

超音波パルスドプラー法による心室中隔欠損症の検討

A study on ventricular septal defect by means of pulsed Doppler echocardiography

横井 清  
一宮 恵  
渡口真佐夫  
南木 道生  
伊藤 健一  
松原 達昭  
柳沢 潔  
日比 範夫  
西村 欣也  
神戸 忠

Kiyoshi YOKOI  
Satoshi ICHIMIYA  
Masao TOGUCHI  
Michio NANKI  
Ken-ichi ITOH  
Tatsuaki MATSUBARA  
Kiyoshi YANAGISAWA  
Norio HIBI  
Kinya NISHIMURA  
Tadashi KAMBE

Summary

Pulsed Doppler echocardiography (PDE) was performed on 48 patients with ventricular septal defect (VSD), isolated or associated with other cardiac lesions, using a ATL pulsed Doppler system. The diagnostic findings of PDE for VSD was a widely dispersed dot pattern in systole on the time interval histogram through the interventricular septum (IVS) extending to the right ventricular (RV) cavity.

The disturbed flow pattern with a harsh audio output was mainly detected in the IVS below the aortic valve, near the septal tricuspid leaflet and between them. The VSD jet extended to various directions in the RV cavity; to the pulmonary valve (PV) and the anterior portion of the right ventricular outflow tract in which the disturbed flow was well recognized by PDE, whereas we could hardly trace the VSD jet to the RV body. No patients showed the systolic turbulence within the lower muscular septum.

In 7 out of the 48 patients, PDE revealed the VSD jet within the IVS extending directly to the PV, and 2 cases showed a fine systolic fluttering of the PV on the M-mode echocardiogram. Surgical intervention or angiocardiology proved supracristal VSD in 5 patients and type II VSD with hyperkinetic pulmonary hypertension in one. The remaining one underwent no invasive examinations, but showed the fine systolic fluttering of the PV and was suspected of having supracristal VSD.

Four patients showed a systolic fluttering of the tricuspid valve on the M-mode echocardiogram, and 3 of them revealed an aneurysm of the membranous ventricular septum. The systolic disturbed

名古屋大学医学部 第三内科  
名古屋市昭和区鶴舞町 65 (〒466)

The Third Department of Internal Medicine, School of Medicine, Nagoya University, Tsurumai-cho 65, Showa-ku, Nagoya 466

Presented at the 20th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Nagoya, March 29-30, 1980

Received for publication May 1, 1980

flow was detected when the sample volume was put on the fluttering of the tricuspid valve, extending to the RV body.

In 3 cases with Eisenmenger complex, the systolic flow pattern at the defect was clearly differentiated from that of VSD jet. It was a smooth, coherent dot pattern on time interval histogram without a harsh audio output. The systolic disturbed flow was detected in the left ventricular outflow tract in 2. The remaining one showed an early diastolic flow from the RV to the left ventricular cavity at the defect. The flow pattern detected in Eisenmenger complex is thought to reflect the hemodynamic changes due to the defect.

The systolic abnormal flow pattern was detected in 45 out of the 48 patients including 3 cases with Eisenmenger complex. The sensitivity of PDE to this lesion was 94%.

In conclusion, PDE is thought to be a useful, non-invasive method for detecting the disturbed flow due to the defect of the interventricular septum.

**Key words**

Pulsed Doppler echocardiography      Time interval histogram      Ventricular septal defect      Systolic fluttering of the pulmonary valve      Aneurysm of the membranous ventricular septum

はじめに

超音波検査法の発展により、各種心疾患の解剖学的異常や心内構造の動態が非侵襲的に観察され、心室中隔欠損症 (VSD) においては心室中隔 (IVS) の不連続性や血行動態を反映する種々の所見が得られている<sup>1-4)</sup>。しかし、装置の分解能の問題で、小さな欠損の VSD ではその描出が困難であり、臨床的には心音図法、聴診法などにより診断がなされている。超音波パルスドプラー法 (PDE) が臨床に応用されて、心内の任意の部位での血流、および乱流の観察が可能となり、その有用性が評価されてきている<sup>5-9)</sup>。今回我々は、PDE による VSD の異常血流および検出部位に関する検討を行ったので報告する。

対象ならびに方法

対象は名古屋大学医学部第三内科にて PDE 検査を施行した、単独または合併症を有する 48 例の VSD で、男性 28 例、女性 20 例で年齢は 1~38 歳(平均年齢 15.1 歳)である。VSD 単独例 31 例、合併症としては肺高血圧症 6 例、大動脈弁閉鎖不全症 3 例、心房中隔欠損症兼肺動脈狭窄症 1 例、右室二腔症 3 例があり、術後 leakage 1 例、Eisenmenger complex 3 例であった (Table 1)。

Table 1. Case materials

isolated VSD	31
VSD + PH*	6
VSD + AR	3
VSD + ASD + PS	1
VSD + TCRV	3
VSD post-op. leakage	1
Eisenmenger complex	3
Total	48

VSD=ventricular septal defect; PH=pulmonary hypertension; AR=aortic regurgitation; ASD=atrial septal defect; PS=pulmonary stenosis; TCRV=two-chambered right ventricle; \*: association with other cardiac lesions.

25 例に心臓カテーテル検査が施行されており、23 例は理学的所見、心音図、心電図、胸部 X 線、超音波断層法などにより総合的に診断されている。

装置は ATL 500A 超音波パルスドプラー装置を使用した。発振周波数 3 MHz、パルス繰り返し周波数 5.5 KHz、sampling 部位は A モードおよび M モード上に表示され、12 cm の間で可変で、sample volume の大きさは 2×4 mm<sup>2</sup> の

tear drop shape である。受信されたドプラー信号は time interval histogram (TIH) として表示され、同時に audio output からスピーカーを通して音として聴取されるようになっている。

被検者は背臥位または左半側臥位として、ビームの投入は胸骨左縁第3または第4肋間から行った。記録は Honeywell 製 strip chart recorder を用いて、毎秒 50 mm または 100 mm の紙送り速度で行った。

### 結 果

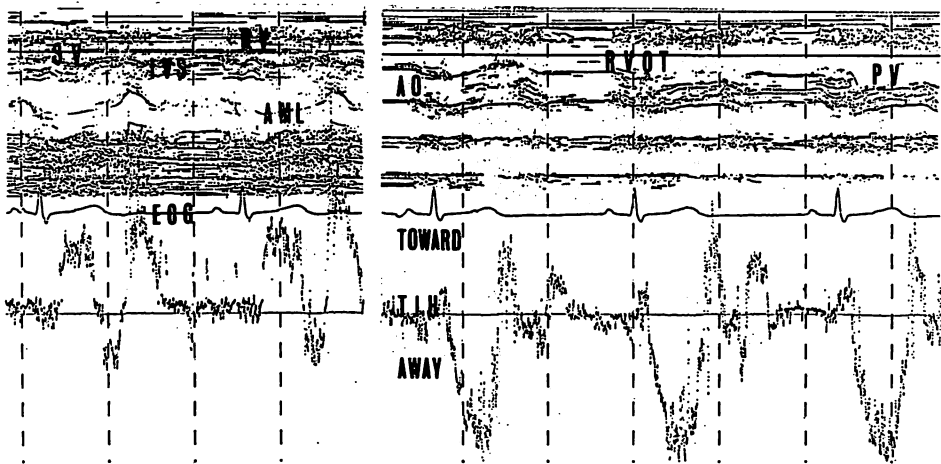
**Fig. 1** は健常例の右室内における PDE 所見である。左に僧帽弁の記録されるビーム方向での右室、右に大動脈から肺動脈弁 (PV) へ M モードスキャンを行い、得られた右室流出路 (RVOT) での sampling を示す。上段が M モード UCG, 心電図で、M モード中の SV は sample volume でのその TIH が下段に表示されている。基線より上が探触子に向う toward の、下方は遠ざかる away の血流を表わしている。右室体部、流出路

ともに、収縮期は層流を示す比較的 dot の密集した narrow band pattern を呈している。また、ビームと血流が直交する場合には、基線上に dot が分布するが、ともに audio output に収縮期雑音は聴取されない。

PDE による VSD は原則的には、IVS から右室側にわたる audio output からの荒い収縮期雑音を伴った、TIH 上の幅の広い dot の分散をもって判定した。

IVS 内での sampling では、おもに大動脈弁下の IVS、僧帽弁輪から僧帽弁前尖の記録されるビーム方向での IVS および探触子をやや右内方に向け、三尖弁中隔尖のとらえられる IVS に収縮期乱流所見を検出し、下部筋性中隔には認めなかった。

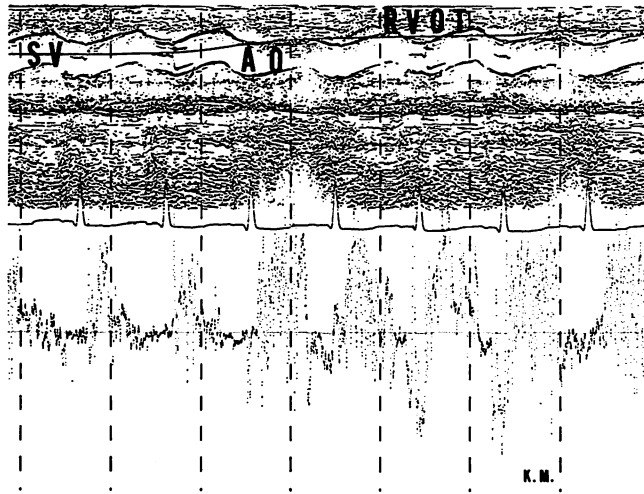
**Fig. 2** は4歳男児の大動脈弁下から、RVOT への sampling を示す PDE 所見である。聴診上胸骨左縁第3肋間に最強点を有する Levine IV 度の全収縮期雑音を聴取し、心臓カテーテル検査にて45%の左右短絡を認めた Kirklin I 型の VSD



**Fig. 1.** Normal flow pattern in the RV body (left panel) and the RVOT (right panel).

The systolic flow shows a smooth, coherent dot pattern on TIH, followed partially by a diastolic blood flow toward the transducer from the right atrium.

SV=sample volume; RV=right ventricle; RVOT=right ventricular outflow tract; PV=pulmonary valve; IVS=interventricular septum; AO=aorta; AML=anterior mitral leaflet; ECG=electrocardiogram; TIH=time interval histogram.



**Fig. 2. Pulsed Doppler echocardiogram from a 4-year-old boy with VSD (type I).**  
A widely dispersed dot pattern in systole is recognized in the RVOT.

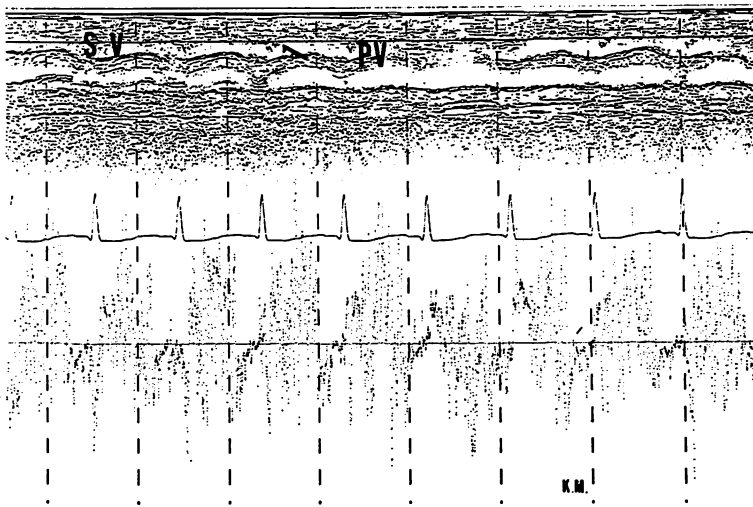
例である。左室流出路 (LVOT) では収縮期に dot の密集した narrow band pattern をみるが、中隔に接する部位から RVOT では広く dot の分散した wide band pattern を認め、audio では荒い収縮期雑音が聴取された。この乱流所見は PV に至る RVOT に連続的に観察された。Fig. 3 は同症例の肺動脈弁口における血流パターンで、M モード上 PV に収縮期 fluttering (矢印) がみられ、TIH で収縮期に幅の広い dot の分散が認められた。このような大動脈弁下の IVS から PV にわたる収縮期乱流所見は 48 例中 7 例に検出し、2 例に M モード上 PV の収縮期 fluttering を観察した。

Fig. 4 は 6 歳、女兒で胸骨左縁第 4 肋間に、Levine III 度の全収縮期雑音を聴取し、胸部 X 線像、心電図、超音波断層法に心肥大などの異常所見が認められなかった VSD 例の PDE 所見である。通常の動脈弁から僧帽弁への M モードスキャンで、IVS 内に乱流所見は得られず、三尖弁中隔尖の記録されるビーム方向での sampling に認められた。この症例での乱流所見は RVOT、右室心尖部などには検出されず欠損部に限局していた。

Fig. 5 は 13 歳男性で、膜様部心中隔動脈瘤 (以下中隔瘤) を伴った VSD の症例である。胸骨左縁第 4 肋間に Levine IV 度、胸骨右縁第 4 肋間に III 度の全収縮期雑音を聴取し、超音波断層法にて中隔瘤を認めた例である。M モード上収縮期に前方運動を示す中隔瘤エコーが fluttering を伴って認められ、乱流を表わす wide band pattern が中隔瘤から右室に検出された。本症例では、大動脈弁下の IVS にも心周期により一部収縮期乱流所見がとらえられたが RVOT、右室内には認められなかった。

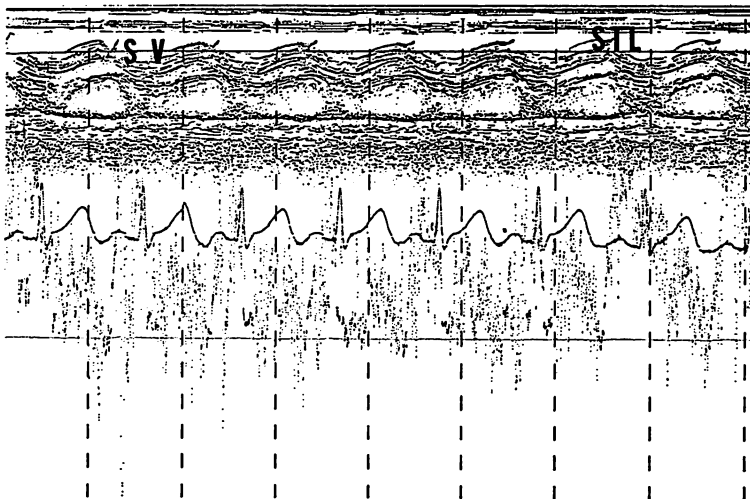
VSD の短絡血流による乱流所見は欠損部からさらに右心腔内に検出されたが、その拡がりには症例により異なり、肺動脈弁方向、右室流出路前方、右室体部などであった。また Fig. 3 の例のごとく、欠損部に限局していた例も多く、右室体部への短絡血流は RVOT に比較してその追跡は困難であった。

Fig. 6 は 21 歳女性の Eisenmenger complex 例の PDE 所見で、LVOT から欠損をとおして RVOT への sampling を示す。聴診上胸骨左縁第 3 肋間で後期に頂点を有する Levine II 度の収縮期雑音を聴取し、心臓カテーテル検査で 50%



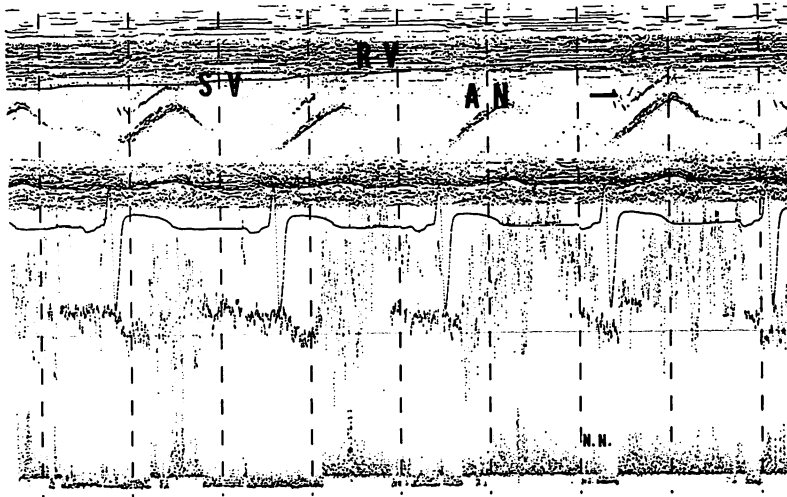
**Fig. 3. Pulsed Doppler echocardiographic findings at the PV from the same patient as in Fig. 2.**

The M-mode echocardiogram shows a fine systolic fluttering of the PV (arrow) and the disturbed flow is recognized.



**Fig. 4. Pulsed Doppler echocardiogram from a 6-year-old girl with VSD.**

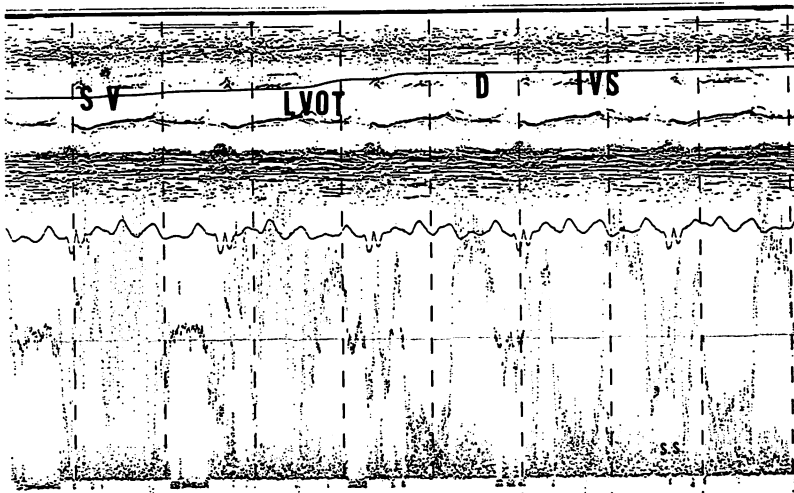
The systolic disturbed flow is detected in the vicinity of the septal tricuspid leaflet.



**Fig. 5. Pulsed Doppler echocardiogram from a 13-year-old male with aneurysm of the membranous ventricular septum.**

There is a systolic anterior motion and a systolic fluttering of the tricuspid valve on the M-mode echocardiogram (arrow), and the non-coherent dot pattern is obtained near the tip of the aneurysm, extending to the RV cavity.

AN=aneurysm of the membranous ventricular septum.



**Fig. 6. Pulsed Doppler echocardiographic findings from a 21-year-old female with Eisenmenger complex.**

The disturbed flow is recognized in the LVOT, but there is a smooth, coherent dot pattern without a harsh audio output at the defect and in the RVOT.

LVOT=left ventricular outflow tract; D=defect of the interventricular septum.

**Table 2. Pulsed Doppler echocardiographic detection of the disturbed flow in patients with VSD.**

Disturbed flow detected by PDE	Yes	NO	Total
	45	3	48
The sensitivity of PDE to VSD			94 %

の右左短絡を示し、右室内に有意な酸素飽和度の上昇を認めなかった。TIH 上 LVOT では収縮早期の幅の狭い探触子に向う血流に続いて、幅の広い dot の分散が認められ、欠損部に近づくに従って分散が減少した。さらに欠損部から RVOT では収縮早期の away, toward の大きな振れがみられ、それに続く開始の遅い層流状の探触子から遠ざかる血流パターンを示した。Audio 上は LVOT に収縮期雑音を聴取したが、欠損部から右室側には認められなかった。RVOT における血流パターンは大動脈弁の記録されるビーム方向でも同様にみられたが、PV 下には観察されず、駆出血流および M モード上の PV 開放に明らかな遅延はなかった。

我々は 3 例の Eisenmenger complex 例を経験し、この例も含めて 2 例で欠損部に収縮期乱流は検出されず、左室側に認めた。残り 1 例は超音波断層法で三尖弁中隔尖および弁下部組織の一部のエコーが、拡張早期に欠損から LVOT に落ち込むことが観察され、その時相に一致した右左短絡を示す層流状の血流を PDE により検出した。

今回我々は 48 例の VSD に PDE を施行し、特異な血流パターンを呈した Eisenmenger complex 例も含めて、45 例に異常血流を認め、検出率は 94% であった (Table 2)。

### 考 案

VSD は先天性心疾患のなかで最も頻度の高い疾患で、経過中に自然閉鎖が高率に生じ、また肺動脈漏斗部狭窄や大動脈弁閉鎖不全症など、血行動態に重大な影響をもたらす病態を合併すること

が知られている<sup>10-13)</sup>。臨床診断は特徴ある収縮期雑音の存在で比較的容易であるが、時に肺動脈狭窄症、僧帽弁閉鎖不全症などとの鑑別が困難な場合がある。PDE が各種弁膜疾患、短絡疾患の異常血流の局在を知る上に有用な方法であることは多く報告されている。今回我々は VSD の異常血流およびその検出部位に関して検討を行った。Eisenmenger complex 例を除いて、欠損部乱流所見の判定は容易であったが、右心腔への短絡血流の拡がりに関してはその判定に困難な例もあり、明らかな所見を示したものについて考案を行った。

今回の検討で、false negative は 3 例であった。これらは乱流所見の欠損部からの連続性に欠けた例、IVS 内とくに下部筋性中隔などの十分な検討や適切な記録に欠けた例であり、技術的な問題が考えられた。これらが解決されればさらに検出率は向上するものと思われる。

本邦では欧米に比して supracristal VSD の頻度は高く、経過中に大動脈弁の逸脱を起し大動脈弁閉鎖不全症を合併するため、その診断は重要である<sup>11)</sup>。その確定診断は侵襲的検査法によりなされるが、血行動態に影響をおよぼさない小さな欠損では自然閉鎖の可能性があり、経過観察が行われている。Glasser ら<sup>15)</sup>は subpulmonic VSD の M モード UCG で、PV に収縮期 fluttering を示す例を報告し、短絡血流によるものと考えた。しかし Weyman ら<sup>16)</sup>は肺高血圧および肺動脈漏斗部狭窄例に fluttering を認めており、また原因不明の症例報告<sup>17)</sup>もあって、特異的な所見とはいえない。我々は PDE により、48 例中 7 例に欠損部から PV にわたる収縮期乱流所見を検出した。5 例は手術または造影法により確認された supracristal VSD で、1 例は hyperkinetic pulmonary hypertension を伴った Kirklin II 型の VSD で、残り 1 例は侵襲的検査法は未施行であるが M モード上 PV に fluttering を認めた例であった。欠損部から直接 PV にわたって乱流所見を示す例では、この型の VSD である可能性の高いことが示唆された。

一方, 三尖弁の収縮期 fluttering は4例にみられ, 1例は手術により III 型の VSD が確認され, 3例は左室造影または超音波断層法により中隔瘤を認めた例であった。また右室自由壁, 右室流出路前壁に接する部位での sampling に強い乱流所見を示す例があり, これらでは短絡血流による弁, 心筋および血流の振動を短絡血流自体をも含めて, PDE によりとらえられたことが推測された。

Stevenson ら<sup>19)</sup>は欠損部での収縮期乱流所見の検出の要因の1つに肺血管抵抗の存在をあげ, 高い例では検出されず, 逆に右左短絡例では LVOT または大動脈弁口に検出したと報告している。我々も右左短絡を有した2例の Eisenmenger complex 例で, LVOT に乱流所見を検出した。欠損部での血流パターンは左右両心室の駆出, 流入血流などにより修飾され, 欠損の位置や大きさ, ならびに欠損部での sampling 部位の違いなどにより影響されることが推測され, その判定は困難である。しかし, 数回の検査に再現性の良い血流パターンを検出し, 他の VSD や健常例とは明らかに異なった所見であり, 欠損の存在による血行動態を反映しているものと考えた。今後さらに症例を増して検討を加えたい。

以上, PDE により非侵襲的に VSD の異常血流ならびに出現部位の同定が可能であり, 有用な方法であったので報告した。

#### 文 献

- 1) Goldberg SJ, Allen HD, Sahn DJ: Pediatric & Adolescent Echocardiography. Year Book Medical Publ, Chicago, 1975
- 2) Tanaka M, Neyazaki T, Kosaka S, Sugi H, Oka S, Ebina T, Terasawa Y, Unno K, Nitta K: Ultrasonic evaluation of anatomical abnormalities of heart in congenital and acquired heart diseases. Brit Heart J 33: 686, 1971
- 3) Hibi N, Kambe T: Cross-sectional and M-mode echocardiographic study on ventricular septal defect. Jpn Heart J 20: 127, 1979
- 4) Ahmad M, Hallidie-Smith KA: Assessment of left-to-right shunt and left ventricular function in isolated ventricular septal defect. Echocardiographic study. Brit Heart J 41: 147, 1979
- 5) Baker DW: Pulsed ultrasonic Doppler blood-flow sensing. IEEE Trans Sonics and Ultrasonics (vol. SU-17) 3: 170, 1970
- 6) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Dodge H: Doppler echocardiography. The location of cardiac murmurs. Circulation 48: 810, 1973
- 7) Lorch G, Rubenstein S, Baker DW, Dooley T, Dodge H: Doppler echocardiography. Use of a graphical display system. Circulation 56: 576, 1977
- 8) Matsuo H, Kitabatake A, Hayashi M, Asao M, Terao Y, Senda S, Hamanaka Y, Matsumoto M, Nimura Y, Abe H: Intracardiac flow dynamics with bi-directional ultrasonic pulsed Doppler technique. Jpn Circulat J 41: 515, 1977
- 9) Baker DW: The present role of Doppler techniques in cardiac diagnosis. Prog Cardiovasc Dis 21: 79, 1978
- 10) Corone P, Doyon F, Gaudeau S, Guerin F, Vernant P, Ducam H, Rumeau-Rouquette C, Gaudeul P: Natural history of ventricular septal defect. A study involving 790 cases. Circulation 55: 908, 1977
- 11) Tatsuno K, Ando M, Takao A, Hatsune K, Konno S: Diagnostic importance of aortography in conal ventricular septal defect. Amer Heart J 80: 171, 1975
- 12) Keane JF, Plauth WH Jr, Nadas AS: Ventricular septal defect with aortic regurgitation. Circulation (Suppl I) 56: 72, 1977
- 13) Tatsuno K, Konno S, Ando M, Sakakibara S: Pathogenetic mechanisms of prolapsing aortic valve and aortic regurgitation associated with ventricular septal defect. Anatomical, angiographic and surgical considerations. Circulation 48: 1028, 1973
- 14) Baron MG, Wolf BS, Steinfeld L, Gordon AJ: Left ventricular angiocardiography in the study of ventricular septal defects. Radiology 81: 223, 1973
- 15) Glasser SP, Baucum RW: Pulmonary valve fluttering in subpulmonic ventricular septal defect. Amer Heart J 94: 3, 1977
- 16) Weyman AE, Dillon JC, Feigenbaum H, Chang S: Echocardiographic differentiation of infundibular from valvular pulmonary stenosis. Amer J Cardiol 36: 21, 1975
- 17) Shimada E, Asano H, Kurasawa T, Yamane Y: Pulmonary valve fluttering: Report of three cases. J Cardiology 8: 381, 1978
- 18) Aziz K, Cole RB, Paul MH: Echocardiographic



- features of supracristal ventricular septal defect with prolapsed aortic valve leaflet. *Amer J Cardiol* **43**: 854, 1979
- 19) Stevenson JG, Kawabori I, Dooley T, Guntheroth WG: Diagnosis of ventricular septal defect by pulsed Doppler echocardiography. Sensitivity, specificity and limitations. *Circulation* **58**: 322, 1978
- 20) Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG: Differentiation of ventricular septal defects from mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* **56**: 14, 1977
- 21) Nadas NC, Gramiak R, Manning JA: Echocardiography of the tricuspid valve in congenital left ventricular-right atrial communication. *Circulation* **51**: 268, 1975
- 22) Brammell HL, Vogel JHK, Pryor R, Blount SG Jr: The Eisenmenger syndrome. A clinical and physiologic reappraisal. *Amer J Cardiol* **28**: 679, 1971