

線状コントラスト心エコー
図法による右室充満様式の
検討： 右室容量負荷と圧負
荷の比較

Contrast echocardiogra-
phic evaluation of right
ventricular filling profiles
in patients with right
ventricular volume or
pressure overload

高元 俊彦
新田 政男
宮原 康弘
丹羽 明博
谷口 興一
武内重五郎

Toshihiko TAKAMOTO
Masao NITTA
Yasuhiro MIYAHARA
Akihiro NIWA
Koichi TANIGUCHI
Jugoro TAKEUCHI

Summary

Contrast echocardiographic examinations were performed to evaluate hemodynamic filling profiles in patients with right ventricular overload as well as in normal adults. The subjects were 15 cases of atrial septal defect (ASD) as a representative of right ventricular volume overload, 13 cases of mitral stenosis (MS) as a condition with right ventricular pressure overload and 15 cases of normal adults. M-mode contrast echocardiograms were recorded through the ultrasonic beam direction determined by two-dimensional echocardiograms as shown in Fig. 1.

Results: 1) In diastole, continuous rapid linear flow through the tricuspid valve orifice was observed in 11 patients with ASD, while biphasic rapid linear flow was noted in normal adults (control) and in patient with MS. 2) Maximum flow velocity (MFV) in early diastole and flow velocity in atrial contraction phase (AFV) were larger in cases with ASD than that of the control subjects. However, there was no difference in rapid filling time (RFT) between patients with ASD and MS. 3) The characteristic findings of tricuspid valve echoes in cases of ASD included increased valve opening velocity (TOV), decreased diastolic descent rate (TDDR), and high F point. These findings were correlated well with increased MFV and prolonged RFT. 4) MFV was decreased secondarily to the increment of pulmonary artery pressure. 5) Turbulent flow in the right-sided chamber was observed in patients with pulmonary hypertension.

These results suggest that linear contrast echoes in the M-mode echocardiograms may be useful for the evaluation of flow velocity and flow profiles across the tricuspid valve orifice in patients with right ventricular volume or pressure overload.

東京医科歯科大学 第二内科
東京都文京区湯島 1-5-45 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine, Tokyo
Medical & Dental University, Yushima 1-5-45,
Bunkyo-ku, Tokyo 113

Presented at the 21st Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo September 14-15, 1980
Received for publication January 20, 1982

Key words

Contrast echocardiography Right ventricular filling profiles Right ventricular volume overload
Right ventricular pressure overload

緒 言

近年, M モード心エコー図法の応用としての線状コントラスト心エコー図法は, 心動態に加え, 心腔内流動現象を可視的に把握できる新しい方法として試みられているが, 血液流動のプロフィル, 評価基準および臨床的有用性についてはまだ検討の余地が残されている. そこで, 線状コントラストエコー法を応用し, 右心内流動様式(房室間充満様式)を観測し, 右室容量負荷あるいは圧負荷を来す心疾患について, 負荷様式の相違からくる血液流動プロフィルの差異, 心疾患の重症度評価, 短絡疾患における短絡量の定性的推測, および右室内乱流形式の成因について検討を加えた. ついで, 房室間血液充満に伴う三尖弁開放運動を検討するために, 通常の方法(parasternal approach)にて記録された三尖弁エコー波形と, コントラスト心エコー図法における血液流動プロフィルとの対比を試みた.

対象および方法

対象: 対象は右室容量負荷を来す代表的疾患である心房中隔欠損症 15 例(ASD 群: 男 7 例, 女 8 例), 平均年齢 50.4 ± 15.3 歳(mean \pm SD), および圧負荷を来す僧帽弁狭窄症 13 例(MS 群: 男 3 例, 女 10 例), 平均年齢 50.2 ± 11.3 歳で, 対照は成人健常者 15 例(Control 群: 男 8 例, 女 7 例), 平均年齢 32.2 ± 8.9 歳である. ASD 群の 4 例, MS 群の 7 例に心房細動を認め, そのほかはすべて正常洞調律であった. なお心臓カテテル検査は ASD 群では 10 例, MS 群では 8 例に施行した.

方法: 生理食塩水 10~15 ml に少量のジアグノグリーンを加え, 肘静脈より速やかに注入し, あらかじめ超音波断層像の 4 chamber view より

右室-三尖弁口中心部-右房を通るビーム方向で設定された M モード心エコー図にてコントラスト像を記録した(Fig. 1A). さらに乱流現象の検討のため右室壁側よりのビーム方向を加え, dual M モード心エコー図も記録した(Fig. 1B). 得られた線状コントラストエコー像より, 最大血流速度(MFV), 心電図 P 波終末部での心房充満速度(AFV)と, 心音図 II 音肺動脈成分を始点とし, 三尖弁口レベルにおける急峻なコントラストエコー線束の終末部までを急速充満時間(RFT), 心電図 P 波終末部を始点とし, 同じく三尖弁口レベルでの急峻な線束像の終末部までを心房充満時間(AFT)として計測した(Fig. 2). ついで三尖弁エコー波形より, 三尖弁開放速度(TOV), 三尖弁後退速度(TDDR), DE 振幅(DE amp.), DF 振幅(DF amp.), DF 間隔(DF int.), DC 間隔(DC int.)を計測した(Fig. 3). このさい心房細動例の計測値は 3 心拍の平均値とし, 計測値の群間比較は対応のない t 検定を用いた. 使用した超音波断層装置は Aloka 製 SSD 800 電子セクタースキャン, 心エコー装置図は Aloka 製 SSD 110 で, 記録は Honeywell 製 strip chart recorder にて 50mm/sec の速度で行った. またコントラストエコー線束, 心エコー図の計測にはすべて MSR 製ディジタイザーコンピューターを使用し, 統計処理は対応のない t 検定を用い, 計測値は平均 \pm 標準偏差にて記載した.

結 果

1. 右房-右室間血流プロフィルについて

健常例: Fig. 4 は健常者の代表的コントラストエコー像である. 右房-右室間血流動態として拡張初期に右房より右室に向う幅広い急峻な線束像を認め, これは右室急速充満期(RF 期)の層流と考えられた. 拡張末期には RF 期と同方向で

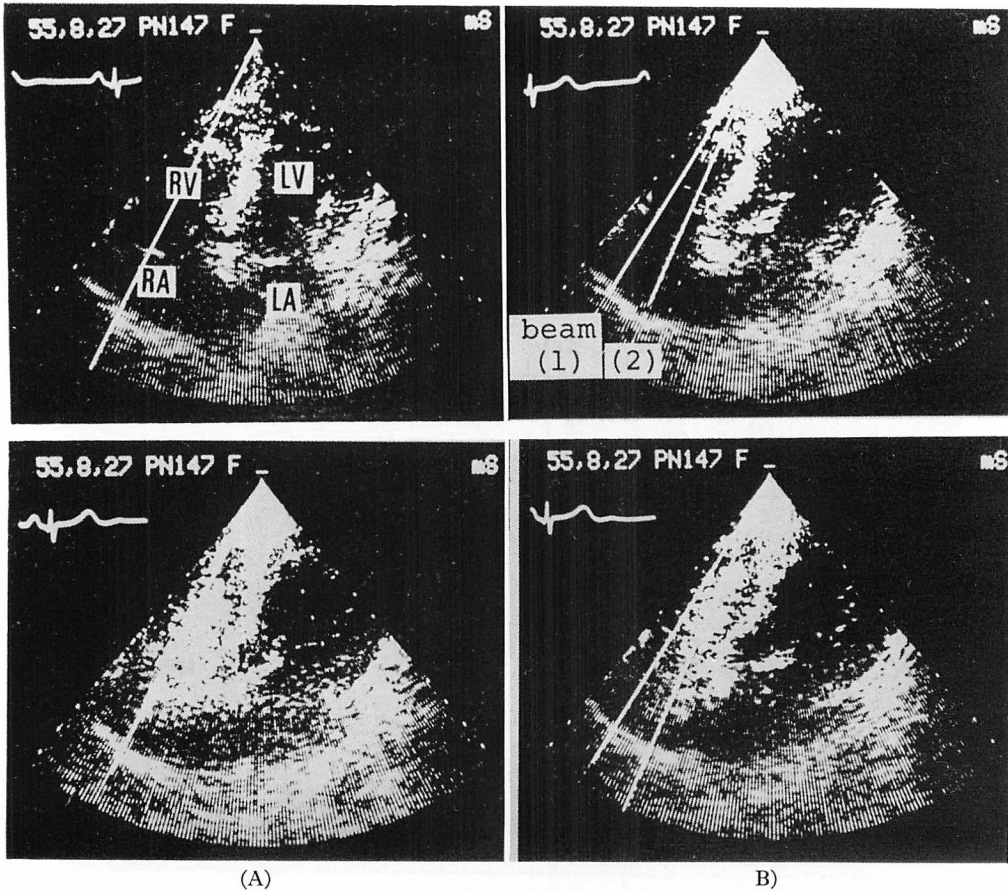


Fig. 1. Two-dimensional contrast echocardiograms demonstrating the ultrasonic beam directions of the M-mode echocardiogram.

M-mode contrast echoes are recorded by ultrasonic beams directed from the apical portion which determined by 2D-echocardiograms (beam 1: passing through the center of the tricuspid valve ring, beam 2: passing through the septal side of the valve ring).

より幅の狭い線束像を認め、これは心房収縮による右室への流動 (AF 期) を示す層流と考えられた。また収縮期右室内で右上方へ向う線束像を認めたが、これは右室流入路より流出路へ向う層状血流と考えられた。以上の所見は健常者全例で認められた。

ASD 例：房室間充満様式により 3 つの type に分けられた (Fig. 5)。Type I は健常者の所見と同様に、RF 期と AF 期の 2 峰性を示すもの、Type II は RF 期より AF 期にかけて連続的に

層流状の右室充満を示すもの、Type III は RF 期の流動を欠如し、AF 期のみで右室充満を認める肺高血圧型 ASD 例である。Type I は 3 例、Type II は 11 例、Type III は 1 例のみであった。MS 例については、洞調律例では全例に 2 峰性の拡張期右室充満が存在し、健常例との差異を認めなかったが、心房細動例では心房充満を欠如していた (Fig. 6)。

2. 房室間血液充満速度および充満時間について
Maximum flow velocity (MFV) は ASD 群

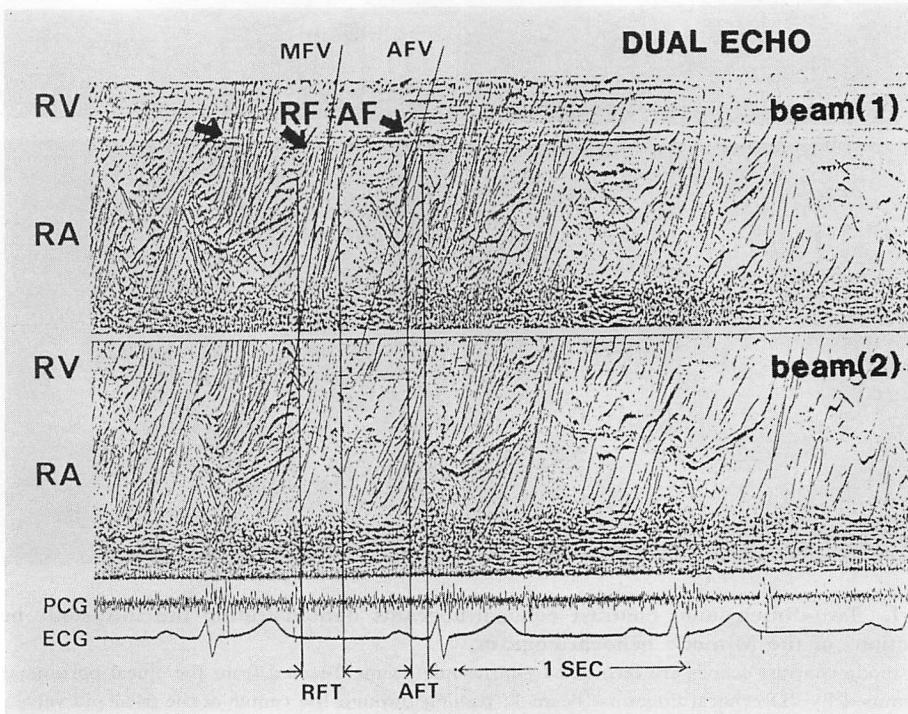


Fig. 2. Methods of measurements in M-mode contrast echocardiograms.

MFV=maximum flow velocity; AFV=atrial filling velocity; RFT=rapid filling time; AFT=atrial filling time.

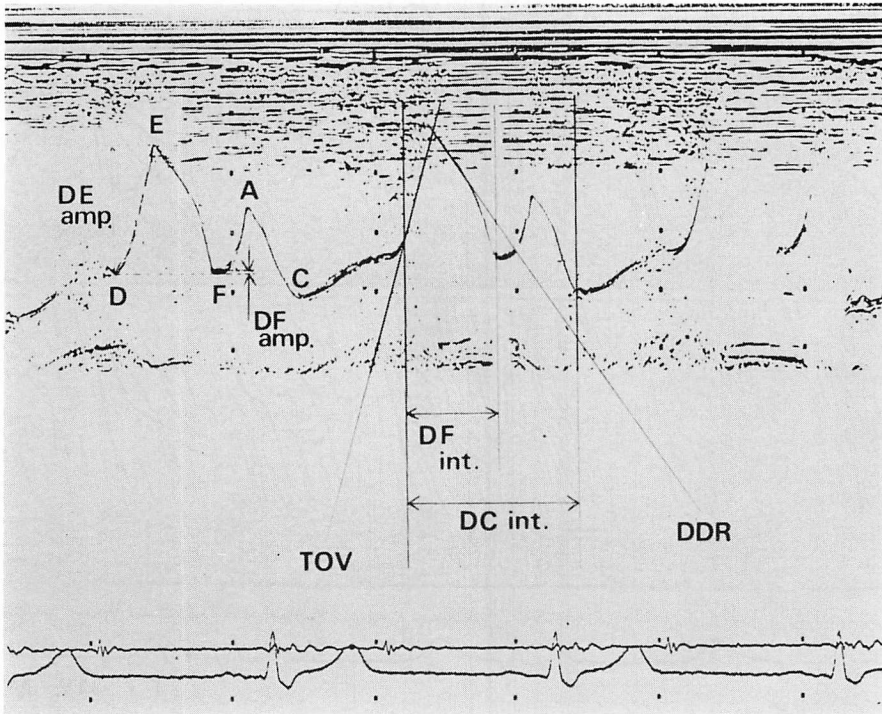


Fig. 3. Methods of measurements in tricuspid valve echo.

TOV=tricuspid valve opening velocity; DF int.=DF interval; DC int.=DC interval.

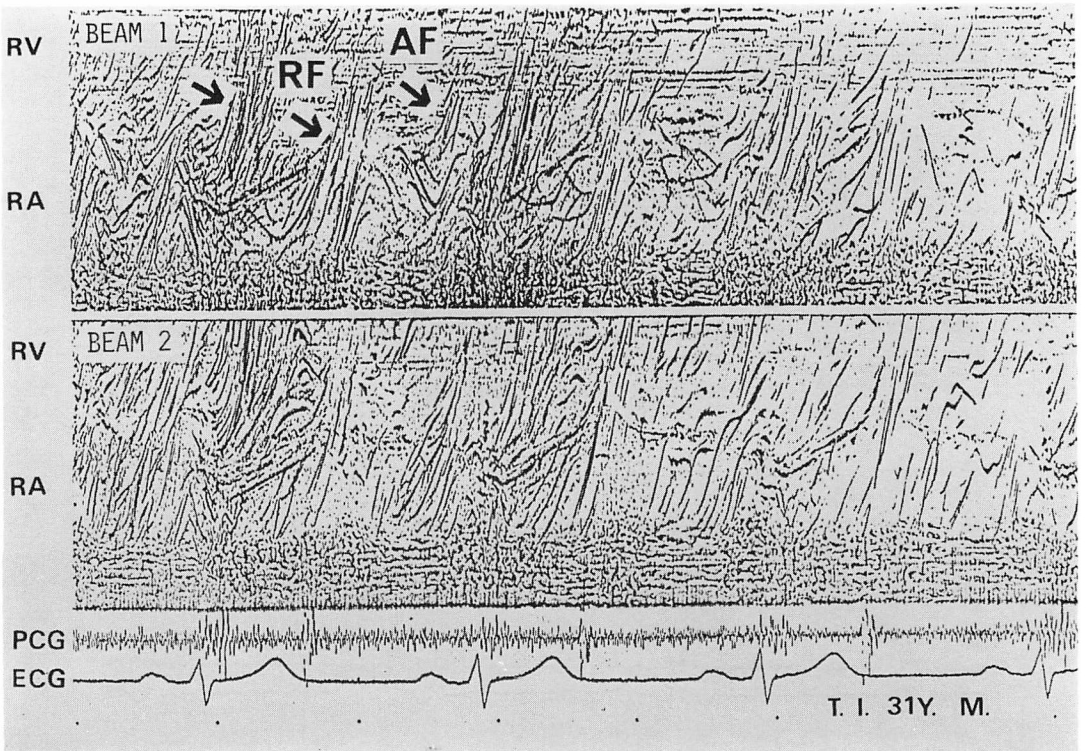


Fig. 4. Flow profiles across the tricuspid valve orifice in a normal adult.

Rapid linear flow towards the right ventricle in systole (the first arrow) reveals blood flow from the inflow tract to the outflow tract of the right ventricle.

RF=rapid filling; AF=atrial filling.

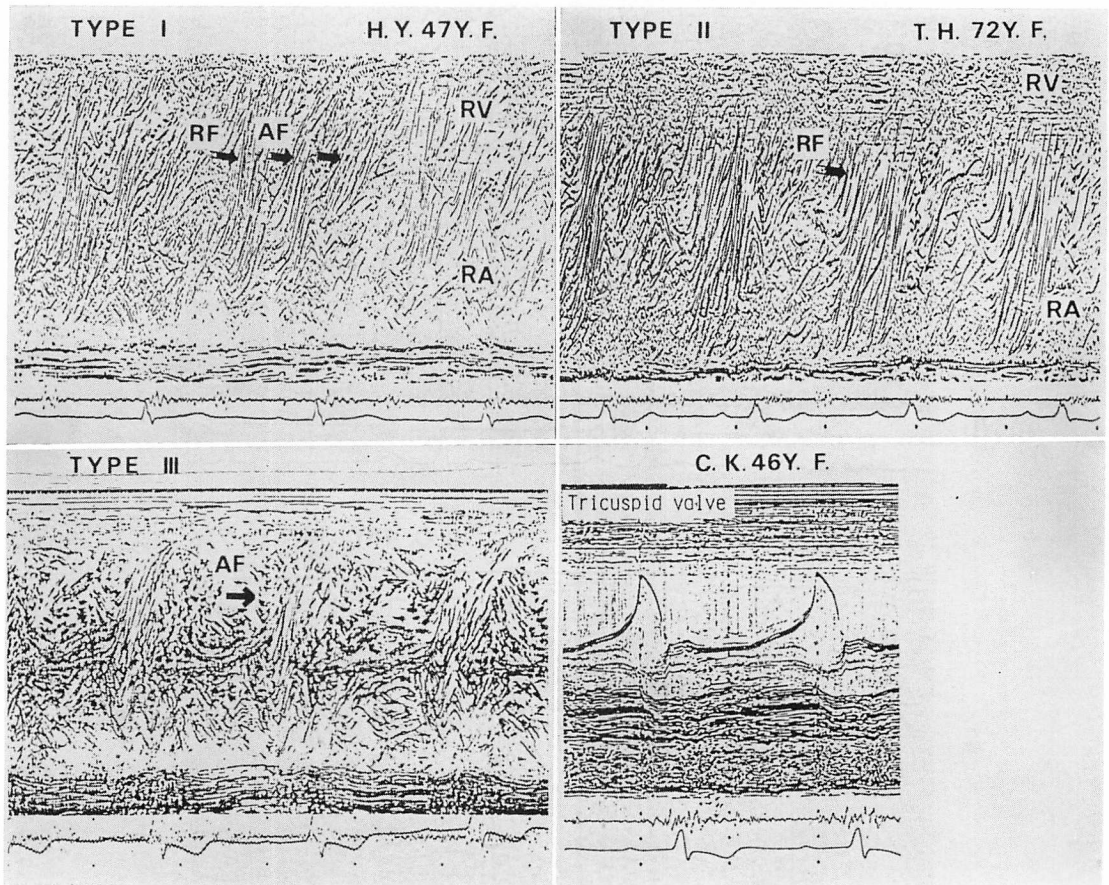


Fig. 5. Types of flow profiles in cases with atrial septal defect.

Type 1 shows biphasic rapid blood filling towards the right ventricle in diastole, which is similar to filling profiles in normal cases. Type II shows continuous blood filling in diastole. Rapid linear blood filling is observed only in end-diastole in Type III (a case with pulmonary hypertension).

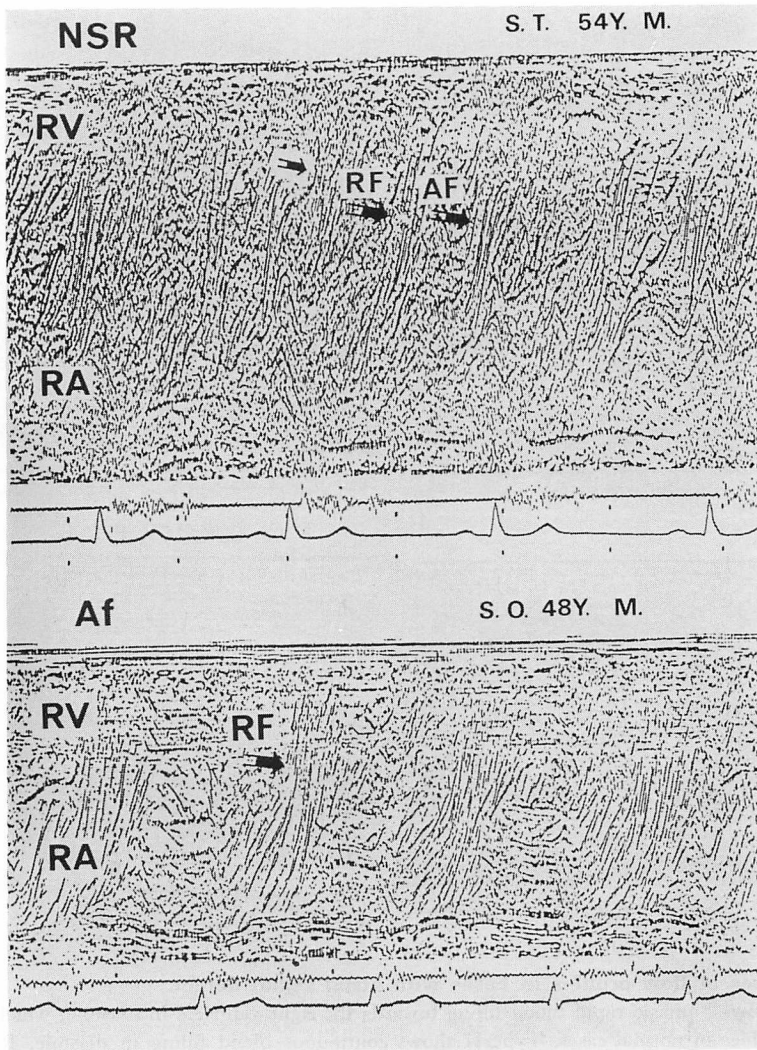


Fig. 6. Tricuspid flow profiles in mitral stenosis (MS).

In cases with atrial fibrillation, blood filling induced by atrial contraction is absent.
NSR=normal sinus rhythm; Af=atrial fibrillation.

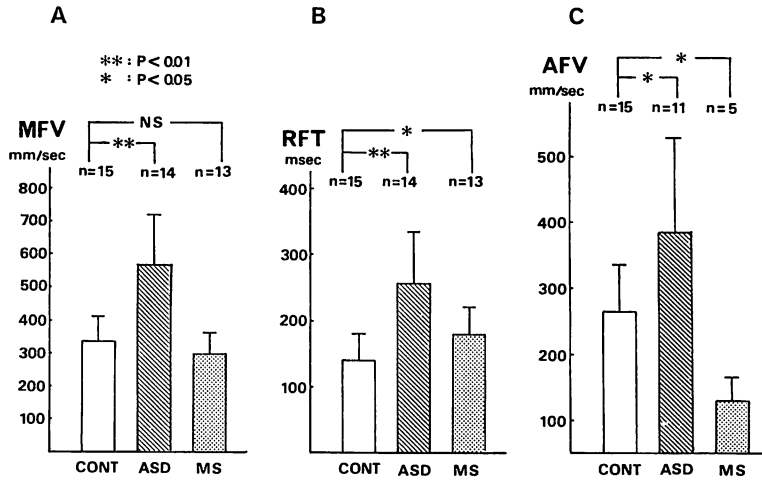


Fig. 7. Comparisons of measured maximum flow velocity (MFV), rapid filling time (RFT) and atrial filling velocity (AFV) in 3 groups.

CONT=control; ASD=atrial septal defect; MS=mitral stenosis.

で 574 ± 150 mm/sec, MS 群では 300 ± 58 mm/sec, 対照群では 338 ± 75 mm/sec であり, 対照群に比し ASD 群は有意に大 ($p < 0.01$), MS 群では小さい傾向を示した (Fig. 7A).

Rapid filling time (RFT) は ASD 群で 258 ± 76 mm/sec, MS 群では 178 ± 38 mm/sec, 対照群では 138 ± 40 mm/sec であり, 対照群に比し両群いずれも有意 (ASD 群: $p < 0.01$, MS 群: $p < 0.05$) の延長を認めた (Fig. 7B).

Atrial filling velocity (AFV) は ASD 群で 384 ± 155 mm/sec, MS 群では 192 ± 35 mm/sec, 対照群では 264 ± 66 mm/sec となり, 対照群に比し, ASD 群では有意に大 ($p < 0.05$), MS 群では有意に小 ($p < 0.05$) であった (Fig. 7C).

3. 三尖弁エコー波形

三尖弁エコーが明瞭に記録できた ASD 例と対照例について計測した. Tricuspid valve opening velocity (TOV) は ASD 群で 342 ± 119 mm/sec, 対照群では 256 ± 79 mm/sec で, ASD 群では対照群に比し有意に大 ($p < 0.05$) であった. 三尖弁拡張期後退速度 (TDDR) は ASD 群で 90 ± 50 mm/sec, 対照群では 129 ± 46 mm/sec であり,

ASD 群では対照群に比し有意に小 ($p < 0.05$) であった. DF amp/DE amp は ASD 群で 0.45 ± 0.25 , 対照群では 0.12 ± 0.06 となり, ASD 群では対照群に比し有意に大 ($p < 0.01$) であった. さらに DF interval/DC interval は ASD 群で 0.49 ± 0.12 , 対照群では 0.46 ± 0.11 で, 両者間に差異を認めなかった.

以上を総括すると, ASD における三尖弁エコー波形の特徴として, TOV の増大, TDDR の

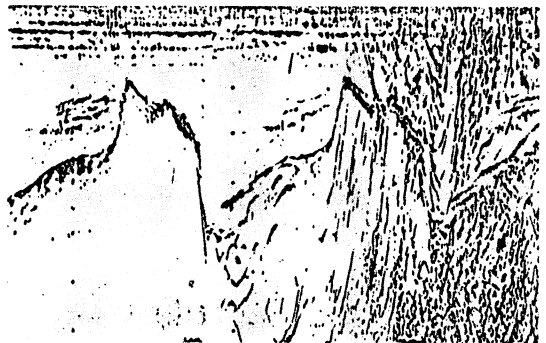


Fig. 8. M-mode contrast echocardiogram showing the characteristics of tricuspid valve flow in a case of ASD.

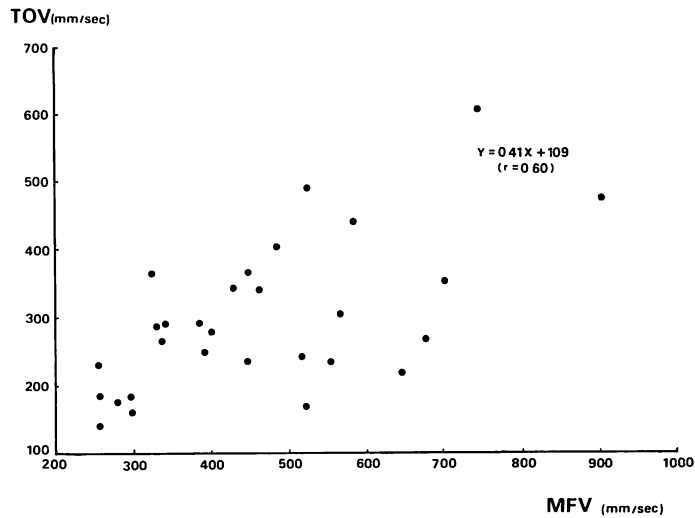


Fig. 9. Relationships between MFV and TOV.

Table 1. Hemodynamic data in cases of ASD

No.	Case	Age	Sex	Rhythm	Flow pattern	$\bar{P}\bar{A}$	RVEDP	QP/QS	MFV	AFV	RFT
1.	E.K.	49	M	NSR	I	16	7	2.6	523	437	183
2.	H.Y.	47	F	NSR	I	26	8	2.0	525	314	186
3.	S.M.	37	M	NSR	I				905	712	210
4.	H.Y.	48	M	NSR	II	16	6	1.9	555	191	344
5.	T.H.	72	F	NSR	II	20	8	—	679	391	312
6.	M.K.	46	F	NSR	II	22	9	2.9	648	581	155
7.	T.N.	48	M	NSR	II	23	7	2.2	343	279	251
8.	F.A.	69	F	Af	II	25	10	1.7	463	—	436
9.	M.I.	42	F	NSR	II	33	10	1.5	584	438	287
10.	N.O.	76	F	Af	II	35	12	—	449	—	178
11.	M.K.	32	M	NSR	II				702	362	268
12.	K.S.	73	M	Af	II				518	—	288
13.	H.K.	21	M	NSR	II				402	288	244
14.	E.M.	50	F	Af	II				744	—	271
15.	C.K.	46	F	NSR	III	70	12	0.7	—	228	—

$\bar{P}\bar{A}$ =mean pulmonary artery pressure; RVEDP=right ventricular end-diastolic pressure; QP/QS=pulmonary-to-systemic flow ratio; MFV=maximal flow velocity; AFV=atrial filling velocity; RFT=rapid filling time; NSR=normal sinus rhythm; Af=atrial fibrillation.

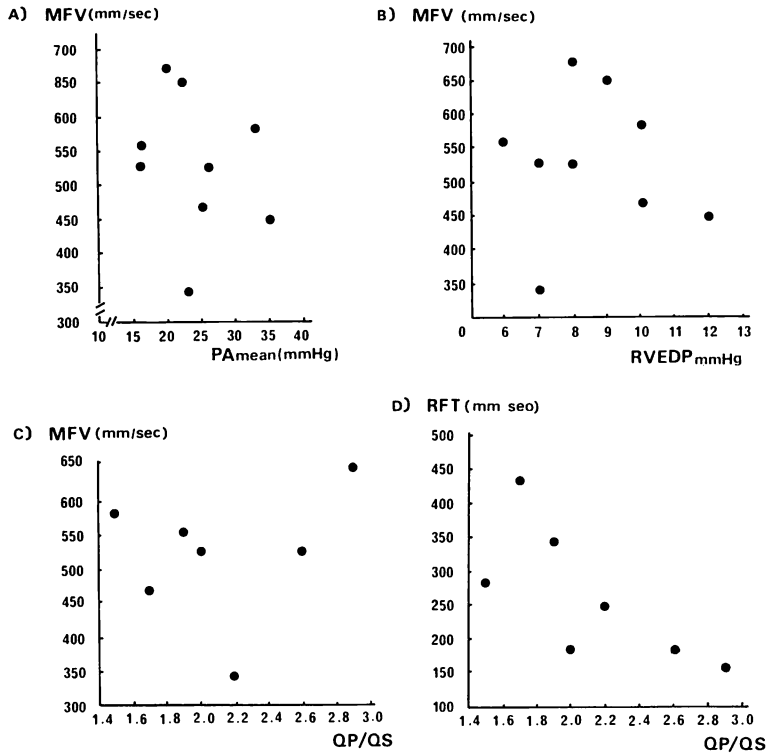


Fig. 10. Relationships between the measured indices of linear contrast echocardiography and the cardiac catheterization data.

Table 2. Hemodynamic data in cases of MS

No.	Case	Age	Sex	Rhythm	\overline{PA}	RVEDP	CO	MFV	AFV	RFT
1.	S.O.	48	M	Af	12	4	3.6	368	—	192
2.	S.I.	34	F	NSR	17	5	4.5	248	149	140
3.	S.T.	54	M	NSR	18	9	4.5	274	246	208
4.	K.H.	64	F	Af	19	4	2.8	303	—	144
5.	T.K.	49	F	NSR	22	7		242	187	273
6.	A.I.	36	F	Af	32	6	3.2	417	—	142
7.	Y.K.	36	F	Af	40	9	3.8	265	—	203
8.	Y.T.	45	F	NSR	41	6	2.2	388	196	143
9.	T.S.	52	F	Af				309	—	172
10.	S.S.	75	F	Af				317	—	193
11.	M.T.	55	F	Af				260	—	176
12.	A.S.	59	F	Af				266	—	186
13.	Y.M.	45	M	NSR				245	181	140

CO=cardiac output. Other abbreviations: See Table 1.

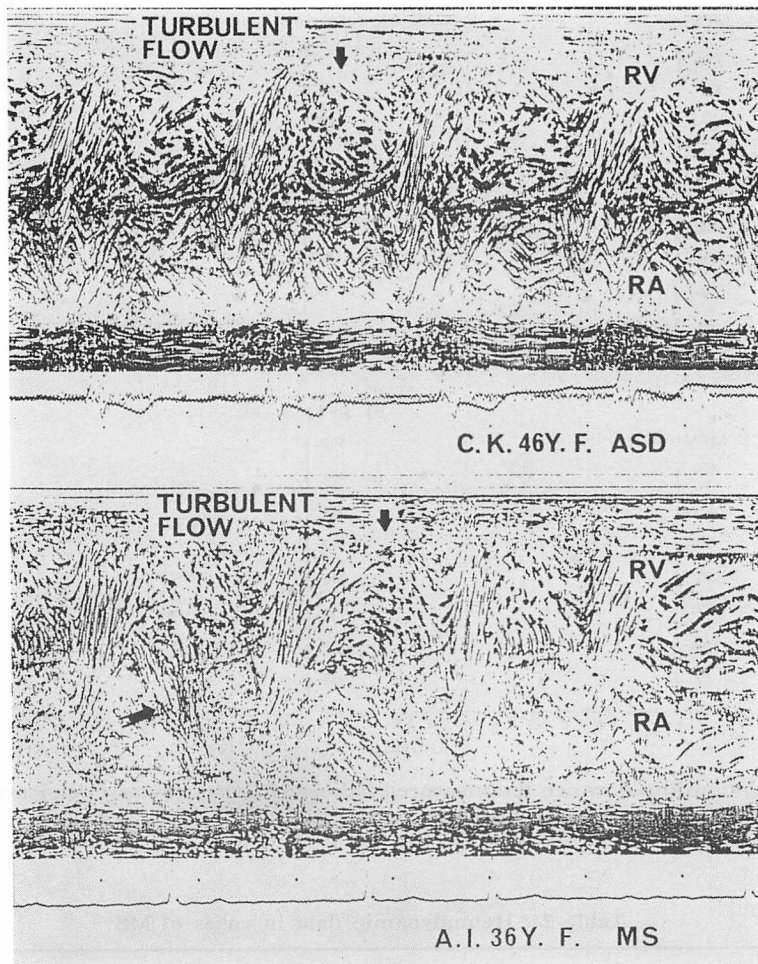


Fig. 11. Turbulent flow is observed in 10 cases with elevated pulmonary artery pressure.

減少, 高い F 点があげられた (Fig. 8).

4. 線状コントラストエコー像と三尖弁エコー波形との関連性について

コントラスト線束の MFV と心エコー図の TOV との関連性を検討したところ, 比較的良い相関 ($r=0.60$) を得た (Fig. 9).

5. 心機能および短絡評価について

ASD 例の心カテーテル成績 (Table 1) を検討すると, Type I の症例はすべて正常肺動脈平均圧を呈し, Type II には正常から中等度上昇例が含まれ, Type III は肺高血圧を合併した Eisen-

menger 症候群例であった. ついで, MFV と肺動脈平均圧 (Fig. 10A), MFV と右室拡張末期圧 (Fig. 10B), MFV と肺体血流比 (Fig. 10C), RFT と肺体血流比 (Fig. 10D) との関連性を検討したが, いずれにおいても一定の関係はみられなかった.

一方, MS 群の心カテーテル成績とコントラスト心エコー図法による計測値 (Table 2) の関連性を ASD 群と同一の項目について検討したが, 一定の傾向を認めなかった.

6. 乱流現象について

拡張中期から拡張末期にかけて、右室内に流れの遅い乱流や、三尖弁輪部で右室から右房へ向う逆方向の血流が、ASD 群で3例、MS 群で7例に観察された (Fig. 11)。これらの乱流現象はいずれも肺動脈平均圧が 25 mmHg 以上の症例であり、MS 群では心房細動例に高頻度に認められた。

考 察

線状コントラストエコー法により記録されたコントラスト流線の傾き、方向は、心腔内における血流の方向、流速を反映し¹⁾、さらに流れのプロファイル(層流・乱流)の観察も可能とする²⁾。このことから線状コントラスト心エコー図法は、従来の心内構造の決定³⁾や短絡心疾患の診断を目的としたコントラスト心エコー図法とは異なり、種々の流体力学的情報を可視的に把握できる新しい検査法といえる。

臨床例で、右室負荷疾患における三尖弁部位での血流変化を検討した報告としては、カテ先電磁流量計を用いた方法⁴⁾があるが、コントラスト心エコー図法を用いた報告は比較的少ない。三尖弁運動を障害することなくカテ先電磁流量計を弁口中央部に留置する技術的困難性を考慮すると、この方法は非侵襲的、可視的かつ簡便であり、臨床的に有用な方法といえる。今回の成績では、右室圧負荷と容量負荷疾患との間に、線状コントラスト心エコー図法により計測・観察された負荷様式に明確な差異が認められた。すなわち、心房中隔欠損症では、短絡により増大した右心血流量は三尖弁口を通過する血流速度の増大と急速充満時間の延長として観察された。この血流様式の変化は三尖弁運動にも反映され、心房中隔欠損症では弁開放速度の増大、弁後退速度の低下、高い F 点を特徴とした。しかし心エコー図法による記録上の問題点として、最も鋭い動きをする弁尖部位では弁運動が全心周期にわたって記録されないため、絶対値の計測には問題がある。また心室充満時の血流速度は、通常三尖弁最大開放直後にピー

クに達するため、三尖弁開放点 (D 点) より約 40~60 msec 遅れる。したがって、理論的には三尖弁開放速度は、MFV よりも、むしろ拡張初期流速や、D 点より MFV までの時間との関連性が高いと考えられる。これらの点を考慮すると、三尖弁エコー波形は、大まかなパターン判読にとどめるほうが無難であり、負荷様式の検討には線状コントラスト心エコー図法が精度上はるかに優れていると考えられる。

線状コントラスト心エコー図法の計測値と心カテテル法による血行動態諸指標との間には、今回の検討では関連性を認めていない⁵⁾が、今後症例を加え検討の必要があると思われた。

乱流現象は肺動脈圧上昇例で観察されたが、これらの症例では胸部 X 線上右心拡大も著明であった。乱流現象の成因および背景としては、肺高血圧に伴う相対的肺動脈弁逆流の存在、心室充満血の血流方向の不規則性、拡張早期の右室内残留血の増大などの関与が考えられる。

ま と め

線状コントラスト心エコー図法を臨床的に応用し、右室圧負荷と右室容量負荷疾患における三尖弁口部位での血流プロフィールの差異を検討し、次の結果を得た。

- 1) 圧負荷と容量負荷との間には房室間充満様式の明らかな差異を認めた。
- 2) 房室間急速充満時間を計測することにより、容量負荷疾患の大まかな重症度評価が可能であった。
- 3) 心腔内乱流現象は肺動脈圧上昇例で観察されることが多かった。

以上のことより、線状コントラスト心エコー図法は、右心負荷疾患における血行動態の観察、重症度評価に役立つ検査法と考えられた。

文 献

- 1) 田中元直, 渡辺 恵: コントラスト心エコー図. 医学のあゆみ 107: 832, 1978

高元, 新田, 宮原, ほか

- 2) 高元俊彦, 新田政男, 宮原康弘, 丹羽明博, 谷口興一: 二次口心房中隔欠損症における右室充満様式-末梢コントラストエコー法による検討. 日超医講演論文集 **37**: 11, 1980
- 3) Gramiak R, Shah PM, Kramer DH: Ultrasound cardiography: Contrast studies in anatomy and function. *Radiology* **92**: 939, 1969
- 4) 中野博行, 齊藤彰博, 上田 憲: カテーテル先端電磁流速プローブによる小児期心疾患の血行動態的検討. 呼吸と循環 **26**: 1211, 1978
- 5) 椎名 明, 柳沼淑夫: 線状コントラストエコーによる非観血的右心機能評価. *J Cardiography* **10**: 649, 1980