

大動脈弁閉鎖不全症における上行, 下行, 腹部大動脈内逆流血流の超音波パルス・ドプラー法による検出

Pulsed Doppler echocardiographic detection of regurgitant blood flow in the ascending, descending and abdominal aorta of patients with aortic regurgitation

竹中 克

坂本 二哉

Ali DABESTANI\*

Julius M. GARDIN\*

Walter L. HENRY\*

Katsu TAKENAKA

Tsuguya SAKAMOTO

Ali DABESTANI\*

Julius M. GARDIN\*

Walter L. HENRY\*

**Summary**

To ascertain whether the presence of retrograde holo-diastolic flow (RHF) in the ascending, descending or abdominal aorta is indicative of the severity of aortic regurgitation (AR), ascending, descending and abdominal aortic flow velocities were measured by pulsed Doppler echocardiography in 35 patients with AR and in 18 patients without AR, confirmed by aortography. Among the 35 patients with AR, 15 had mitral regurgitation, 11 had mitral stenosis, eight had aortic stenosis, five had prosthetic mitral valves, four had prosthetic aortic valves and two had aorto-pulmonary shunts.

Satisfactory flow velocity recordings were obtained from the ascending aorta of 47 patients (89%), from the descending aorta of 39 patients (74%) and from the abdominal aorta of 43 patients (81%). In the ascending aorta, 30 of 32 AR patients with satisfactory recordings had RHF, while only one of the 15 patients without AR had RHF. None of the patients without AR had RHF, in either the descending or abdominal aorta. In the descending aorta, all 11 patients with 3+ or 4+ AR independently determined by aortography had RHF, while only three of 16 patients with 1+ or 2+ AR had RHF. Two of the three patients had aorto-pulmonary shunts. In the abdominal aorta, all 11 patients with 3+ or 4+ AR had RHF, while only one of the 22 patients with 1+ or 2+ AR had RHF. The latter patient had an aorto-pulmonary shunt.

Identification of RHF in the descending or abdominal aorta is a useful means of distinguishing

東京大学医学部 第二内科  
文京区本郷 7-3-1 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113

\*The Division of Cardiology, Department of Medicine, University of California, Irvine Medical Center, Orange, California 92668, U.S.A.

Received for publication September 22, 1986; accepted October 7, 1986 (Ref. No. 33-37)

patients with severe AR from those with minimal or no AR. Moreover, the method is easy to use and results seem independent of the presence of other cardiac diseases except for a significant aorto-pulmonary shunt.

**Key words**

Aortic regurgitation      Doppler echocardiography      Aorta

はじめに

超音波パルス・ドップラー法は、心内血流の測定、心疾患の診断、および大動脈その他の血管内血流の評価に広く利用されている非観血的検査法である<sup>1-5)</sup>。ドップラー法による大動脈弁閉鎖不全症の重症度判定法は、現在までにいくつかの方法が報告されている<sup>4,6-14)</sup>。しかし、それらのなかには、検査と解析に時間を要し、また得られる結果が大動脈弁狭窄症、僧帽弁狭窄症、さらに人工弁の存在により影響を受けるものが少なくない。1950年代後半に、BraunwaldとMorrowは、重症大動脈弁閉鎖不全症例では腹部大動脈に注入された色素が拡張期に上行大動脈まで逆流することを報告した<sup>15)</sup>。彼等の研究結果は、拡張期逆流血流がみられる最も遠位の大動脈レベルと大動脈弁閉鎖不全症の重症度との間に、関連があることを示唆するものであった。本研究では、パルス・ドップラー法を用い、上行大動脈、下行大動脈、および腹部大動脈における拡張期逆流血流の有無と大動脈弁閉鎖不全症の重症度との関連を検討した。

対象と方法

1. 対象

対象は大動脈造影の3週以内にドップラー検査を施行しえた53例である。その内訳は、大動脈弁閉鎖不全症例35例(男20例, 女15例, 平均年齢49歳; 17~77歳)と大動脈弁閉鎖不全を有しない症例18例(男11例, 女7例, 平均年齢53歳; 16~79歳)である。大動脈弁閉鎖不全症35例中27例は他病変を合併し、その内訳は **Table 1** に示した。対象例53例中48例は洞調律で、5例は心房細動であった。

**Table 1. Patients with aortic regurgitation**

Pure aortic regurgitation	8
Aortic regurgitation with associated lesions	27
Mitral regurgitation	15
Mitral stenosis	11
Aortic stenosis	8
Prosthetic mitral valve	5
Prosthetic aortic valve	4
Coronary artery disease	4
Patent ductus arteriosus	1
Blalock-Taussig shunt	1

Numbers indicate the number of patients.

2. ドップラー血流記録

血流速度記録のために使用した装置は、セクター方式機械走査型超音波断層装置と超音波パルス・ドップラー血流計との複合装置 (Ultra Imager, Biosound Corp.) である<sup>16)</sup>。発信周波数3.5あるいは2.25 MHzの探触子を使用し、高速フーリエ変換によるドップラー信号の解析から血流速度をcm/sec単位で表示した。血流速度と心電図をHoneywell製strip chart recorderにより紙送り速度100 mm/secにて記録した。

被検者を仰臥位とし、首の下に枕を挿入することにより頸部を伸展せしめ、安静呼吸下に、以下の血流速度記録を施行した。2.25 MHzのシングル・ビーム探触子を胸骨上窩に設定し、収縮期上向き血流(上行大動脈血流)<sup>2)</sup>および収縮期下向き血流(下行大動脈血流)の速度を記録した。血流速度パターンの評価には、血流信号の乱れが小さく(層流)、かつ表示流速が最大である血流信号を使用した。このような血流信号は、上行大動脈では胸骨上窩より7~9 cmの深さで、また下行大動脈では胸骨上窩より8~10 cmの深さで得られる

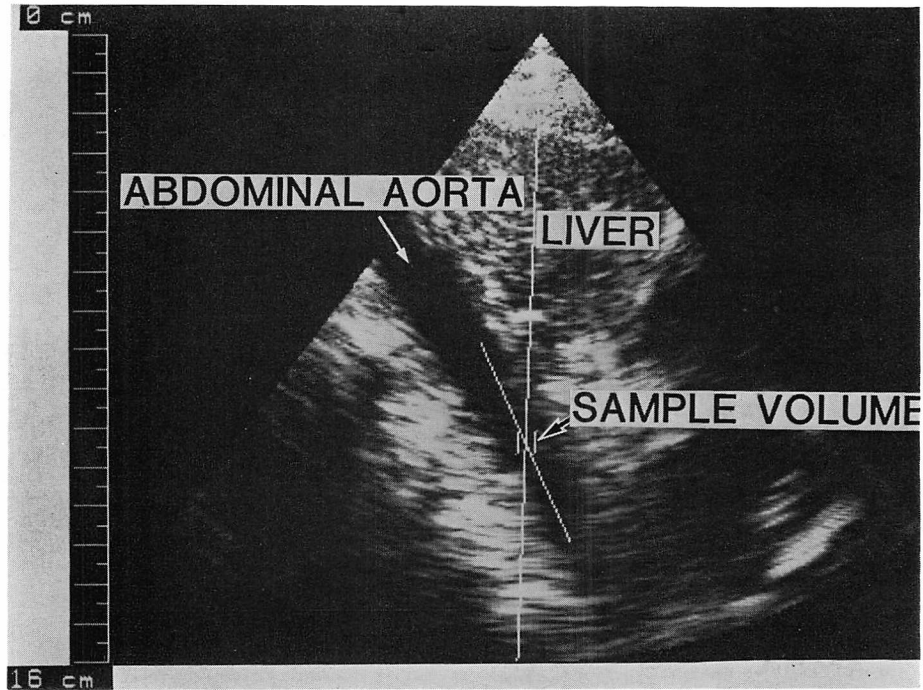


Fig. 1. Two-dimensional echocardiogram of the abdominal aorta showing the site of pulsed Doppler sample volume in the proximal abdominal aorta.

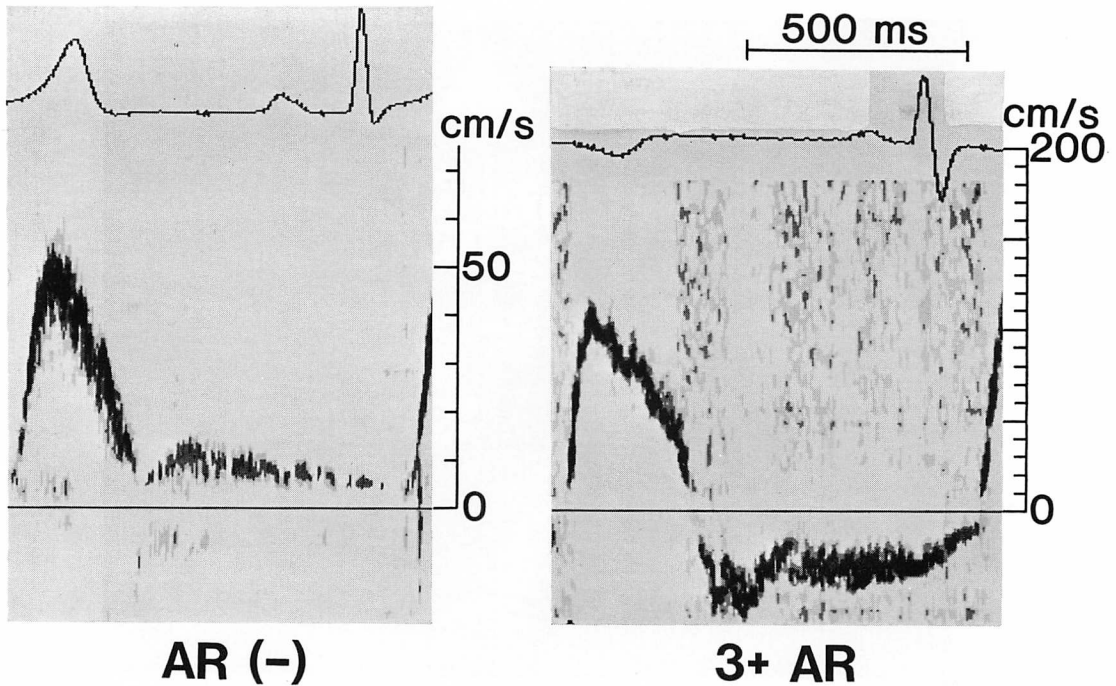
ことが多かった。次に、断層心エコー図探触子を肋骨下領域に置き、Fig. 1 に示す如く、腹部大動脈の長軸像を描出した。ここで、血流サンプル部位を横隔膜直下の近位部腹部大動脈内に設定し、血流速度信号を記録した。腹部大動脈血流速度記録時には、得られる血流速度の補正を超音波ビームと腹部大動脈の長軸のなす角度（平均±標準偏差； $42 \pm 13$ 度）により行った。しかし、この操作は血流信号自身は変化させず、速度スケールのみを変化させるもので、本研究で行う血流速度パターンの評価には影響がない。

各大動脈レベルにおける汎拡張期逆流血流の有無は、大動脈造影の結果を知らない観察者により判定された (Fig. 2)。収縮期血流を記録し得ない場合は、判定対象から除外した。収縮期血流は明瞭に記録されるが、拡張期血流が記録されない場合は、ドップラーゲインを調節したり、探触子を

下方にずらしドップラー入射角を小さくするなどの努力を行い、それによってもなお記録不能の際には、汎拡張期逆流血流無しと判定した。

### 3. 大動脈造影

大動脈造影は、 $20^\circ$  左前斜位にて、 $30 \sim 40$  ml の造影剤 (iothalamate meglumine and iothalamate sodium) を毎秒 10 ml の速度で注入し施行した。造影所見による大動脈弁閉鎖不全症の重症度は 0+ から 4+ の 5 段階に分類した<sup>17)</sup>。すなわち、0+ = 左室が全く造影されない場合 (大動脈弁閉鎖不全のない例)、1+ = 左室の一部が拡張期に淡く造影されるが、左室全体が造影されることがない場合、2+ = 左室全体が大動脈よりも薄く造影される場合、3+ = 左室全体が大動脈と同程度に造影される場合、4+ = 左室全体が大動脈より濃く造影される場合である。



**Fig. 2. Pulsed Doppler echocardiographic recordings of abdominal aortic flow velocity in a patient without aortic regurgitation (AR) (left) and a patient with 3+ aortic regurgitation (right.)**

Note the retrograde holo-diastolic flow in the abdominal aorta of the patient with 3+ aortic regurgitation.

## 結 果

判定に耐える血流記録が得られたのは、上行大動脈では 53 例中 47 例 (89%)、下行大動脈では 53 例中 39 例 (74%)、また腹部大動脈では 53 例中 43 例 (81%) であった。

### 1. 上行大動脈血流 (Fig. 3)

大動脈弁閉鎖不全のない症例 15 例中、上行大動脈において汎拡張期逆流血流が認められたのは 1 例のみであった。一方、判定に耐える記録の得られた大動脈弁閉鎖不全症例 32 例では、30 例で記録された。

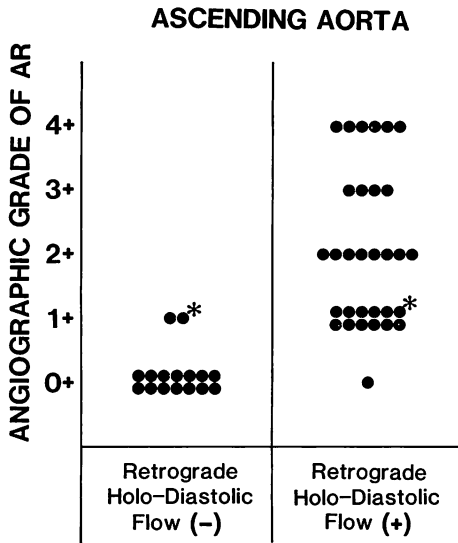
### 2. 下行大動脈血流 (Fig. 4)

大動脈弁閉鎖不全のない症例 12 例あるいは 1+、2+ 大動脈弁閉鎖不全症例 16 例中、下行大

動脈内の汎拡張期逆流血流を示したのは 1+ 大動脈弁閉鎖不全症例の 3 例のみで、うち 2 例は体動脈-肺動脈間短絡を合併していた。一方、3+、4+ 大動脈弁閉鎖不全症例では、11 例全例で下行大動脈内に汎拡張期逆流血流が記録された。

### 3. 腹部大動脈血流 (Fig. 5)

大動脈弁閉鎖不全のない症例 10 例あるいは 1+、2+ 大動脈弁閉鎖不全症例 22 例において、腹部大動脈内の汎拡張期逆流血流を示したものは、左-右短絡動脈管開存症を合併した 1+ 大動脈弁閉鎖不全症例 1 例のみであった。なお、本例の腹部大動脈内汎拡張期逆流血流は、動脈管結紮術のみで消失した。一方、3+、4+ 大動脈弁閉鎖不全症例 11 例全例で、腹部大動脈内の汎拡張期逆流血流が記録された。



\* a patient with Ao-PA shunt

Fig. 3. Pulsed Doppler ascending aortic flow velocity pattern vs angiographic grade of aortic regurgitation.

The asterisks denote patients with associated aorto-pulmonary (Ao-PA) shunt.

4. 大動脈弁置換術後経過

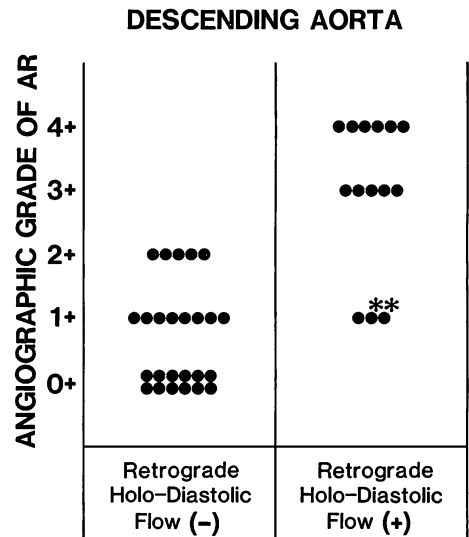
大動脈弁置換術前後で血流記録を行った 3+, 4+ 大動脈弁閉鎖不全症例 4 例全例で、術後に汎拡張期逆流血流は消失した (Fig. 6).

5. 心拍数

血流記録時の心拍数は、大動脈弁閉鎖不全のない症例で毎分  $73 \pm 14$  (平均  $\pm$  標準偏差), 1+, 2+ 大動脈弁閉鎖不全症例で毎分  $75 \pm 16$ , 3+, 4+ 大動脈弁閉鎖不全症例で毎分  $75 \pm 9$  で、有意差はなかった。

考 察

大動脈弁閉鎖不全症の重症度評価には、左室造影を用いた逆流量計算<sup>18,19)</sup>、大動脈造影<sup>17,18,20~22)</sup>、カテ先電磁流量計<sup>22)</sup>、色素希釈法<sup>15,23)</sup>などの方法が使用されてきた。しかし、これらの方法の多くは特殊な機器または操作を必要とするために普及せず、その結果、大動脈造影<sup>17,18,20~22)</sup>が大動脈弁



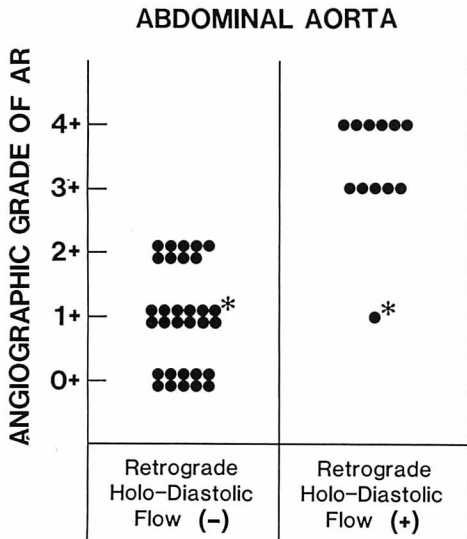
\* a patient with Ao-PA shunt

Fig. 4. Pulsed Doppler descending aortic flow velocity pattern vs angiographic grade of aortic regurgitation.

The asterisks denote patients with associated aorto-pulmonary (Ao-PA) shunt.

閉鎖不全症の重症度評価に最もよく使用されている。

超音波ドップラー法は、大動脈弁閉鎖不全症の診断法として確立された方法であるが<sup>1,6,9)</sup>、その重症度判定にも利用され、左室内での逆流血流のマッピング<sup>9,10)</sup>、大動脈内での順流血流と逆流血流の比較<sup>6~8,11)</sup>、大動脈血流と肺動脈血流の比較<sup>12)</sup>、上行大動脈および大動脈弓の各レベルにおける逆流血流の記録<sup>4)</sup>、断層心エコー図を併用しての逆流欠損口面積の算定<sup>13)</sup>などの方法が提唱されている。しかし、これらの方法は検査に比較的時間を要し、またそれぞれの問題点を有する。例えば、左室内での逆流血流のマッピング<sup>9,10)</sup>の結果は、大動脈弁閉鎖不全の逆流血流の方向、あるいは僧帽弁狭窄症や人工僧帽弁の存在により影響を受ける。実際、本研究でも示すように、大動脈弁閉鎖不全症例の多くは、これらの僧帽弁異常を合併することが多く、重症度判定上の問題とな



\* a patient with Ao-PA shunt

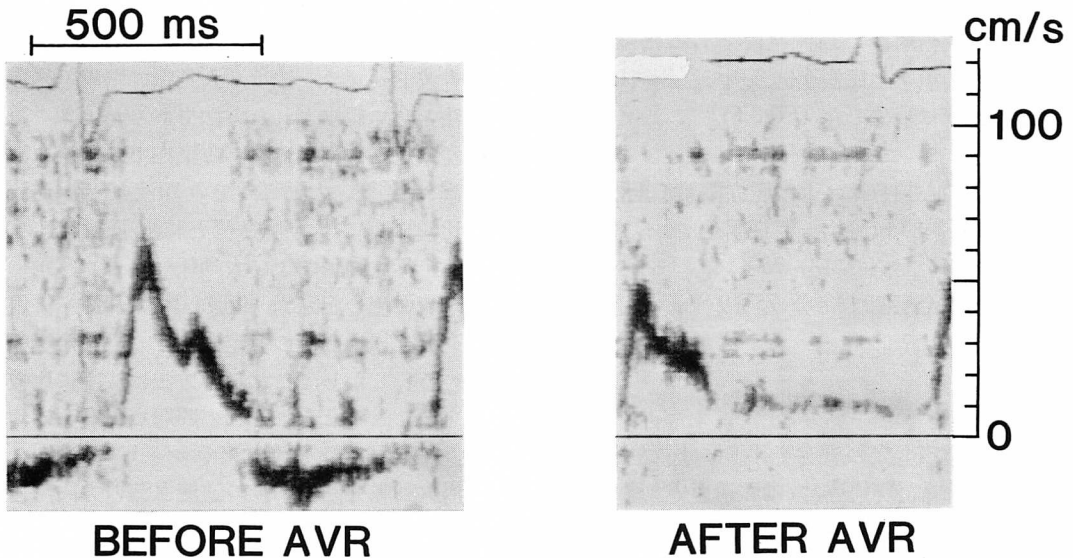
**Fig. 5. Pulsed Doppler abdominal aortic flow velocity pattern vs angiographic grade of aortic regurgitation.**

The asterisks denote patients with associated aorto-pulmonary (Ao-PA) shunt.

る。上行大動脈の収縮期血流を利用する方法<sup>6)</sup>では、大動脈弁閉鎖不全症が重症な場合、または大動脈弁狭窄を合併する場合にみられる収縮期乱流血流により、正確な重症度判定が困難となることがある。大動脈の断面あるいは大動脈弁欠損口などの面積を M モードあるいは断層心エコー図から推定する過程を含む方法<sup>8,12,13)</sup>では、断面積決定の際の誤差に大きく影響される可能性がある。

本研究では、下行あるいは腹部大動脈における汎拡張期逆流血流の有無により、軽症および重症大動脈弁閉鎖不全症の鑑別が可能であることを示した。我々の方法は、上行大動脈および大動脈弓で拡張期逆流血流を検索した Veyrat らの方法<sup>4)</sup>と同じ考え方に基づく。すなわち、拡張期逆流血流が大動脈のより下流でみられればみられる程、大動脈弁閉鎖不全症はより重症であるという考え方である。過去に報告された色素希釈法<sup>15,23)</sup>または大動脈造影法<sup>24)</sup>を利用した報告のなかにもこの考え方に基づくものがある。

本研究において下行大動脈と腹部大動脈の結果



**Fig. 6. Abdominal aortic flow velocity recordings in a patient with 3+ aortic regurgitation before and after aortic valvular replacement (AVR).**

Note the disappearance of the retrograde holo-diastolic flow after aortic valvular replacement.

に大きな差が認められなかったのは、実際の血流サンプル部位が胸骨上窩より 8~10 cm の深度の遠位下行大動脈と近位腹部大動脈で、両者は横隔膜の上下で近接しているため大きな隔たりはなかったことによると考えられる。今回は、大動脈の 3 箇所レベルで検討を行ったのみなので、1+ と 2+ の大動脈弁閉鎖不全症、あるいは 3+ と 4+ の閉鎖不全症の鑑別はできなかった。しかし、より詳細な大動脈内マッピングを施行することにより、これらを鑑別できる可能性がある。すなわち、1+ と 2+ の閉鎖不全症の鑑別には大動脈弓での検索、3+ と 4+ の閉鎖不全症の鑑別にはより遠位の腹部大動脈または大腿動脈での検索が有用であろうと想像される。

本法の問題点としては、良好な血流記録が得られない例が存在することが挙げられる。腹部大動脈では、特に肥満例の如くサンプル部位が探触子から遠い場合、あるいは超音波ビームの入射角が過大な場合に血流記録が困難となる。このような場合、例えば発信周波数の異なる探触子を選んだり、ドップラーゲインを上げる、wall filter の遮断周波数を下げるか filter を使用しない、あるいはさらに探触子を下方にずらし傾け、ドップラー入射角度を小さくするなどの努力が必要である。

ドップラー検査と大動脈造影の間隔が最高 3 週間であるため、両検査間で左室にかかる容量または圧等の負荷状態が変わり、大動脈弁閉鎖不全の程度が変化した可能性は充分考えられる。このことは、本研究の問題点の一つである。

心拍数の影響によっても、本法の結果は変わらう。例えば、軽症大動脈弁閉鎖不全症で拡張初期にのみ逆流血流を有する例でも、頻脈を伴うと、汎拡張期逆流血流となりうる。逆に、重症大動脈弁閉鎖不全症であっても、極度の徐脈では逆流血流が全拡張期を通じて持続し得ない可能性がある。

左-右短絡の動脈管開存症例では、短絡部位より遠位の下行大動脈および腹部大動脈で汎拡張期逆流血流を示すことがある。この現象は、大動脈

から主肺動脈への短絡血流をみているわけで、腹部大動脈に比べてより短絡部位に近い下行大動脈においての方が認められやすい。したがって、動脈管開存症 あるいは その他の体動脈-肺動脈間短絡疾患を合併する例では、下行大動脈または腹部大動脈で汎拡張期逆流血流が記録されても重症な大動脈弁閉鎖不全症と判定することはできない。さらに、本研究では経験しなかったが、大動脈瘤や大動脈縮窄症などの大動脈の形態異常の合併も、大動脈の容積および血流状態を変化させ、本法の結果に影響を及ぼす可能性がある。

本研究で用いた大動脈造影による定性的な重症度判定基準が限界を有することもよく知られている<sup>18,21,22</sup>。今回は施行しなかったが、左室造影法により逆流量を算定し比較すれば、より正確かつ定量的な検討が可能であったと思われる。しかし、Croft らは左室造影法により算定された逆流量が、大動脈造影法で判定された 1+ と 2+ の大動脈弁閉鎖不全症例間、または 3+ と 4+ の大動脈弁閉鎖不全症例間では有意差なく、逆流量の有意差は 1+~2+ の大動脈弁閉鎖不全症例と 3+~4+ の大動脈弁閉鎖不全症例の間でのみ認められたと報告した<sup>18</sup>。したがって、1+ と 2+ の大動脈弁閉鎖不全症を、また 3+ と 4+ の大動脈弁閉鎖不全症をまとめて検討する限りは、基準とした大動脈造影法自身の持つ限界は大きな問題とはならないと考えられる。

## 要 約

上行大動脈、下行大動脈、および腹部大動脈における拡張期逆流血流の有無と大動脈弁閉鎖不全症の重症度との関連を検討するために、大動脈造影により確認された大動脈弁閉鎖不全症例 35 例と大動脈弁閉鎖不全を有しない症例 18 例において、上行、下行、および腹部大動脈血流速度を超音波パルス・ドップラー法を用い記録した。大動脈弁閉鎖不全症例 35 例中、15 例は僧帽弁閉鎖不全、11 例は僧帽弁狭窄、8 例は大動脈弁狭窄、5 例は人工僧帽弁、4 例は人工大動脈弁、さらに 2

例は体動脈-肺動脈間短絡を有していた。大動脈弁閉鎖不全症の重症度は大動脈造影により1+から4+に分類した。

判定に耐える血流記録は、上行大動脈では53例中47例(89%)で、下行大動脈では53例中39例(74%)で、また腹部大動脈では53例中43例(81%)で得られた。

1. 上行大動脈血流: 大動脈弁閉鎖不全のない症例15例中、上行大動脈において汎拡張期逆流血流が認められたのは、1例のみであった。一方、大動脈弁閉鎖不全症例32例では、うち30例で上行大動脈における汎拡張期逆流血流が記録された。

2. 下行大動脈血流: 大動脈弁閉鎖不全のない症例12例あるいは1+~2+大動脈弁閉鎖不全症例16例において下行大動脈内汎拡張期逆流血流を示したのは3例のみで、うち2例は体動脈-肺動脈間短絡を有していた。一方、3+~4+大動脈弁閉鎖不全症例11例全例で、下行大動脈内汎拡張期逆流血流が記録された。

3. 腹部大動脈血流: 大動脈弁閉鎖不全のない症例10例あるいは1+~2+大動脈弁閉鎖不全症例22例において腹部大動脈内汎拡張期逆流血流を示したのは左-右短絡動脈管開存症を合併した1例のみであった。一方、3+~4+大動脈弁閉鎖不全症例11例全例で、腹部大動脈内汎拡張期逆流血流が記録された。

以上より、下行あるいは腹部大動脈における汎拡張期逆流血流の有無により、軽症大動脈弁閉鎖不全症と重症大動脈弁閉鎖不全症の鑑別が可能であった。本法は施行が容易で、また結果が体動脈-肺動脈間短絡以外の心疾患の存在に左右され難いことが特徴である。

#### 文 献

- 1) Hatle L, Angelsen B: Doppler Ultrasound in Cardiology: Physical principles and clinical applications. Lea & Febiger, Philadelphia, 1985, p 74-292
- 2) Gardin JM, Burn CS, Childs WJ, Henry WL:

Evaluation of blood flow velocity in the ascending aorta and main pulmonary artery of normal subjects by Doppler echocardiography. *Am Heart J* **107**: 310-319, 1984

- 3) Yoshimura S: Measurement of aortic blood flow and its clinical application. *J Cardiogr* **14** (Suppl II): 41-52, 1984 (in Japanese)
- 4) Veyrat C, Cholot N, Abitbol G, Kalmanson D: Non-invasive diagnosis and assessment of aortic valve disease and evaluation of aortic prosthesis function using echo pulsed Doppler velocimetry. *Br Heart J* **43**: 393-413, 1980
- 5) Benchimol A, Desser KB, Gartlan JL Jr: Bidirectional blood flow velocity in the cardiac chambers and great vessels studied with the Doppler ultrasonic flowmeter. *Am J Med* **52**: 467-473, 1972
- 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) Diebold B, Peronneau P, Blanchard D, Colonna G, Guermonprez JL, Forman J, Sellier P, Maurice P: Non-invasive quantification of aortic regurgitation by Doppler echocardiography. *Br Heart J* **49**: 167-173, 1983
- 8) Touche T, Prasquier R, Nitenberg A, de Zuttere D, Gourgon R: Assessment and follow-up of patients with aortic regurgitation by an updated Doppler echocardiographic measurement of the regurgitant fraction in the aortic arch. *Circulation* **72**: 819-824, 1985
- 9) Ciobanu W, Abbasi AS, Allen W, Hermer A, Spellberg R: Pulsed Doppler echocardiography in the diagnosis and estimation of severity of aortic insufficiency. *Am J Cardiol* **49**: 339-343, 1982
- 10) Veyrat C, Gourtchiglouian AC, Lessana A, Abitbol G, Kalmanson D: Calculation of pulsed Doppler left ventricular outflow tract regurgitant index for grading the severity of aortic regurgitation. *Am Heart J* **108**: 507-515, 1984
- 11) Boughner DR: Assessment of aortic insufficiency by transcutaneous Doppler ultrasound. *Circulation* **52**: 874-879, 1975
- 12) Kitabatake A, Ito H, Inoue M, Tanouchi J, Ishihara K, Morita T, Fujii K, Yoshida Y, Masuyama T, Yoshima H, Hori M, Kamada T: A new approach to noninvasive evaluation of aortic regurgitant fraction by two-dimensional Doppler echocardiography. *Circulation* **72**: 523-529, 1985
- 13) Veyrat C, Lessana A, Abitbol G, Ameer A,



- Benaim R, Kalmanson D: New indexes for assessing aortic regurgitation with two-dimensional Doppler echocardiographic measurement of the regurgitation aortic valvular area. *Circulation* **68**: 998-1005, 1983
- 14) Teague SM, Heinsimer JA, Anderson JL, Sublett K, Olson EG, Voyles WF, Thadani U: Quantification of aortic regurgitation utilizing continuous wave Doppler ultrasound. *J Am Coll Cardiol* **8**: 582-599, 1986
- 15) Braunwald E, Morrow AG: A method for the detection and estimation of aortic regurgitant flow in man. *Circulation* **17**: 505-511, 1958
- 16) Griffith JM, Henry WL: An ultrasound system for combined cardiac imaging and Doppler blood flow measurement in man. *Circulation* **57**: 925-930, 1978
- 17) Grossman W, Dexter L: Profiles of hemodynamic and angiographic abnormalities in specific disorders: Profiles in valvular heart disease. *in* Grossman W, ed. *Cardiac Catheterization and Angiography*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1980, p 305-324
- 18) Croft CH, Lipscomb K, Mathis K, Firth BG, Nicod P, Tilton G, Winniford MD, Hillis LD: Limitations of qualitative angiographic grading in aortic or mitral regurgitation. *Am J Cardiol* **53**: 1593-1598, 1984
- 19) Sandler H, Dodge HT, Hay RE, Rackley CE: Quantitation of valvular insufficiency in man by angiocardiography. *Am Heart J* **65**: 501-513, 1963
- 20) Runco V, Molnar W, Meckstroth CV, Ryan JM: The Graham Steel murmur versus aortic regurgitation in rheumatic heart disease: Results of aortic valvulography. *Am J Med* **31**: 71-80, 1961
- 21) Menzel RG, Joyner CR Jr, Thompson PD, Pyle RR, MacVaugh H III: The preoperative and operative assessment of aortic regurgitation: Cine-aortography vs electromagnetic flowmeter. *Am J Cardiol* **29**: 360-366, 1972
- 22) Nichols WW, Pepine CJ, Conti CR, Christie LG, Feldman RL: Quantitation of aortic insufficiency using a catheter-tip velocity transducer. *Circulation* **64**: 375-380, 1981
- 23) Warner HR, Toronto AF: Quantitation of back-flow in patients with aortic insufficiency using an indicator technic. *Circ Res* **6**: 29-34, 1958
- 24) Arcilla RA, Agustsson MH, Steiger Z, Gasul BM: An angiocardiographic sign of aortic regurgitation: Its utilization for the measurement of regurgitant flow. *Circulation* **23**: 269-278, 1961