

断層心エコー・ドプラー法
による僧帽弁逆流の検出精
度と程度評価に関する検討

Mitral regurgitation:
Detection and quantita-
tive evaluation by two-
dimensional Doppler
echocardiography

大和 眞史*
榑原 博
宮武 邦夫
岡本 光師
木下 直和
上田 栄蔵
船橋 徹
仲宗根 出
仁村 泰治

Mafumi OHWA*
Hiroshi SAKAKIBARA
Kunio MIYATAKE
Mitsunori OKAMOTO
Naokazu KINOSHITA
Eizo UEDA
Tohru FUNAHASHI
Izuru NAKASONE
Yasuharu NIMURA

Summary

Mitral regurgitation was detected and quantitatively evaluated using two-dimensional Doppler-echocardiography. The subjects consisted of 74 cases having a variety of heart diseases, who underwent left ventriculography within one week before or after the Doppler study.

1. Among 50 patients with mitral regurgitation confirmed by left ventriculography, the Doppler study detected mitral regurgitant flow signals in 46, for a sensitivity of 92%. Minimal mitral regurgitation in four cases could not be detected by Doppler studies. Twenty-four patients had no mitral regurgitation according to left ventriculography; all but one also had no mitral regurgitation by Doppler study, for a specificity of 96%. In one false positive case, typical mitral regurgitant flow signals were detected in an area localized within the left atrial cavity near the mitral valve orifice. The possibility remains that left ventriculography missed this minimal regurgitation.

2. For quantitative assessment of mitral regurgitation, the following two methods were used.

1) Three long-axis views through the lateral, middle and medial parts of the mitral valve, and a short-axis view at the level of the mitral orifice were imaged via the parasternal approach. The area where mitral regurgitant flow signals were detected was mapped on each cross-sectional echocardiogram, then the distance attained by the regurgitant flow from the mitral valve and the area covered by the regurgitant flow were determined. The maximal distance among the three long-axis views

国立循環器病センター
吹田市藤白台 5-125 (〒565)
*(現)福山循環器病院 内科
福山市住吉町 1-26 (〒720)

National Cardiovascular Center, Fujishiro-dai 5-125,
Suita 565
* (present address): Fukuyama Hospital, Fukuyama

Received for publication October 11, 1984; accepted November 2, 1984 (Ref. No. 24-17)

and the sum of the distances in these views was parallel to the severity of mitral regurgitation as assessed by left ventriculography. Similar relations were observed between the maximum area and the sum of the area covered by the regurgitant flow in the three long- and the short-axis views and the severity of mitral regurgitation as assessed by left ventriculography.

2) The severity of mitral regurgitation was graded on a four-point scale based on the farthest point reached by regurgitant flow signals in the left atrial cavity. The grades of mitral regurgitation estimated by Doppler method and by left ventriculography agreed in 31, differed by one point level in 13 and by two point levels in two cases. The grading method by Doppler method seems clinically applicable because of its feasibility and its high correlation with the grade of mitral regurgitation as estimated by left ventriculography.

Key words

Mitral regurgitation Doppler echocardiography

はじめに

リアルタイム・ドプラー断層心エコー図法の発達により、心臓や深部大血管の血流分析の精度が高まり、また分析法も精細になるとともに、種々な臨床応用が試みられつつある¹⁻³⁾。

僧帽弁閉鎖不全については、超音波パルス・ドプラー法により、その逆流を非侵襲的に検出できることは、すでに確かなものとなっている⁴⁻⁸⁾。本研究では、更にこれに続いて、リアルタイム・ドプラー断層心エコー図法による僧帽弁逆流の検出率を検討せんとした。また、既にドプラー法によって逆流の程度を論じようとする試みは幾つかある。しかし、これらの報告では、ドプラー・サンプル領域の位置モニターとして用いられたのはすべて M モード心エコー図であった⁵⁻⁸⁾。しかし本研究では、新たに二次元的な立場から、左房内での逆流シグナルの出現範囲と僧帽弁逆流の程度の関係を検討し、更にその結果に基づいて、ドプラー法によって逆流程度を簡便に評価するための指標を求めた。

対 象

対象は 1981 年 7 月から 1982 年 2 月までの間に、ドプラー検査と左室造影とをともに施行したもののうち、僧帽弁逆流に関して分析可能な記録が得られた連続 74 例である。その年齢は 16~72

Table 1. Classification of subjects examined

Underlying conditions	Degree of MR based on LVG					Cases
	0	1	2	3	4	
RHD	9	7	5	8	6	35
IHD	8	4	3	0	0	15
CHD	4	0	2	1	2	9
MVP	0	1	0	1	5	7
Miscellaneous	3	1	3	0	1	8
Cases	24	13	13	10	14	74

RHD=rheumatic heart disease; IHD=ischemic heart disease; CHD=congenital heart disease; MVP=idiopathic mitral valve prolapse; MR=mitral regurgitation; LVG=left ventriculography.

歳、平均は 48 歳である。基礎疾患の内訳は、リウマチ性弁膜症 35 例、虚血性心疾患 15 例、先天性心疾患 9 例、特発性僧帽弁逸脱症 7 例、大動脈炎症候群 3 例、感染性心内膜炎、肥大型心筋症、うっ血型心筋症、大動脈弁輪拡張症、本態性高血圧症各 1 例である (Table 1)。これらの診断は、ドプラー法は別として、一応、臨床所見、一般臨床検査、断層心エコー図などによって下されており、更に診断確定のために、上記の如く、左室造影が行われている。

方 法

1. 装置

使用装置はリアルタイム断層エコー・ドプラー

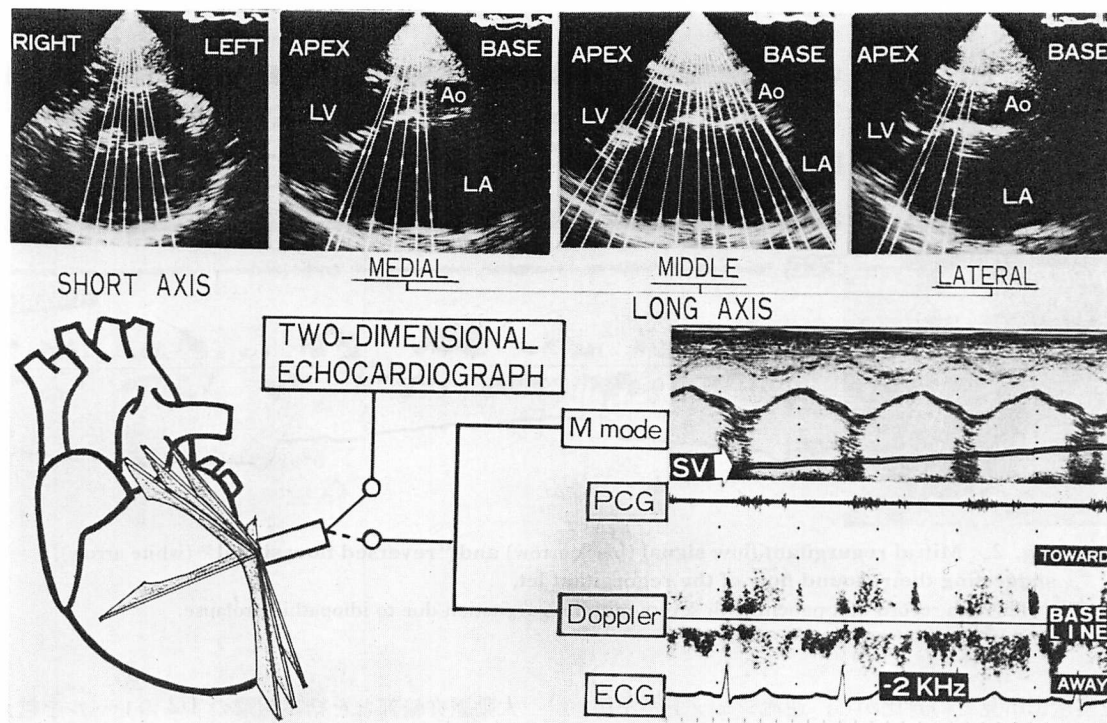


Fig. 1. Diagram of real-time Doppler echocardiography for detecting and estimating mitral regurgitation.

Upper: Two-dimensional echocardiographic planes used to map the distribution of regurgitant signals. The areas encircled by white dots indicate the localization of the regurgitant flows in the left atrial cavity.

Lower: Simultaneous recording of Doppler signals with the M-mode echocardiogram, phonocardiogram (PCG), and electrocardiogram (ECG).

LV=left ventricle; LA=left atrium; Ao=ascending aorta; SV=sampling volume; Middle=middle part; Medial=posterior commissure side; Lateral=anterior commissure side.

装置(東芝製 SSH-11A/SDS-10A)で、その超音波周波数は 2.4 MHz, パルス繰り返し数は 4 kHz と 6 kHz の可変式で、これにより深さ 16 cm までの血流計測が可能である。サンプル領域の大きさは幅 4 mm, 深さ方向 2 mm の tear-drop 形である。ドプラー信号はリアル・タイムに高速フーリエ解析(FFT)方式で周波数分析し、サウンド・スペクトログラムの形で表示され、同一ビームによる M モード心エコー図、心電図、心音図とともに同時記録された (Fig. 1)。

2. 検査実施方法と結果の扱い方

1) 僧帽弁逆流の検出ならびに逆流シグナルの

判定基準

左傍胸部および心尖部からアプローチし、断層図上でサンプル領域を確認しつつ、左房内を広く検索した。僧帽弁逆流シグナルであることの判定基準としては、そのシグナルが、① 収縮期の 1/2 以上にわたること、② 僧帽弁口から左房内にかけて連続して記録されること、③ 一方向性ないし両方向性の乱流性パターンであること、などの 3 条件を満たすものとした。なお、この際、逆流シグナルの周辺で、探触子方向、すなわち、ここでは僧帽弁方向に向う比較的流速の遅い、やや乱れた血流を認める場合があり (Fig. 2)、これは

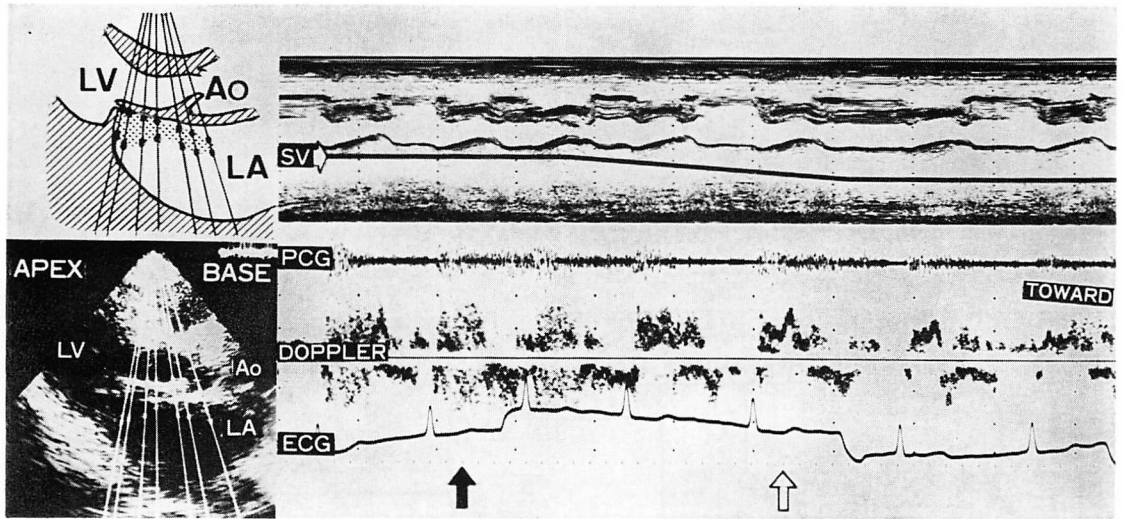


Fig. 2. Mitral regurgitant flow signal (black arrow) and “reversed flow signal” (white arrow), suggesting the rebound flow of the regurgitant jet.

This is a record of a patient with severe mitral regurgitation due to idiopathic prolapse.

左室造影所見との対比から、逆流ジェットが左房内で反転したものと考えられたが、今回はこのような反転血流は採らなかつた。

2) 僧帽弁逆流シグナル検出範囲とそれに基づく逆流程度分類

傍胸骨アプローチにより、① 僧帽弁中央、② 前交連から前乳頭筋、③ 後交連から後乳頭筋を通るそれぞれの左室長軸3断面と、僧帽弁口部短軸断面との計4断面を設定した (Fig. 1)。それぞれ、心電図 QRS 波の開始から 0.20 秒後の収縮中期に断層図をフリーズし、この上に既報⁹⁾の如く、僧帽弁逆流シグナルの検出範囲をマッピングした。この方法で得られた逆流シグナルの検出範囲をもとに、僧帽弁口から逆流シグナルが到達する距離、および逆流シグナル検出範囲の面積を計測した。

3) 僧帽弁逆流程度分類の簡便法

i) 僧帽弁逆流程度評価の簡便な方法として、周囲の心内構造物を適宜指標にとり、逆流シグナルの左房内最大到達部位の4段階分類を作成した (Fig. 3)。すなわち、逆流シグナルが僧帽弁口と

大動脈弁輪部とを結ぶ距離の 1/2 のレベルを越えないものを1度、それを越え、しかし大動脈弁輪部のレベルには達しないものを2度、大動脈弁輪部を越えるがその拡がりか 2 cm 未満のものを3度、それ以上拡がるものを4度とした。

ii) 僧帽弁口から逆流シグナルが到達する距離に基づき逆流程度評価の4段階評価を行った。すなわち、到達距離が 2 cm 未満を1度、2 cm 以上 3.5 cm 未満を2度、3.5 cm 以上 5 cm 未満を3度、5 cm 以上を4度とした。

3. ドプラー法による僧帽弁逆流程度評価と左室造影によるそれとの対比

ドプラー検査と左室造影とは前後7日以内に、それぞれ他方の所見を知らない検者によって相互に施行された。

左室造影所見における僧帽弁逆流程度は、Selers 分類に準拠して4段階に分類された。なお、その際の程度評価は、ドプラー所見の結果を知らない専門医によって行なわれた。しかるのち、上述の 1) および 2), 3) にて得られた僧帽弁逆流評価の結果との対比を行った。

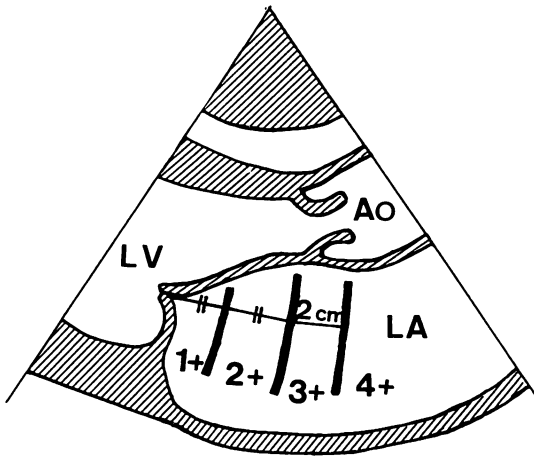


Fig. 3. Grading of the severity of mitral regurgitation on a 4-point scale based on the distance reached by the regurgitant flow signals into the left atrial cavity.

In the long-axis view, mitral regurgitation, the signals of which do not reach the hypothetical line (line 1 in the schematic drawing), is defined as 1+ regurgitation; below the level of the aortic root (line 2) as 2+ regurgitation; and below the level 2 cm superior to the aortic root (line 3) as 3+ regurgitation. Mitral regurgitation, the signals of which reach far from the mitral orifice beyond line 3, is defined as 4+.

結 果

1. 僧帽弁逆流の検出率

左室造影では、74 例中 50 例に僧帽弁逆流が認められた。ドプラー法では、その 50 例中 46 例で僧帽弁逆流シグナルが検出され、4 例では検出されなかった。これらの 4 例は、いずれも左室造影上の僧帽弁逆流は 1 度の症例であった。一方、左室造影で僧帽弁逆流が認められなかった 24 例中 23 例では、ドプラー法でも逆流シグナルは認められなかった。残る 1 例(リウマチ性僧帽弁膜症)では、狭い範囲ながらドプラー法で僧帽弁逆流が検出された (Table 2)。

以上から、左室造影を基準とした場合、僧帽弁逆流検出におけるドプラー法の sensitivity は 92%, specificity は 96% であった。

Table 2. Classification of 74 cases according to Doppler and LVG findings

		Doppler MR	
		(+)	(-)
LVG MR	(+)	46	4
	(-)	1	23

(+)=cases with mitral regurgitation; (-)=cases without mitral regurgitation.

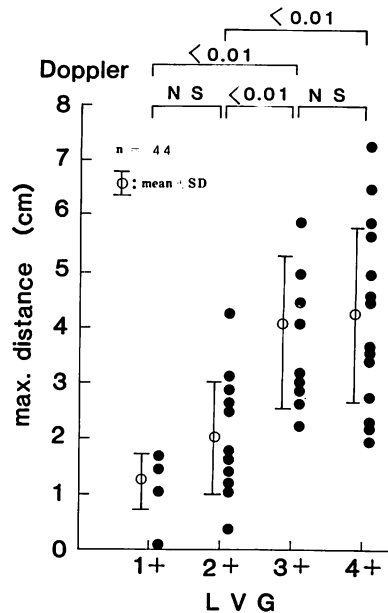


Fig. 4. The maximal distances evaluated by mitral regurgitant signals from the mitral orifice, refer to the grades of mitral regurgitation assessed by left ventriculography.

2. 僧帽弁逆流シグナル検出範囲と逆流程度との対比

1) 逆流シグナルが到達する距離

左室長軸 3 断面中でのそれぞれにおける逆流検出範囲のうち、弁口から最良の逆流シグナル到達距離は、左室造影での逆流程度に対比してその距離が長い傾向がみられた (Fig. 4)。しかし、造影からみた各逆流程度間の分離は必ずしも十分ではなかった。

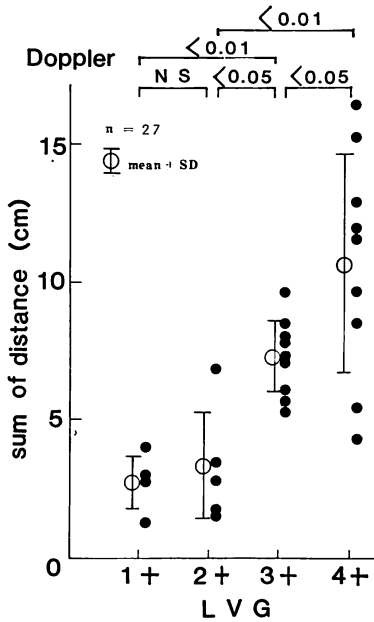


Fig. 5. The sum of the distances reached by mitral regurgitant signals from the mitral orifice in three long-axis views, refer to the grades of mitral regurgitation by left ventriculography.

左室長軸3断面での逆流シグナル到達距離の和も、左室造影での逆流程度と対比し、増大する傾向がみられた (Fig. 5)。最長の到達距離の場合より、造影による逆流程度3度と4度の分離が多少改善された。

2) 逆流シグナル検出面積

左室長軸3断面と僧帽弁口部短軸断面との中で、最大の逆流検出面積は、左室造影上の逆流程度に対比して大きくなる傾向が認められた (Fig. 6)。また、4断面における検出面積の和で検討しても、左室造影による逆流程度との関係は最大検出面積の場合と同様であった (Fig. 7)。

以上の如く、僧帽弁逆流シグナル検出範囲を、到達距離と検出面積という2つの尺度で分析してみると、左室造影上の逆流程度とよく対応して、逆流シグナル検出範囲が大きくなる傾向が認められた。この際、逆流度の分離の点では、到達距離

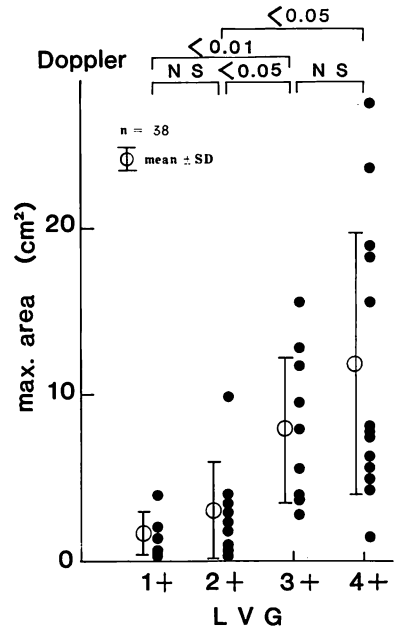


Fig. 6. The largest area covered by mitral regurgitant signals in the left atrium, refer to the grades of mitral regurgitation by left ventriculography.

の方がやや良好であった。

3. 僧帽弁逆流程度評価の簡便法

前項2の結果に基づいて、逆流程度評価の簡便な指標として、i) 僧帽弁逆流シグナルの左房内での最大到達部位から4段階分類する方法を作成し、左室造影所見によって検証した (Fig. 8)。その結果、ドプラー法と左室造影法とによる逆流程度は、46例中31例で一致し、他の例でもおおむね一段階の差に留まった。左室造影法およびドプラー法のいずれにおいても逆流が認められた46例での相関係数は $r=0.82$ ($p<0.001$) であった。ii) 僧帽弁口から逆流シグナルが到達する距離に基づく4段階評価も、ほぼ同様の結果であった (Fig. 9)。44例での相関係数は $r=0.73$ ($p<0.01$) であった。

考 接

僧帽弁逆流はその流れの成分の方向が一方向性のことも、両方向性のこともあるが、そのシグナ

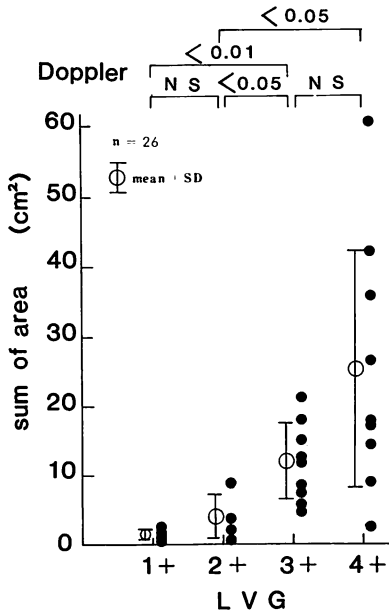


Fig. 7. The sum of the area of mitral regurgitant signals in three long-axis and short-axis views, refer to the grades of mitral regurgitation by left ventriculography.

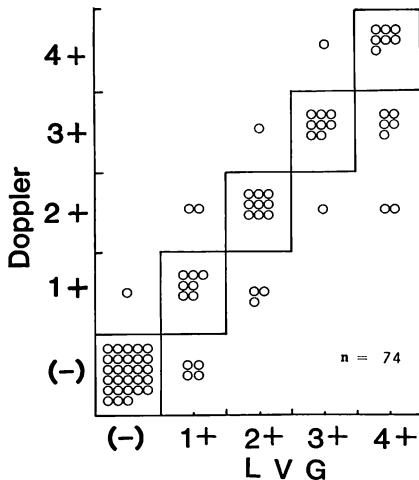


Fig. 8. Relation between the grades of mitral regurgitation assessed by Doppler study based on the points reached by regurgitant signals in the left atrial cavity and that assessed by left ventriculography.

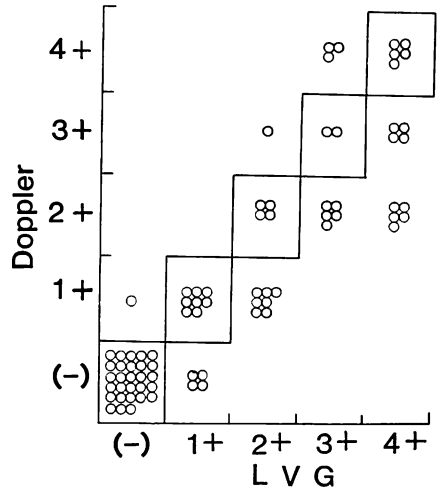


Fig. 9. Relation between the grades of mitral regurgitation assessed by Doppler study based on the maximal distances reached by regurgitant signals from the mitral orifice and that assessed by left ventriculography.

ルは僧帽弁口から左房内にかけて、全収縮期性に検出されるものとされている。しかし、逆流方向が一収縮期の間に順次変化していく場合があり、また呼吸や心拍などにより心周期ごとのサンプル部位が相対的に変化する場合もあり、必ずしも収縮期全体を通じて逆流シグナルを記録しえない場合があると考えられる。このことは、特に軽度の逆流症例や、サンプル領域が逆流ジェットの辺縁にある場合に生じ易いと考えられる。一方、健常者でも、収縮早期に限局して、僧帽弁口の近くで左房内に向う血流を認める場合がある。これらの諸点を考慮し、今回の検討では、暫定的に、僧帽弁逆流を示すものとしては、収縮期の1/2以上持続して記録された異常シグナルのみを採った。

1. 断層エコー・ドプラー法による僧帽弁逆流検出の精度

僧帽弁逆流検出におけるドプラー法の精度は、左室造影所見を基準として、sensitivityは92%、specificityは96%、predictive accuracyは93%であった。今回の検討では偽陰性が4例みられたが、これらの症例ではいずれも左室造影での逆流

は僅少であった。それゆえ、これらの場合は逆流の存在範囲が小さいために、それを検出しえなかったと思われる。また、偽陽性が1例あったが、これはリウマチ性弁膜症例で、僧帽弁逆流以外には僧帽弁口部で方向性逆流を生ずる病態を考え難く、基準とした左室造影の感度にも問題があると思われる。一般に左室造影による僧帽弁逆流の検出にも、細部についてはやはり問題があると考えられる。それゆえ、ドプラー法について上述の程度の数値が得られれば、一応満足すべきものと思われる。

2. 僧帽弁逆流の広がり

僧帽弁口をよぎる長軸3断面および短軸断面にて、それぞれ逆流シグナルの検出範囲を求め、これからドプラー法で把握した僧帽弁逆流の3次元的な広がり、左室造影上での逆流程度との関連を検討した。逆流シグナルの検出範囲から算出した到達距離・検出面積といった連続量は、左室造影所見における逆流程度に対比して大きくなる傾向を認め、かつ単一断面でみるより、多断面での総和として捉える方が、やや相関性が高まることが認められた。このことから、逆流シグナルの到達距離や検出面積を逆流程度を示す指標として用いることが可能であると考えられる。しかし、これらの数値も、なお、僧帽弁逆流を定量的に評価するには十分なものとはいえない。これには、ドプラー法、左室造影での Sellers 分類がともに逆流量を直接計測しているのではないこと、後者における各逆流程度間の境界が必ずしも分明でないことなどの理由が考えられる。

3. 僧帽弁逆流程度評価の簡便な方法

前項で論じた結果に基づき、逆流程度を精密に測定することはさておき、簡便な指標として、逆流シグナルの最大到達部位により4段階評価を試みた。その結果、これは左室造影による4段階評価と良好な相関を示した。双方それぞれにおける段階の区分の決め方には絶対的な根拠があるわけではなく、両者においてそれぞれ別個に便宜的に決められたものである。それゆえ、一方における

ある段階が、必然的に他方における段階に1対1に対応すると期待することには無理がある。にもかかわらず、両法での評価がおおむね1段階のずれに留まったことは、臨床応用上、一応満足できる結果と考える。

要 約

リアルタイム断層心エコー・ドプラー法による僧帽弁逆流の検出とその程度評価の可能性を、左室造影を基準として検討した。対象は7日以内の間隔で、ドプラー法と左室造影が施行された各種心疾患の74例である。

1. 左室造影で僧帽弁逆流が認められた50例中の46例で、ドプラー法でも僧帽弁逆流シグナルが記録され、その sensitivity は92%であった。偽陰性の4例では、いずれも左室造影上の僧帽弁逆流は1度であった。左室造影で僧帽弁逆流なしと判定された24例中の23例では、ドプラー法でも僧帽弁逆流シグナルは認められず、その specificity は96%であった。偽陽性の1例では、僧帽弁口付近左房側に典型的な僧帽弁逆流シグナルが認められ、僧帽弁逆流検出における左室造影の感度にも問題がある可能性が考えられた。

2. 傍胸骨アプローチで、長軸3断面、すなわち僧帽弁をそれぞれその内側寄り、中央および外側寄りで切る各断面と僧帽弁口部短軸断面との4断面において、僧帽弁逆流シグナルの検出範囲をマッピングした。マッピングの結果に基づき、長軸3断面における僧帽弁口からの逆流シグナルの最大到達距離、それぞれの断面での到達距離の和、また長・短軸4断面における最大検出面積と、それぞれでの検出面積の和は、いずれも左室造影上の逆流程度との間に良好な対応を示した。

3. これらの結果に基づき、逆流程度評価のための簡便な指標として、左房内での僧帽弁逆流シグナルの到達部位や到達距離から、逆流程度を4段階分類する方法を作成し、左室造影所見と比較検討した。到達部位による簡便な程度評価法では、両法で逆流を捉えた46例で、それぞれによ

る評価の間に良好な相関 ($r=0.82$, $p>0.001$) が認められた。両法による逆流程度評価は31例で一致、13例で1段階のずれが認められ、2段階のずれが認められたのは2例にすぎなかった。到達距離による簡便な逆流程度評価法でも、ほぼ同様の結果を得た。

文 献

- 1) Baker DW: Pulsed ultrasonic Doppler blood flow sensing. *IEEE Trans Sonics & Ultrason* (Vol. SU-17) **3**: 170-185, 1970
- 2) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Dodge HT: Doppler echocardiography: The localization of cardiac murmurs. *Circulation* **48**: 810-822, 1973
- 3) Baker DW, Rubenstein SA, Lorch GS: Pulsed Doppler echocardiography: Principles and applications. *Am J Cardiol* **63**: 69-80, 1977
- 4) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Murray JA: Detection of mitral regurgitation by Doppler echocardiography *Am J Cardiol* **33**: 146, 1974 (abstr)
- 5) Abbasi AS, Allen MW, DeCristofaro D, Ungar K: Detection and estimation of the degree of mitral regurgitation by range-gated pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* **61**: 143-147, 1980
- 6) Quinones MA, Young JB, Waggoner AD, Ostojic MC, Ribeiro LGT, Miller RR: Assessment of pulsed Doppler echocardiography in detection and quantification of aortic and mitral regurgitation. *Br Heart J* **44**: 612-620, 1980
- 7) Niederle P, Grospic A, Beranek I, Ressler J, Jebavy P: Doppler-echocardiography in diagnosis of mitral insufficiency. *Cor et Vasa* **22**: 428-436, 1980
- 8) Blanchard D, Diebold B, Peronneau P, Foulst JM, Nee M, Guermonprez JL, Maurice P: Non-invasive diagnosis of mitral regurgitation by Doppler echocardiography. *Br Heart J* **45**: 589-593, 1981
- 9) Miyatake K, Kinoshita N, Okamoto M, Nagata S, Park YD, Sakakibara H, Beppu S, Nimura Y: Non-invasive assessment of localization of mitral regurgitant flow by the combined use of ultrasonic pulsed Doppler technique and two-dimensional echocardiography. *J Cardiology* **11**: 21-32, 1981