0.96$), その流速は 4.2 m/sec 以上で, 左室-左房圧較差を示すと考えられる妥当な値が得られている。

Fig. 4 に重症僧帽弁逆流での実例を示す。HPRF 法, 連続波ドップラー法ともに, 全収縮期にわたり明瞭な逆流シグナルが認められ, その最大速度は両者ともに 5 m/sec を越えている。

一方, 軽度の逆流例 11 例 (白丸) では, HPRF 法の方が連続波ドップラー法に比べ高い値を示した。更にその値は連続波ドップラー法で 1.4 m/sec から 4.4 m/sec と低値を示し, 左室-左房圧較差を反映すると考えられる値は大部分の例で検出されなかった。

Fig. 5 に軽症僧帽弁逆流の実例を提示する。HPRF 法, 連続波ドップラー法ともに境界の明瞭な逆流シグナルが認められておらず, 逆流シグナルの最大流速は HPRF 法で 4 m/sec, 連続波ドップラー法で 2 m/sec を示している。

三尖弁逆流でも, Fig. 6 に示すごとく, 高度の

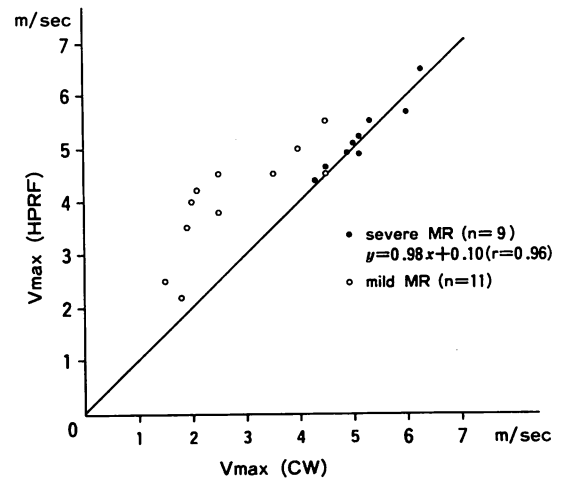


Fig. 3. Relationship of peak velocities between continuous wave Doppler echocardiography and HPRF Doppler echocardiography in patients with mitral regurgitation.

MR=mitral regurgitation.

逆流例 (黒丸) は, 逆流シグナルの最大速度が連続波ドップラー法と HPRF 法でほぼ同じであったが ($r=0.99$), 軽度の逆流例 (白丸) では, 逆流シグナルの最大速度は HPRF 法の方が連続波ドップラー法に比べ高値を示した。

考 察

超音波ドップラー法は非観血的に弁逆流を診断できる方法として広く臨床に応用されている¹⁻¹²⁾。パルス・ドップラー法はある特定の部位での血流シグナルを捉えることができるため, 主に弁逆流の定性診断あるいは重症度評価に用いられている。一方, 連続波ドップラー法^{7,8)}は特定の部位での血流シグナルは分析できないが, 超音波ビーム上の高速の血流を捉えることが可能で, 主として弁狭窄の定量的診断に利用されている。比較的最近開発されたカラードップラー法¹³⁻¹⁶⁾はパルス・ドップラー法に属するが, 本法は実時間で二次元の血流情報を得ることができるため, 弁逆流の診断に極めて有用であるとされている。しかしながら, これら各種ドップラー法の特徴や弁逆流検出

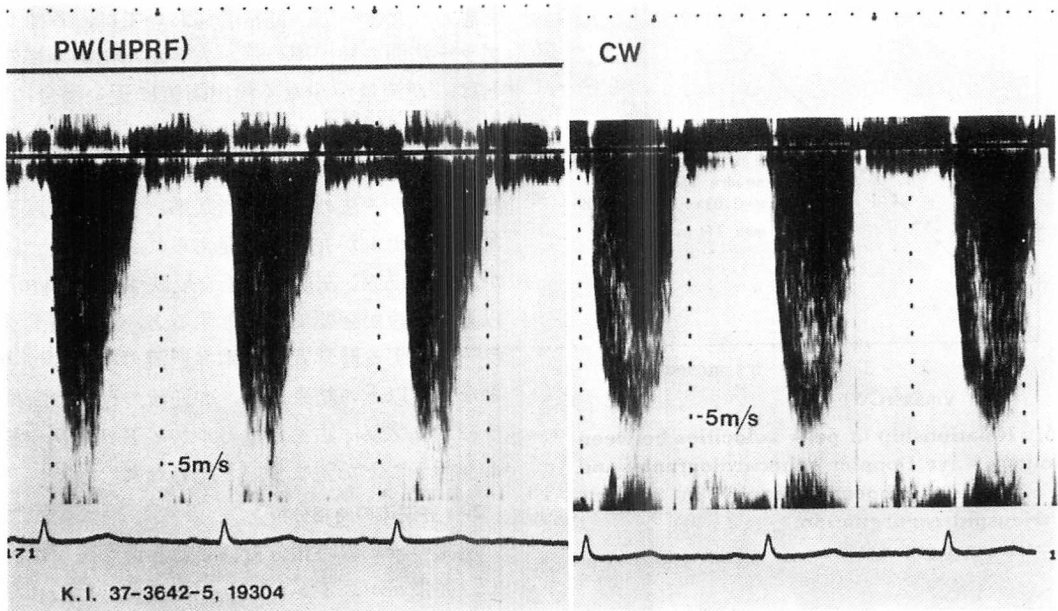


Fig. 4. HPRF Doppler (left) and continuous wave Doppler (right) echocardiograms of a patient with severe mitral regurgitation.

The peak velocity detected by HPRF Doppler is about 5 m/sec and it coincides with that detected by continuous wave Doppler echocardiography.

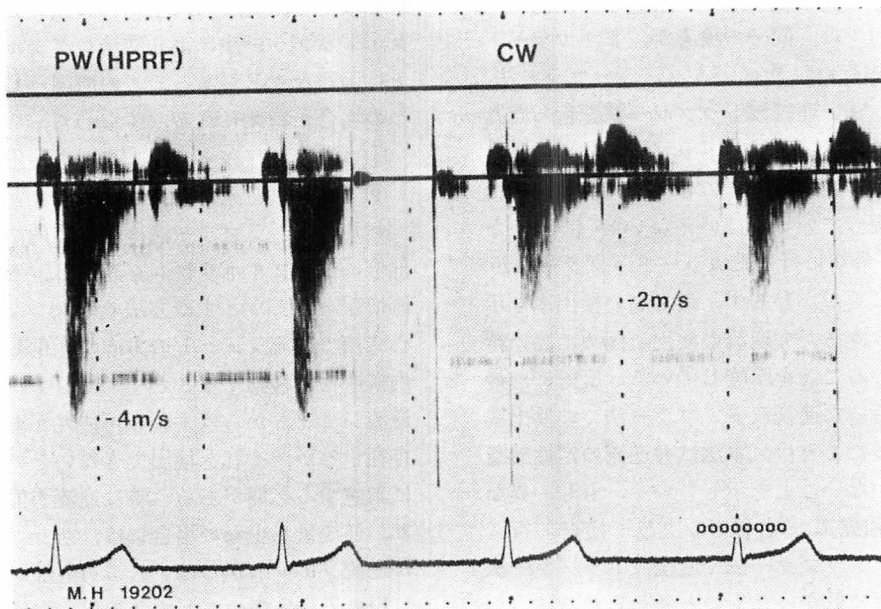


Fig. 5. HPRF Doppler (left) and continuous wave Doppler (right) echocardiograms of a patient with mild mitral regurgitation.

The peak velocity detected by HPRF Doppler is about 4 m/sec and it is greater than that detected by continuous wave Doppler echocardiography.

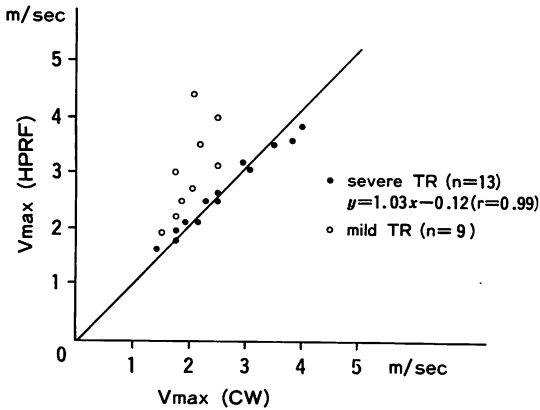


Fig. 6. Relationship of peak velocities between continuous wave Doppler echocardiography and HPRF Doppler echocardiography in patients with tricuspid regurgitation.

TR=tricuspid regurgitation.

精度についてはいまだ十分には検討されておらず、弁逆流の定性診断に連続波ドップラー法を用いている研究者もいる。

1. 弁逆流の検出精度

今回の検討では、同一の検者が、まずカラードップラー法を行い、次にパルス・ドップラー法、更に HPRF 法、連続波ドップラー法を行ったため、検者は前に行った他のドップラー法の結果を知っており、本当の意味での各ドップラー法の検出精度を表現しているとはいえないかもしれない。しかし、最初に行ったカラードップラー法が、不利な条件にもかかわらず、最も高い検出率を示したことは、本法が弁逆流の検出に極めて高い精度を有していることを示唆している。反対に、最後に検査を行った連続波ドップラー法での検出率が最も低かったことは、本法は弁逆流の定性診断には適していないことを示している。もし、異なった検者が独立して各種ドップラー検査を行えば、パルス・ドップラー法や連続波ドップラー法の検出率は更に低かったものと考えられる。

比較的逆流量の多いと考えられる弁膜疾患では検出率の差は少なかったが、これは逆流量が多ければどの検査法でも逆流を捉えることができるため

と思われた。一方、健常者においては、各種ドップラー法間の検出率の差が大きかったが、このことは、逆流量が少なく検出閾値に近い場合には、ある方法で捉えられても他の方法では捉えられない場合が多くなるためと考えられた。今回の連続波ドップラー法の逆流診断基準は 2 m/sec 以上の血流シグナルが弁付近で捉えられることとしたが、もし、左室-左房圧較差を反映する 4~5 m/sec 以上の流速が必要であるとすると、連続波ドップラー法による健常者の僧帽弁逆流の検出率は 0% となる。以上の結果から、弁逆流の存在診断はカラードップラー法またはパルス・ドップラー法により行うことが望ましいと思われた。

2. 弁逆流の時相分析

逆流の細かい時相分析は心血管造影法では困難で、従来パルス・ドップラー法により行われてきた。通常、房室弁逆流は、弁閉鎖に始まり、等容拡張期(弁開放直前)まで続き、半月弁逆流は半月弁閉鎖から等容収縮期まで続くと考えられる。しかしながら、実際には上述の時相のすべてにパルス・ドップラー法により逆流シグナルを捉えることは困難なことがある。この原因としては次の二つの場合が考えられる。すなわち、

- ① 逆流は存在するが、それを検出できない。
- ② 実際に逆流が存在しない。

パルス・ドップラー法は、心腔内の目的とする部位にサンプルボリュームを設定し、その部位の血流情報を得ようとする方法である。したがって、心時相で逆流ジェットの方法が変化したり、心腔内構造物が移動することで、サンプルボリュームが逆流ジェットからはずれる可能性があり、逆流は存在するが、それを検出できないということを常に考慮する必要がある。特に逆流が偏位していたり、逆流量が少ない場合には、サンプルボリュームが逆流ジェットからはずれる可能性が大きい¹⁷⁾。

Fig. 7 は、極めてわずかの房室弁逆流の断層カラードップラー心エコー図、M モードカラードップラー心エコー図、通常のパルス・ドップラー心エコー図の所見を模式的に示したものである。

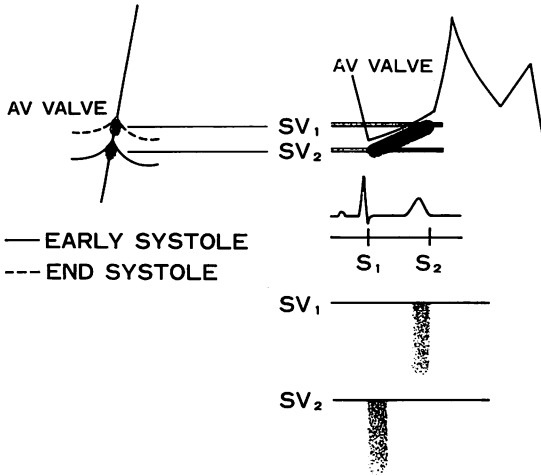


Fig. 7. Schematic representation of two-dimensional color Doppler (left), M-mode color Doppler (upper right) and pulsed Doppler (lower right) echocardiogram observed in trivial atrioventricular valve regurgitation.

AV VALVE=atrioventricular valve; S₁=first heart sound; S₂=second heart sound; SV=sample volume.

極めてわずかの房室弁逆流では、左図に示すごとく、逆流ジェットが移動する方向と平行に超音波ビームを設定しても、収縮期の全時相にわたってサンプルボリュームを逆流ジェット上に設定することが困難である。そのため、パルス・ドップラー法では SV₁ にサンプルボリュームを設定した時は収縮後期に、SV₂ に設定した時は収縮早期のみにしか逆流シグナルを得ることができない。一方、Mモードカラードップラー法では、逆流ジェットが移動する方向に超音波ビームを設定することができれば、収縮早期から等容拡張期に至る逆流シグナルを検出することができる。

他方、僧帽弁逸脱のように逆流ジェットが極めて偏位している場合には、Fig. 8 に示すごとく、逆流ジェットが弁や弁輪部の動きに応じて移動するため、サンプルボリュームを収縮期の全時相にわたって逆流ジェット上に設定するのは困難である。そのため、ごく微小な逆流と同様に、収縮期

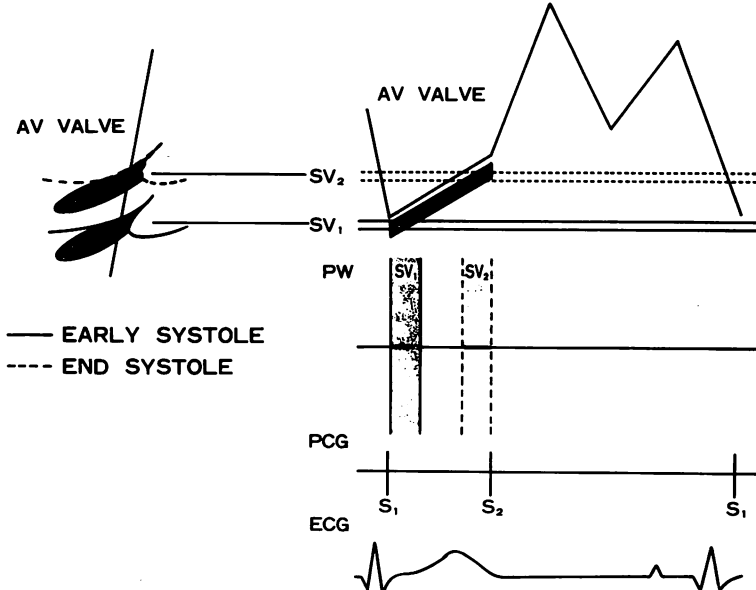


Fig. 8. Schematic representation of two-dimensional color Doppler (left), M-mode color Doppler (upper right) and pulsed Doppler (lower right) echocardiograms showing eccentric atrioventricular valve regurgitation.

AV VALVE=atrioventricular valve; ECG=electrocardiogram; PCG=phonocardiogram; PW=pulsed Doppler echocardiogram; S₁=first heart sound; S₂=second heart sound; SV=sample volume.

の一時相だけでしか逆流シグナルを検出することができない。しかし、Mモードカラードップラー法では Fig. 8 左に示すごとく、大多数の症例で、どの時相においても、逆流ジェットの内側のいずれかの部位を横切るようにビーム方向を設定することが可能であり、収縮早期から等容拡張期まで逆流シグナルを検出できるものと考えられる。

大動脈弁逆流や肺動脈弁逆流においても、Mモードカラードップラー法によれば、パルス・ドップラー法よりも長い時相で逆流シグナルを捉えることが可能であった。

上述したごとく、パルス・ドップラー法を用いて、逆流の開始や持続時間を検討する場合の問題点は、サンプルボリュームが逆流ジェットからはずれるために、逆流シグナルを検出できないことがあるということである。これに対して、Mモードカラードップラー法では超音波ビーム上のすべての血流情報を捉えることができるため、(つまり逆流ジェットをパルス・ドップラー法のように小さな“点”で捉えるのではなく“線”で捉えるため)、より高率に、かつ長い時相で捉えることができるものと考えられる。

3. 逆流シグナルの最大速度

今回の検討では、僧帽弁逆流、三尖弁逆流ともに高度の逆流例では逆流シグナルの最大速度が連続波ドップラー法と HPRF 法でほぼ同じであったが、軽度の逆流例では、HPRF 法の方が連続波ドップラー法に比べ高い値を示した。このことは、逆流量が多ければ、HPRF 法、連続波ドップラー法ともに逆流シグナルの最大速度が感度良く明瞭に捉えられることを示している。Fig. 9 下に示すごとく、高度の逆流例では、超音波ビーム内に含まれる高流速の赤血球が多く、十分なシグナルが得られるため、明瞭な最大流速が得られるものと考えられる。一方、軽度の逆流例では (Fig. 9 上)、逆流血流の中に含まれる赤血球の数が少ないため、十分なシグナルが得られず明瞭な最大速度が得られないものと考えられ、更に、感度の低い連続波ドップラー法の方がより低い最大速度し

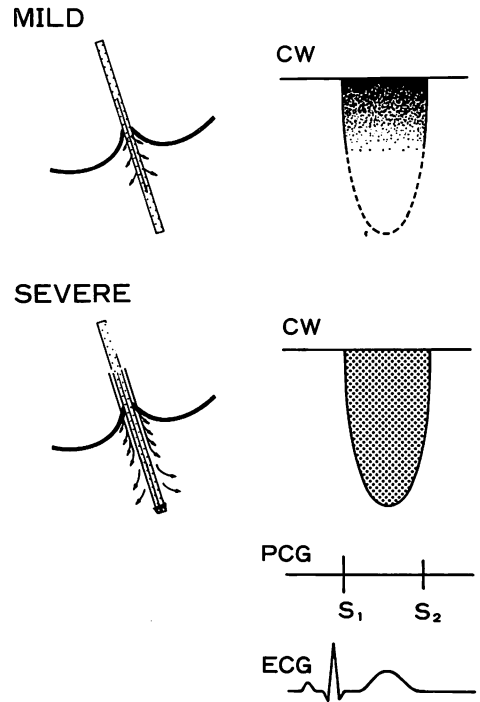


Fig. 9. Schematic representation of regurgitant signals in patients with severe (lower panel) and mild (upper panel) atrioventricular regurgitation detected by continuous wave Doppler echocardiography.

The regurgitation flow in patients with severe regurgitation contains a number of red cells, and well-defined-signals with clear peaks can be obtained. Since the regurgitation flow in patients with mild regurgitation does not contain a large number of red cells, well-defined-signal velocities cannot be obtained.

か検出できないものと思われる¹⁸⁾。とくに、僧帽弁逆流において、高度逆流例での逆流シグナルの最大速度は左室-左房圧較差を示すと考えられる妥当な値を示したが、軽度の逆流例では、逆流シグナルの最大速度は左室-左房圧較差を示すと考えられる妥当な値より明らかに低値を示し、更に、連続波ドップラー法の方が HPRF 法に比べ低い値を示した。これらの結果は、逆流量の少ない場合には、HPRF 法あるいは連続波ドップラー法により得られた逆流シグナルの最大速度が過小

評価される可能性があることを示しており、更に、連続波ドップラー法の方が HPRF 法よりも検出感度が低いことを示している。したがって、連続波ドップラー法で妥当な値が得られない場合や、明瞭なシグナルが捉えられない時には、HPRF 法を試みる必要があるものと思われる。

要 約

弁逆流の診断における各種ドップラー法の臨床的有用性を評価するために、通常のパルス・ドップラー法、カラードップラー法、連続波ドップラー法、HPRF 法を用いて、

1. 弁逆流の検出精度
2. 弁逆流の時相分析
3. 逆流シグナルの最大速度

について比較検討した。

1. 弁逆流の検出精度

左室造影法で僧帽弁逆流が確認された弁膜疾患 50 例のうちカラードップラー法により 48 例 (96%) に僧帽弁逆流シグナルが検出された。パルス・ドップラー法でも検出率は同じく 96% であった。一方、HPRF 法では 82%、連続波ドップラー法では 74% と検出率はやや低かった。

健常者 103 例での検討では、カラードップラー法によれば、46 例 (45%) に逆流シグナルが検出された。パルス・ドップラー法での検出率は 38% とカラードップラー法に比べやや劣った。これに対し、HPRF 法の検出率は 16%、連続波ドップラー法では 8% と著しく低かった。

2. 弁逆流の時相分析

弁逆流の時相分析に関しては、通常のパルス・ドップラー法では収縮期または拡張期の一部しか逆流シグナルが捉えられない弁逆流 43 例に対し、M モードカラードップラー法を行い検討した。M モードカラードップラー法によれば、通常のパルス・ドップラー法では収縮期の一部でしか逆流シグナルが捉えられなかった房室弁逆流のうち 4 例を除く全例に収縮初期から等容拡張期に至る逆流シグナルを検出することが可能であった。ま

た、通常のパルス・ドップラー法では拡張期の一部でしか逆流シグナルが捉えられなかった大動脈弁逆流 7 例、肺動脈弁逆流 8 例の全例で M モードカラードップラー法により拡張期の全時相で逆流シグナルを捉えることができた。このように、M モードカラードップラー法は、弁逆流の時相分析において通常のパルス・ドップラー法より精度が高かった。

3. 逆流シグナルの最大速度

逆流シグナルの最大速度に関しては、20 例の僧帽弁逆流と 22 例の三尖弁逆流を対象に、連続波ドップラー法と HPRF 法とを比較検討した。高度僧帽弁逆流例での逆流シグナルの最大速度は HPRF 法、連続波ドップラー法ともに極めて近似していた ($r=0.96$)。一方、軽度の僧帽弁逆流例では、HPRF 法の方が連続波ドップラー法に比べ高い値を示した。三尖弁逆流でも、高度の逆流例では逆流シグナルの最大速度は連続波ドップラー法と HPRF 法はほぼ同じであったが ($r=0.99$)、軽度の逆流例では、逆流シグナルの最大速度は HPRF 法の方が連続波ドップラー法に比べ高値を示した。

以上の結果から、弁逆流の定性診断にはカラードップラー法または通常のパルス・ドップラー法を用いるべきであり、弁逆流の時相分析には M モードカラードップラー法が適していると考えられた。また、逆流シグナルの最大速度の検出には原則として連続波ドップラー法が適しているが、感度が HPRF 法に比べ劣るため、軽度の逆流例での最大速度の検出には HPRF 法も使用すべきであると結論した。

文 献

- 1) 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
- 2) Quinones MA, Young JB, Waggoner AD, Ostojic MC, Ribeiro LG, Miller RR: Assessment of pulsed Doppler echocardiography in detection and quan-

- tification of aortic and mitral regurgitation. *Br Heart J* **44**: 612-620, 1980
- 3) Waggoner AD, Quinones MA, Young JB, Brandon TA, Shah AA, Verani MS, Miller RR: Pulsed Doppler echocardiographic detection of right-sided valve regurgitation: Experimental results and clinical significance. *Am J Cardiol* **47**: 279-286, 1981
 - 4) Richards KL, Cannon SR, Crawford MH, Sorenson SG: Noninvasive diagnosis of aortic and mitral valve disease with pulsed Doppler spectral analysis. *Am J Cardiol* **51**: 1122-1127, 1983
 - 5) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Ohta M, Kozuka T, Sakakibara H, Nimura Y: Evaluation of tricuspid regurgitation by pulsed Doppler and two-dimensional echocardiography. *Circulation* **66**: 777-782, 1982
 - 6) Garcia-Dorado D, Falzgraf S, Almazan A, Delcan JL, Lopez-Bescos L, Menarguez L: Diagnosis of functional tricuspid insufficiency by pulsed-wave Doppler ultrasound. *Circulation* **66**: 1315-1321, 1982
 - 7) Yock PG, Popp RL: Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation* **70**: 657-662, 1984
 - 8) Stevenson JG, Kawabori I: Noninvasive determination of pressure gradient in children. *J Am Coll Cardiol* **3**: 179-185, 1984
 - 9) Yock PG, Schnittger I, Popp RL: Is continuous wave Doppler too sensitive in diagnosing pathologic valvular regurgitation? *Circulation* **70**: (Suppl I): I-381, 1984 (abstr)
 - 10) Kostucki W, Vandenbossche JL, Friart A, Englert M: Pulsed Doppler regurgitant flow patterns of normal valves. *Am J Cardiol* **58**: 309-313, 1986
 - 11) Come PC, Riley MF, Carl LV, Nakao S: Pulsed Doppler echocardiographic evaluation of valvular regurgitation in patients with mitral valve prolapse: Comparison with normal subjects. *J Am Coll Cardiol* **8**: 1355-1364, 1986
 - 12) 吉田 清, 吉川純一, 赤土正洋, 赤阪隆史, 城 泰子, 高尾精一, 白鳥健一, 奥町富久丸, 小泉克巳, 八木登志員, 前西文秋, 加藤 洋, 深谷 隆: 若年健常者における正常弁逆流の頻度: 超音波ドプラ法による検討. *日超医講演論文集* **49**: 171-172, 1986
 - 13) Omoto R, Yokote Y, Takamoto S, Kyo S, Ueda K, Asano H, Namekawa K, Kasai C, Kondo Y, Koyano A: The development of real-time two-dimensional Doppler echocardiography and its clinical significance in acquired heart diseases with special reference to the evaluation of valvular regurgitation. *Jpn Heart J* **25**: 325-340, 1984
 - 14) Miyatake K, Izumi S, Okamoto M, Kinoshita N, Asonuma H, Nakagawa H, Yamamoto K, Takamiya M, Sakakibara H, Nimura Y: Semi-quantitative grading of severity of mitral regurgitation by real-time two-dimensional Doppler flow imaging technique. *J Am Coll Cardiol* **7**: 82-90, 1986
 - 15) Helmcke F, Nanda NC, Hsiung MC, Soto B, Adey CK, Goyal RG, Gatewood RP: Color Doppler assessment of mitral regurgitation with orthogonal planes. *Circulation* **75**: 175-183, 1987
 - 16) 宮武邦夫: 弁膜疾患. *Therapeutic Res* **7**: 489-495, 1987
 - 17) 赤阪隆史, 吉川純一, 吉田 清, 赤土正洋, 城 泰子, 高尾精一, 白鳥健一, 奥町富久丸, 小泉克巳, 八木登志員, 前西文秋, 加藤 洋, 深谷 隆: 弁逆流診断における M モードカラー Doppler 法の有用性: *日超医講演論文集* **49**: 173-174, 1986
 - 18) 赤土正洋, 吉川純一, 吉田 清, 赤阪隆史, 城 泰子, 高尾精一, 白鳥健一, 奥町富久丸, 小泉克巳, 八木登志員, 前西文秋, 加藤 洋, 深谷 隆: 軽度房室弁逆流の検出におけるカラー Doppler 法, パルス・ドプラ法, 連続波ドプラ法の意義と問題点: *日超医講演論文集* **49**: 161-162, 1986