

超音波パルス・ドプラー法、
心断層法組み合わせ使用に
よる心房中隔欠損症の短絡
血流の分析

Noninvasive detection
of shunt flow in atrial
septal defect with a
compound use of the
ultrasonic pulsed Dop-
pler technique and
cross-sectional echocar-
diography

榊原 博
宮武 邦夫
木下 直和
朴 永大
永田 正毅
中島 克彦
別府慎太郎
仁村 泰治

Hiroshi SAKAKIBARA
Kunio MIYATAKE
Naokazu KINOSHITA
Yung-dae PARK
Seiki NAGATA
Katsuhiko NAKAJIMA
Shintaro BEPPU
Yasuharu NIMURA

Summary

Flow velocity pattern in the right atrium and pulmonary artery in patients with the defect of the interatrial septum (ASD) was noninvasively analyzed with a compound use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echocardiography. The subjects consisted of 18 cases with secundum ASD, in which 2 had pulmonary hypertension (PH), and 2 were endocardial cushion defect (ECD) of partial form. The sampling sites of the Doppler signals were determined in reference to the cross-sectional image visualizing the four cardiac chambers.

1) Flow velocity pattern in the right atrium was characterized by the presence of 3 phases of flow. The first phase of flow directing toward the transducer appeared from early systole to early diastole with its peak very close to the aortic second heart sound (S wave). The second phase of flow toward the transducer was seen in mid-diastole (D wave) and the remaining one away from the transducer from end-diastole to early systole (R wave). The S wave was found in all, the D wave in 9 and the R wave in 9 of 20 cases, regardless of the type of the defect. These waves were never seen in 10 healthy subjects examined.

国立循環器病センター病院 研究所
吹田市藤白台 5-125 (〒565)

National Cardiovascular Center Hospital and Re-
search Institute, Fujishirodai 5-125, Suita 565

Presented at the 18th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 2-3, 1979
Received for publication September 7, 1979

2) The peaks of the S and D waves occurred later than those of the systolic and diastolic inflows in the inferior caval vein, respectively, indicating that both waves were not related to the flows from the caval vein. Mapping of the S and D waves on the cross-sectional echocardiogram demonstrated that area of both waves extended from near the defect to mid part of the right atrium.

These results indicated that the S and D waves represent L-R shunt flows through the defect. While, the R wave directing toward the opposite direction to those of the S and D waves might represent R-L shunt.

3) Other 2 waves were also observed in the right atrium in early diastole and presystole (RF and A waves), corresponding to the flows into the right ventricle during rapid filling phase and atrial contraction, respectively. However, there remained the possibility that L-R shunt occurred also in into diastole and presystole, and the RF and A waves near the defect were due to both increased flow early the right ventricle and L-R shunt flow.

4) Flow velocity pattern in the pulmonary artery was dependent on PH. The pattern in cases without PH was about the same as that in healthy subjects, exhibiting monophasic pattern with a peak in mid-systole. On the other hand, 2 cases with PH showed a two-peaked pattern with its maximum velocity in early systole.

Key words

Shunt flow Atrial septal defect Ultrasonic pulsed Doppler technique

はじめに

最近, 超音波パルス・ドプラー法の進歩により非観血的に心臓内血流動態を観察することが可能となった¹⁻³⁾. 本研究では, 超音波パルス・ドプラー法と超音波心断層法を組み合わせ使用し, 血流信号記録部位を二次的に同定しつつ, 心房中隔欠損での短絡血流の検出と分析を行った. また, 本症の肺動脈血流流速パターンについても検討した.

対 象

二次口心房中隔欠損 18例, 心内膜床欠損(部分型) 2例, 計 20例を対象とした(12~58歳, 平均 31.4歳). 肺, 体血流量比は 1.4~7.4 で, 1例を除き左・右短絡であった. 1例では左・右短絡に加えて軽度の逆短絡(20%)を認めた. 平均肺動脈圧は 18例が 23 mmHg 以下, 他の 2例はそれぞれ 35, 47 mmHg であった. 明瞭な三尖弁閉鎖不全を認めたものはなかった.

対照として, 健常男子 10例を選んだ.

方 法

超音波パルス・ドプラー血流計(日立メディコ製 EUD-4Z)と超音波心断層装置(Aloka 製 SSD-120)を組み合わせ使用した.

前者の搬送周波数は 2.5 MHz, パルス繰り返し数は 6.3 KHz, ドプラー信号検出範囲は横方向 6 mm, 縦方向は 2 mm, 5 mm, 10 mm の 3段階可変である.

1. 右房内血流流速パターンの記録

ドプラー信号検出法, 心断層図作成法は既報のもの⁴⁾に従ったが, 今回の対象例での大要はつきのごとくである.

まず, 主として第 4 肋間胸骨左縁より, M モード・心エコー図をモニターしつつ右房内で異常ドプラー信号を探索した. ついで, 心電図 R 波より 0.2 秒後の時相でドプラー信号検出部位を含む心水平断層図を作成し, その断層面上にて新たに超音波ビームを右房に向け, ドプラー信号を記録した. このさい, 超音波ビーム方向とドプラー信号検出部位を断層図上に示し, 検出部位を二次的に同定した. ドプラー信号はソナグラム表示

し、Mモード・心エコー図、心音図、心電図を同時記録した (Electronics for Medicine, VR-12).

一部の症例では、リアルタイム超音波断層装置 (東芝製 SSH-11A) にて、ドプラー法の場合と同様の心断層図を画きつつ、肘静脈から生理食塩水 10 ml を注射し、エコー造影を行った。そのさい、右房内でみられる左・右短絡血流の範囲を 8 mm シネフィルムに記録し、ドプラー法の成績

と対比した。

2. 下大静脈、内頸静脈の血流流速パターンの記録
超音波パルス・ドプラー計を用い、心窩部上部より超音波ビームを投入し、右房開口部の近くで下大静脈血流流速パターンを記録した。内頸静脈血流流速パターンの測定には、方向指示型連続波ドプラー血流計 (日立メディコ製) を用いた。

3. 肺動脈血流流速パターンの記録
超音波パルス・ドプラー血流計により M モー

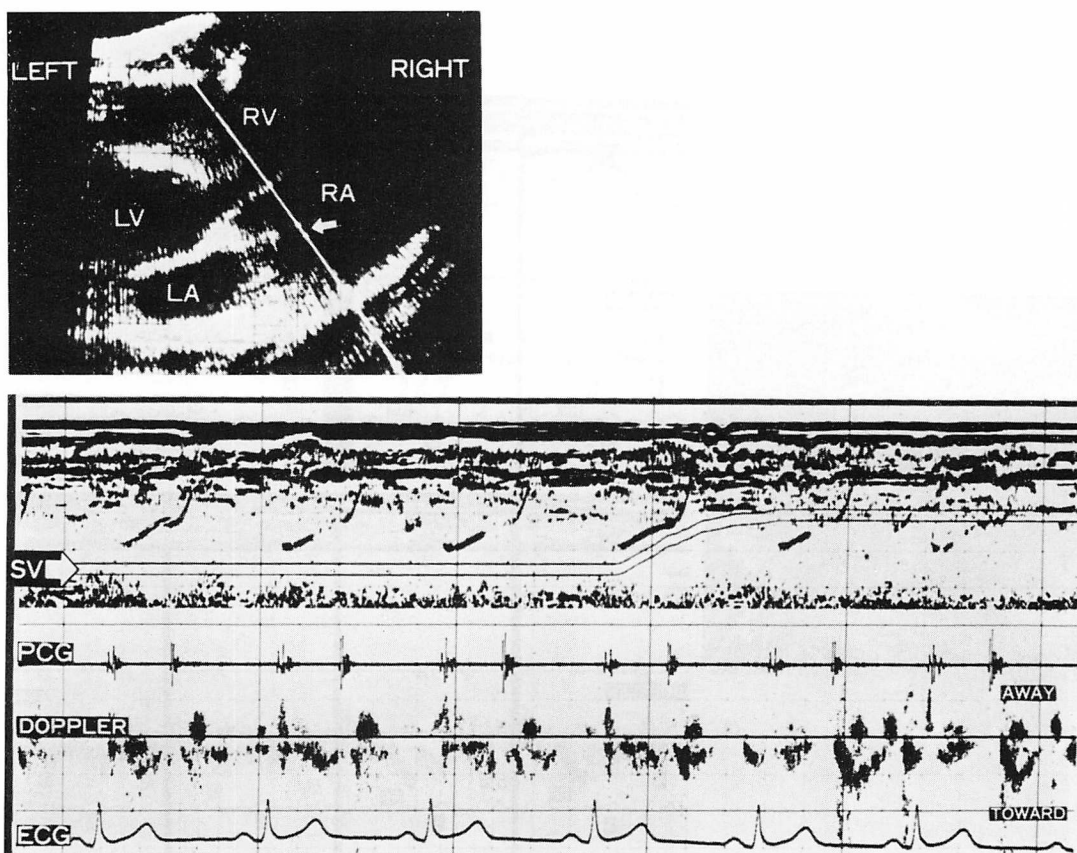


Fig. 1. Flow velocity pattern in the right atrium of healthy subject (26 y.o. male).

Upper panel: cross-sectional echocardiogram visualizing four cardiac chambers. A white line represents a direction of the ultrasound beam and a white arrow the sampling site of the Doppler signals. Lower panel: from top to bottom, M-mode echocardiogram, phonocardiogram (PCG), the Doppler signals and electrocardiogram (ECG). Doppler signals below and above the base line represent the flow directing toward and away from the transducer, respectively.

RV=right ventricle; LV=left ventricle; RA=right atrium; LA=left atrium; SV in M-mode echocardiogram=sampling volume of the Doppler signals.

ド・心エコー図をモニターしつつ, 第3肋間胸骨左縁付近より肺動脈弁口部の血流パターンを記録した.

成 績

1. 健常例での右房内血流流速パターン

右房のほぼ中央部にて, 収縮期および拡張早期に探触子に向う流速の遅い血流信号が記録された (Fig. 1). それぞれのピーク流速はおおむね収縮中期, および三尖弁エコーE点にほぼ一致してみられた.

三尖弁口近くでは, 拡張早期血流は流速を増し, また, 前収縮期に探触子に向う血流信号が記録された (Fig. 1). これらはそれぞれ, 右室への流出血流を示すと考えられる.

2. 心房中隔欠損での右房内血流流速パターン

右房内で, それぞれ前収縮期, 収縮後期, 拡張早期, 拡張中期にピークを有し, 探触子に向う血流信号が記録された. それぞれを A 相, S 相, RF 相, D 相と略称する (Fig. 2). また, 拡張末期から収縮早期にかけて, 上記4相とは逆方向の血流信号 (R 相) を認めるものがあつた. 以上の血流

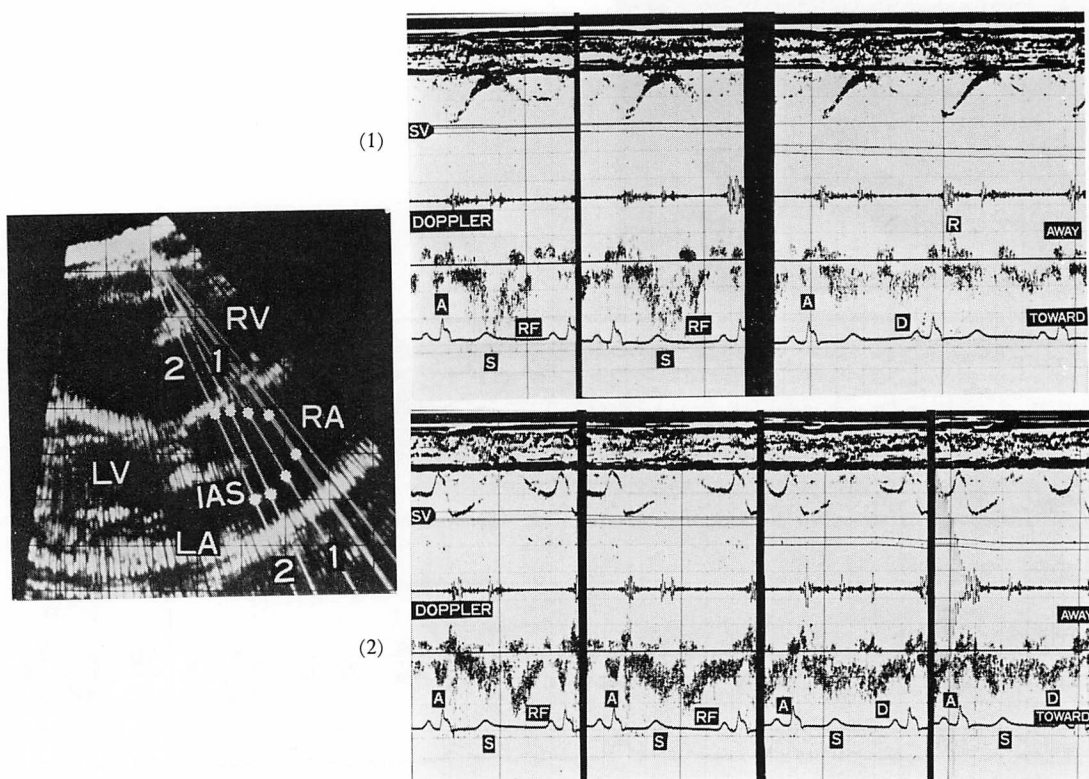


Fig. 2. Flow velocity pattern in the right atrium of a patient with secundum atrial septal defect (40 y.o. male, $Q_p/Q_s=2.9$, mean PA pressure=22 mmHg).

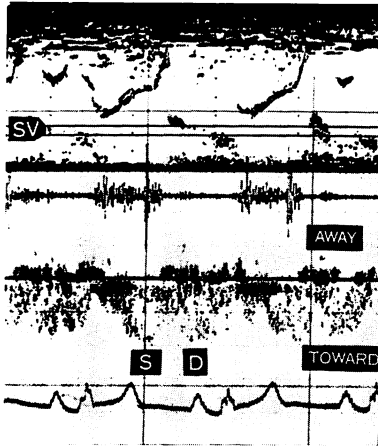
Right upper panel represents the recording along line 1 and right lower panel along line 2 shown in the cross-sectional echocardiogram in mid-systole (left panel). The S wave is detected in an area encircled by white dots in the cross-sectional image.

IAS=interatrial septum; A=A wave in presystole; S=S wave from early systole to early diastole; RF=RF wave in early diastole; D=D wave in mid-diastole; R=R wave from end-diastole to early systole. RV, LV, RA, and LA: the same as in Fig. 1.

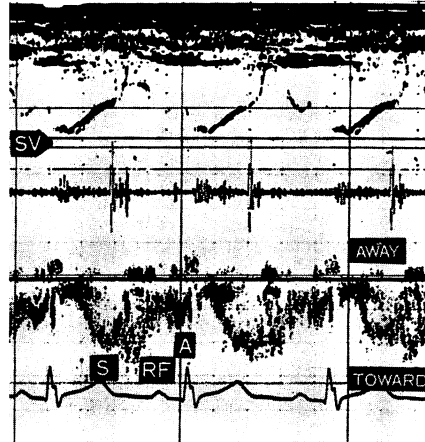
は健常例の三尖弁口血流よりやや広周波数帯域を示した。また、以上の血流は二次口心房中隔欠損、心内膜床欠損のいずれでも認めしたが、症例によっては D 相, R 相を欠くものがあった。S, D, R 相は健常例では認めなかった。

1) S 相

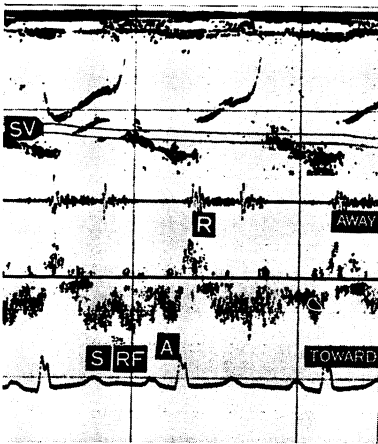
収縮早期から拡張早期にかけてみられ、そのピークは収縮後期ないし II 音大動弁成分にほぼ一致していた (Fig. 2, 3)。ピーク流速は拡張早期血流 (RF 相) のそれとほぼ同程度のものが多かった。S 相は全症例で記録されたが、心拍によっては S 相と RF 相が重複し、両者を分離し難い



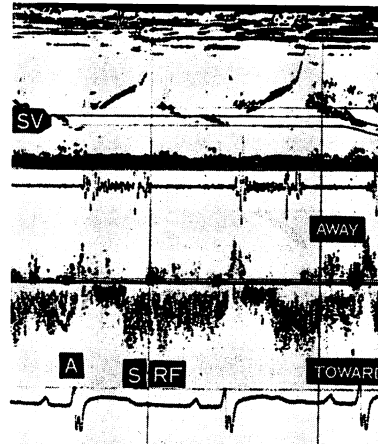
1 secundum ASD
Qp/Qs: 5.6, mPAP: 21 mmHg



2 secundum ASD
Qp/Qs: 3.9, mPAP: 15 mmHg



3 secundum ASD
Qp/Qs: 2.1, mPAP: 16 mmHg



4 ECD (partial form)
Qp/Qs: 1.8, mPAP: 20 mmHg

Fig. 3. Flow velocity patterns near the interatrial septal defect.

Note the two phasic flow pattern (the S and D waves in Case 1), occasional fusion of the S and RF waves (the second heart beat in Case 2), the R wave following the A wave (Case 3) and flow pattern in ECD of the partial form not different from secundum atrial septal defect (Case 4).

Abbreviations: see Fig. 2.

場合もあった (Fig. 2, 3).

右房内に多数のビームを投入して検討すると, S相は心房中隔欠損口付近から三尖弁輪に向う範囲に存在した (Fig. 2). また, S相の流速は心房中隔欠損口付近ないしや三尖弁口よりで最も速い傾向があった.

コントラスト・エコー法を行った症例についてみると, S相の存在範囲は右房内での収縮期左・右短絡血流の範囲とほぼ一致していた (Fig. 4).

S相のピーク流速と肺, 体血流比との間には一定の関係はなかった (Fig. 3).

2) D相

D相は対象 20 例中 9 例に認めた. 心拍数がやや多い例では D相の存否を識別し難いものが少なくなかった. D相は S相と同じく心房中隔欠損口から右房内にかけて検出された (Fig. 2).

3) A相, RF相

A相, RF相はそれぞれ健常例の前収縮期, 拡張

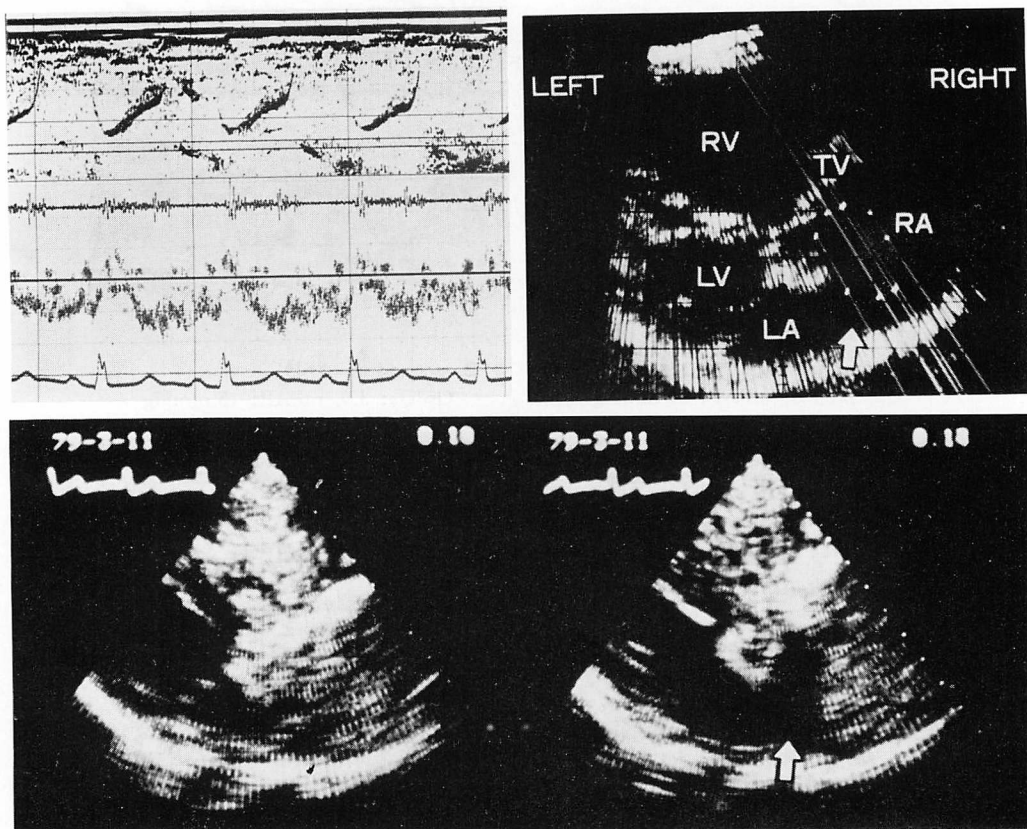


Fig. 4. Similitude of an area of the S wave in the Doppler study and a non-contrast-containing area in the right atrium produced by L-R shunt flow in contrast echocardiography (37 y.o. female, $Q_p/Q_s=2.1$, mean PA pressure=16 mmHg).

Upper left panel: the Doppler signals near the defect, upper right panel: an area of the S wave in the right atrium encircled by white dots. Lower panel: contrast echocardiogram in early systole (left) and mid-systole (right). Note an appearance of the non-opacified area in the right atrium in mid-systole due to the non-contrast-containing blood flowing through the defect. White arrows indicate the interatrial septal defect.

Abbreviations: see Fig. 1.

張早期血流信号に対応するもので、対象例全例に認められた。ピーク流速は健常例に比し速いものが多かった (Fig. 2, 3)。

A相は心房中隔欠損口付近を含み、弁輪部から右房後部にかけて広く存在していた。一方、RF相は心房中隔欠損口付近から三尖弁部にかけて、比較的限局して認められた。

4) R相

R相は心房中隔欠損口付近で 20 例中 9 例にて記録された (Fig. 2, 3)。この 9 例中、oximetry

にて右・左シャントを認めたのは 1 例のみであった。

3. 心房中隔欠損における右房内血流と下大静脈および内頸静脈血流との関係

S相は下大静脈、内頸静脈の収縮期流入相より遅れ、D相は下大静脈拡張期流入相より遅く、内頸静脈のそれとほぼ同時期に出現した (Fig. 5)。

4. 心房中隔欠損口閉鎖術後の変化

5 例にて心房中隔欠損口閉鎖術が行われた。手術後、全例にて S, D 相は消失し、A 相、RF 相

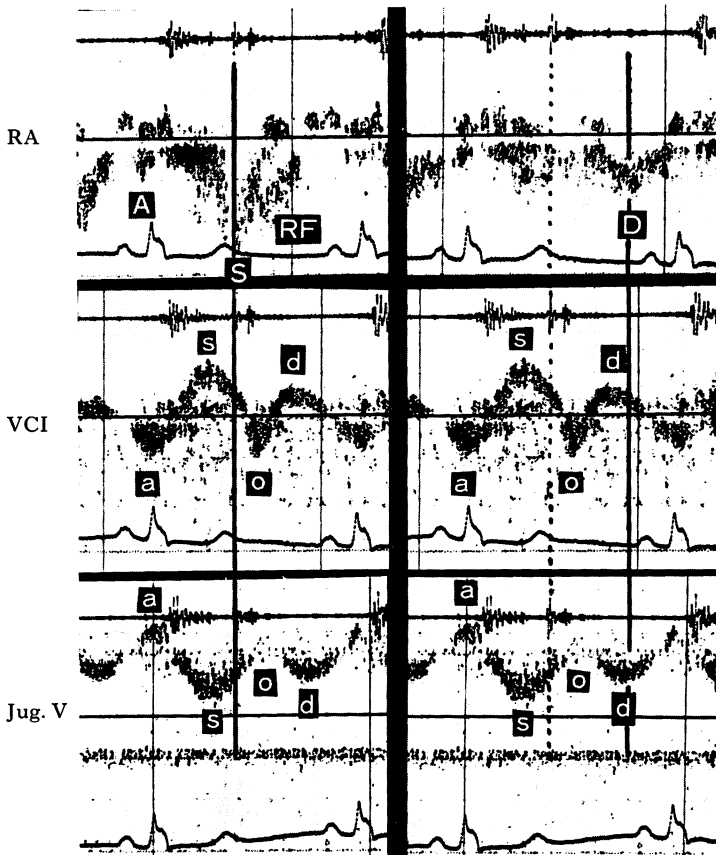


Fig. 5. Relation of the timing between peaks of flows in the right atrium and in the inferior caval vein and the internal jugular vein (the same patient as in Fig. 2).

Upper panel: the recording in the right atrium. Middle panel: the recording in the inferior caval vein. Lower panel: the recording in the internal jugular vein.

s=systolic inflows in the veins; d=diastolic inflows in the veins; o=reversed flows in the veins. S, RF, A, and D: the same as in Fig. 2.

はピーク流速が減少して, ほぼ健常例の血流パターンに変化した (Fig. 6).

5. 肺動脈弁口部血流流速パターン

健常例の肺動脈弁口部血流流速パターンは駆出中期にピークをもつドーム型で, かつ狭周波数帯域の流速プロフィールを示した (Fig. 7).

肺高血圧のない心房中隔欠損では血流パターンは健常例と大差なかったが, 肺高血圧の2例ではピーク流速はI音に近く, かつ2峰性の駆出パターンを呈した (Fig. 7).

考 察

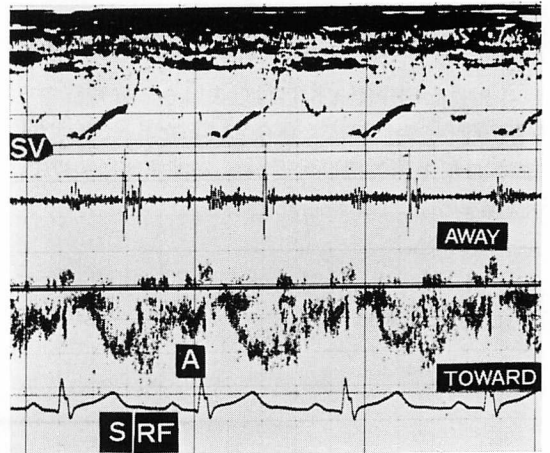
超音波パルス・ドプラー法と超音波心断層法の複合使用により, 二次口心房中隔欠損, 心内膜床欠損の右房内にて, 前収縮期 (A 相), 収縮後期 (S 相), 拡張早期 (RF 相), 拡張中期 (D 相) にピークを有する血流と, 拡張末期から収縮早期にかけて上の4相とは逆方向の血流 (R 相) を認めた.

これらの中, S相は健常者では認められず, また, 下大静脈や内頸静脈での収縮期流入相より遅れて出現することから, 大静脈より右房への流入血流を示すとは考え難い. S相は心房中隔欠損口を含む右房内で記録され, 検出範囲がコントラストエコー法での左・右短絡血流の範囲とほぼ対応することなどからみて, 左・右短絡血流を捉えたものと考えられる. S相は一方向性で比較的狭周波数帯域であり, 心室中隔欠損口の血流が両方向性かつ広周波数帯域であるのとは著しく異なっていた⁵⁾. これは心房中隔欠損では, 心室中隔欠損に比し, 一般に欠損口は広く, 左・右心房圧較差は左・右心室圧較差に比して小さいことなどが関係するのかもしれない.

D相も, 下大静脈拡張期流入相との時間的關係や, 右房内での分布状態からみて, 左・右短絡血流である可能性が強い.

A相, RF相はそれぞれ心房収縮, 拡張早期における右室への流出血流を示す. その流速は健常例に比し早かった. これは心房中隔欠損における

Pre-operation



Post-operation

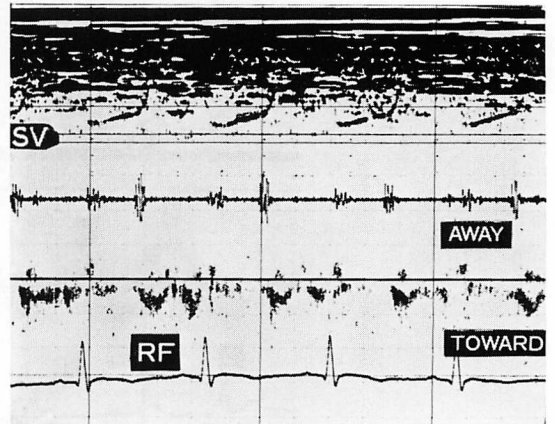


Fig. 6. Flow velocity pattern in a patient with secundum atrial septal defect before and after operative closure of the defect (the same patient as Case 2 in Fig. 3).

右房負荷の反映であろう. しかし, A相, RF相は心房中隔欠損口付近でも検出された. このことからみて, 前収縮期, 拡張早期にも左・右短絡があり, 心房中隔欠損口付近でのA相, RF相はこの短絡血流と上に述べた右室への流出血流の両者を捉えている可能性を否定しえない.

一方, R相はその血流方向からみて, 拡張末期から収縮早期に右・左短絡があり, それを捉えた可能性が考えられる. カテーテル型ドプラー血流

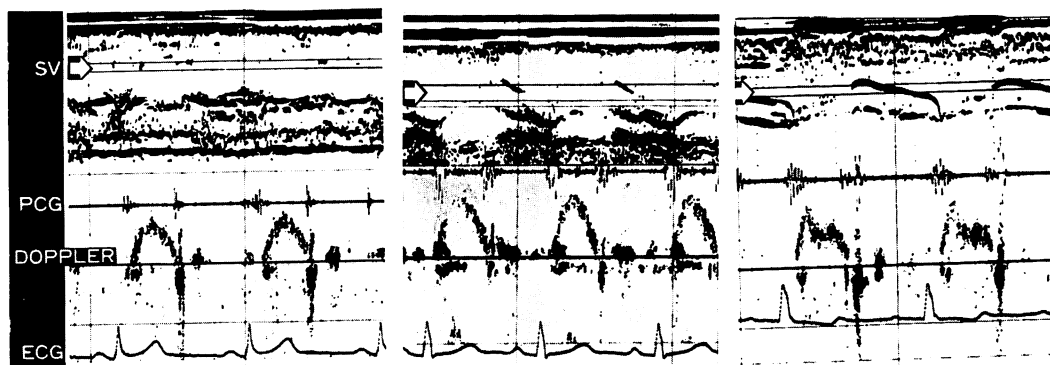


Fig. 7. Flow velocity pattern in the pulmonary artery.

Left: healthy subject. Middle: 17 y.o. female, secundum atrial septal defect. Right: 38 y.o. female, secundum atrial septal defect.

計による記録でも収縮早期に左房方向への血流を認め⁹⁾、また Levin ら⁷⁾は心房中隔欠損にて心室収縮開始時に一時的に右房圧が左房圧を凌駕することをみている。この成績からみても、収縮早期に逆短絡が生じうことは十分予想される。

従来、心房中隔欠損における右房内血流の検討はカテーテル型ドプラー血流計^{6,8)}や電磁流量計⁹⁾を用いて行われ、また、左・右心房圧較差⁷⁾や右房内酸素飽和度の変化¹⁰⁾から検討した成績もみられる。これらの研究では収縮早期逆流相のほか、前収縮期と収縮後期ないし拡張早期の2相、またはこの2相に拡張中期を加えた3相の血流が認められている。本研究でも前収縮期、拡張中期の血流を認めたが、従来の研究とは異なり、収縮後期(S期)と拡張早期(RF期)にそれぞれ別箇の血流が記録された。従来の研究ではS相とRF相のいずれか一方のみを検出したか、または本研究でもみられたようにS相とRF相はしばしば重複するため、その重複像を一相の血流として認識したかの可能性が考えられる。本研究では前後方向5mm、横方向6mmの比較的小範囲の血流信号を記録したが、検出範囲が広いと、S相とRF相の重複像を促える可能性は一層高まると思われる。

肺動脈弁口部での血流流速パターンは肺高血圧

のない症例では、健常者のそれと大差なかった。肺高血圧を有する例の駆出期流速パターンは2峰性で、かつその流速ピークは肺高血圧のない例に比して収縮早期にあった。

今回の検討で肺高血圧を示したのは2例にすぎないが、肺動脈血流流速パターンの変化から、肺高血圧の有無を非観血的に推定しうる可能性が示唆される。肺高血圧における変化は肺血管抵抗の変化に加えて、肺動脈の拡張、血管壁性状の変化、右室収縮能の変化など諸々の要因によるとみることができる。これらについては今後の検討が必要である。

ま と め

超音波パルス・ドプラー法、超音波心断層法の組み合わせ使用により、心断層図上でドプラー信号検出部位を同定しつつ、心房中隔欠損の右房内血流流速パターンを検討した。対象は二次口心房中隔欠損18例、心内膜床欠損(部分型)2例である。

1) 心房中隔欠損では、前収縮期、収縮後期、拡張早期、拡張中期にそれぞれピークを有する4相の血流を認めた。

2) 収縮早期に始まり収縮後期にピークを有する血流は対象例の全例にみられ、健常例では認められなかった。拡張中期の血流は20例中9例に

みられた。この2相の血流はいずれも左・右短絡を示すものと考えられた。

3) 拡張早期, 前収縮期の血流は健常者でも認められ, 右室への流出血液を示すものと考えられた。しかし, これらは心房中隔欠損口付近でも記録され, 拡張早期, 前収縮期にも左・右短絡を生じ, 欠損口付近ではこの短絡血流と, 右室への流出血流の両者が記録されている可能性を否定しえなかった。

4) 20例中9例にて, 拡張末期より収縮早期ないし中期にかけて, 右・左短絡とみられる血流シグナルが認められた。

5) 右房内血流流速パターンは二次口心房中隔欠損と心内膜床欠損(部分型)とで大差はなかった。

6) 肺高血圧のない症例の肺動脈血流流速パターンは収縮中期にピークを有するドーム型で, 健常者のそれと大差なかった。しかし, 肺高血圧の2例では, ピーク流速はI音に近づき, かつ2峰性のパターンを示した。

文 献

- 1) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Dodge HT: Doppler echocardiography: The localization of cardiac murmurs. *Circulation* **48**: 810-822, 1973
- 2) Johnson SL: Pulse-Doppler echocardiography. Localization of murmurs and spectrum of clinical application. *in* *Advances in Heart Disease* (Mason DT ed.). Grune & Stratton, New York, 1977, p 389-418
- 3) Baker DW, Rubenstein SA, Lorch GS: Pulsed

Doppler echocardiography: Principles and applications. *Amer J Cardiol* **63**: 69-80, 1977

- 4) Miyatake K, Kinoshita N, Nagata S, Sakakibara H, Nimura Y: Intracardiac flow pattern in mitral regurgitation studied with a combined use of the ultrasonic Doppler technique and cross-sectional echocardiography. *J Cardiography* **9**: 241-249, 1979 (in Japanese)
- 5) Miyatake K, Kinoshita N, Beppu S, Sakakibara H, Nimura Y: Diagnostic approach to ventricular septal defect with a combined use of the ultrasonic Doppler technique and cross-sectional echocardiography. *Proceedings of 3rd European Congress on Ultrasonics in Medicine*. 1978, p 257-258
- 6) Kalmanson D, Veyrat C, Derai C, Savier C, Berkman M, Chiche P: Non-invasive technique for diagnosing atrial septal defect and assessing shunt volume using directional Doppler ultrasound. Correlations with phasic flow velocity pattern of the shunt. *Brit Heart J* **34**: 981-991, 1972
- 7) Levin AR, Spach MS, Boineau JP, Canent RV, Capp MP, Jewett PH: Atrial pressure-flow dynamics in atrial septal defects (secundum type). *Circulation* **37**: 476-488, 1968
- 8) 松尾修三, 奥保彦, 深谷真彦, 矢野捷介, 持永俊一, 橋場邦武: Doppler Catheter 血流速度計による心房中隔欠損症の shunt 血流速度波の検討. *日超医講演論文集* **29**: 53-54, 1976
- 9) Alexander JA, Rembert JC, Sealy WC, Greenfield JC: Shunt dynamics in experimental atrial septal defects. *J Appl Physiol* **39**: 281-286, 1975
- 10) Gamble WJ, Hugenholz PG, Monroe RG, Polanyi M, Nadas AS: The use of fiberoptics in clinical cardiac catheterization. 1. Intracardiac oximetry. *Circulation* **31**: 328-342, 1965