

心エコー法による肺性心の研究 ——心室中隔変形と左室機能について——

山 田 博 美

信州大学医学部第1内科学教室
(主任: 草間 昌三教授)

Echocardiographic Assessment of Cor Pulmonale

Hiroyoshi YAMADA

*Department of Internal Medicine, Shinshu University School of Medicine
(Director: Prof. Shozo KUSAMA)*

To evaluate the usefulness of echocardiography for the assessment of cor pulmonale (CP), 34 patients with chronic pulmonary disease and 8 normal controls (NC) were studied.

Cardiac catheterization was performed in 30 of 34 patients. Three echocardiographic indicators [right ventricular wall thickness (RVWT), right ventricular dimension (RVD), and interventricular septal deformity (IVS def)] were compared with cardiac catheterization data [mean pulmonary arterial pressure (mPAP), right ventricular systolic pressure (RVSP), RVSP/LVSP, where LVSP = left ventricular systolic pressure or systemic blood pressure, right ventricular end-diastolic pressure (RVEDP), total pulmonary resistance (TPR), and cardiac index (CI)]. RVWT was correlated with mPAP ($r=0.66$), RVSP ($r=0.57$), RVSP/LVSP ($r=0.57$), RVEDP ($r=0.49$), TPR ($r=0.64$), and CI ($r=-0.49$). RVD was correlated only with RVSP ($r=0.52$), RVSP/LVSP ($r=0.57$), TPR ($r=0.56$). The cardiac catheterization data were significantly different between types that were classified by end-systolic configuration of the IVS in the papillary muscle level short-axis two dimensional echocardiography. Using these indicators (RVWT ≥ 3.5 mm and/or IVS deformity at end-systole) for the diagnosis of pulmonary hypertension, the sensitivity was 0.87, the specificity 0.88, and the diagnostic accuracy 0.87.

In 7 patients with CP and 8 NC, two-dimensional echocardiographic studies were performed. Left ventricular (LV) area ejection fraction (AEF) and LV regional wall motion were analyzed. Making a comparison of AEF between the NC and CP group at the mitral valve and papillary muscle levels, that of the CP group at the PM level was significantly higher. Increment in IVS regional area change was suspected as the mechanism. It thus seemed that left ventricular ejection function in CP was not disturbed.

Thus, the combined evaluation of RVWT and IVS, and LV wall motion analysis by echocardiography are useful for assessing CP. *Shinshu Med. J.*, 36: 155—169, 1988

(Received for publication October 9, 1987)

Key words: echocardiography, cor pulmonale, interventricular septal deformity, left ventricular regional wall motion, pulmonary hypertension

心エコー法, 肺性心, 心室中隔変形, 左室局所壁運動, 肺高血圧

I 緒 言

肺性心は、慢性肺疾患の予後を左右する重大な合併症である。一度肺性心が完成すると、治療法に限られて来るため、慢性肺疾患の診療にあたっては常にその発生を念頭におく必要がある。肺性心の診断基準は1961年 WHO¹⁾により、「肺の機能および／または肺の構造に障害を与える疾患によって惹起される右室肥大で、肺の変化が左心障害または先天性心疾患の結果生じたものである場合を除く」と定義され、以後その基準を満たす症例を臨床的に診断すべく研究が進められてきた。しかしそのような厳密な定義により診断された症例はすでに完成された肺性心が多いため、最近では肺高血圧存在下での右室拡大やさらには右室の機能もしくは構造の障害を肺性心の定義に用いる世界的傾向にある²⁾⁻⁴⁾。しかしこれらは概念的でありまだ前記の WHO の基準に代わるべきものは示されていない。

以上の経緯をふまえて、胸部X線⁵⁾、心電図¹⁾⁶⁾⁷⁾、心筋シンチグラム⁸⁾⁹⁾、心エコー法¹⁰⁾¹¹⁾などの各種非侵襲的検査法による肺性心診断に関する報告が多数見られるがまだ十分な結論は得られていない。これらの検査法のなかで、繰り返して容易に行えかつ右室の形態的变化を直接的にとらえられるものとして心エコー法が有望であり、これまで右室に関しては多くの報告があるもののまだ肺性心に関しては十分検討されていない。また肺性心における左室機能障害の有無について以前より論争があるが¹²⁾¹³⁾、まだ決着がついていない。著者は心室中隔変形に注目し、心エコー法を用いて肺性心の診断と左心室駆出機能における心室中隔動態の意義を検討した。

II 対象と方法

A 対 象

対象1：心エコー法で右室計測の行えた各種慢性肺疾患患者30例、(男18例、女12例、)平均年齢54.3±12.4歳(25-73歳)を対象とした。疾患名は肺結核11例、慢性閉塞性肺疾患10例、原発性肺高血圧症2例、慢性肺動脈血栓塞栓症2例、その他5例である。このうち平均肺動脈圧20mmHg以上を示す例を、早期例も含めた肺性心として扱った。(Table 1)

対象2：対象1のうちビデオテープ記録を行った3例(Pt 11, 12, 18)と経過中に右心不全を示し明らかな肺性心と診断された肺疾患4例(慢性閉塞性肺疾患

2例、肺結核1例、慢性肺動脈血栓塞栓症1例 年齢53.3±19.2歳)の計7例を肺性心群とし、健常男性8例(32.3±9.4歳)を対照として左室局所壁運動を検討した。

B 方 法

1 心エコー検査

a 心エコー検査は、心カテーテル検査の前後1週間以内に行った。装置はアロカ SSD110 S2.25MHz メカニカルセクタースキャナーと東芝 SSH40A2.4MHz 電子セクタースキャナーを用い、患者は仰臥位もしくは左側臥位で胸骨左縁第3—4肋間よりビームを投入し最も明瞭に心エコー像が描出できるように努力した。記録はすべて安静呼吸位でポラロイド写真とストリップチャートに行い、乳頭筋レベル左室短軸断層収縮末期像と左室Mモード記録を研究に使用した。左室短軸断層像は心室中隔の形態で分類し、ほぼ正常の形態を示すものを(-)、明らかに直線的に変形しているものを(+), 正常とは逆に左室側へ凸の変形を示すものを(+++)とした。左室Mモード記録より拡張末期(心電図R波頂点)右室壁厚(右室前壁心外膜面エコーの立ち上がりより心内膜面エコーの立ち上がりまでの距離)と右室径(右室前壁心内膜面エコーから心室中隔右室側心内膜面エコーまでの距離)を計測した。(Fig. 1) なおこれまで当科で心カテーテル検査を行った患者の心エコー所見より、右室肥大の基準を右室壁厚3.5mm とした。

b 対象2に対し、東芝 SSH40A2.4MHz 電子セクタースキャナーを用い、僧帽弁尖レベルと乳頭筋レベル左室短軸断層像をビデオテープに記録し、コントロール製画像解析装置 Cardio 80 で左室局所壁運動を解析した。すなわち拡張末期像(心電図R波頂点)と収縮末期像(心電図T波終末)について、右室自由壁と心室中隔の後方接合部より反時計方向に左室内膜面をトレースし次式のように面積駆出率を算出した。

$$\text{面積駆出率} = \frac{(\text{拡張末期面積} - \text{収縮末期面積})}{\text{拡張末期面積} \times 100(\%)}$$

次に面積重心とトレース開始点を基準に、fixed reference system と floating reference system にて左室断面を等角度に8分割、名称をトレース開始点よりNo. 1-8 とし、各分画の拡張末期より収縮末期にかけての変化率を上記面積駆出率と同様に局所面積変化率として算出した。なお fixed reference system は拡張末期像の重心とトレース開始点を基準とし、floating reference system は拡張末期と収縮末期像の前記

Table 1 Clinical and physiologic data

Pt	Sex, Age, and Diagnosis	RVWT	RVD	IVS def	PaO ₂	PaCO ₂	%VC	FEV ₁ %	RHF	mPAP	RVSP	RVSP/ LVSP	RV EDP	TPR	CI
1	F 52 Pulm tbc	4.2	24	+	44.2	60.2	19.0	93.0	+	32	65	0.50	7	681	3.3
2	F 73 COPD	5.0	14	+	40.4	28.5	94.6	53.7	+	37	46	0.38	8	—	—
3	M 66 COPD	4.0	12	+	56.6	34.2	48.5	42.9	—	27	50	0.39	3	540	3.0
4	M 40 Pickwick	5.6	20	+	55.5	52.5	61.6	73.9	+	37	53	0.34	10	447	3.7
5	F 49 PPH	6.0	40	++	68.9	32.9	89.3	77.1	+	50	100	0.97	13	1361	2.1
6	M 68 COPD	5.7	26	+	51.3	43.8	89.5	35.5	—	29	33	0.27	0	435	3.4
7	M 71 Pulm tbc	4.6	19	+	55.7	—	45.4	70.6	—	26	44	0.28	6	390	3.8
8	M 41 Pulm tbc	5.0	15	+	52.8	43.8	38.0	48.0	+	34	39	0.30	6	545	3.1
9	F 62 Pulm TE	5.2	17	++	46.9	53.6	57.2	34.1	+	40	63	0.44	17	589	3.7
10	M 40 COPD	3.4	15	+	43.2	44.5	45.7	35.8	+	38	29	0.25	0	507	4.2
11	M 54 Pulm tbc	4.3	35	++	63.3	32.7	76.1	64.5	+	45	100	0.65	22	1184	1.9
12	M 49 Pulm tbc	5.4	27	++	47.7	47.7	22.0	64.0	+	65	97	0.88	5	925	3.6
13	M 54 COPD	4.0	4	—	51.5	42.6	65.4	35.6	—	27	33	0.24	9	384	3.7
14	F 37 Pulm fib	5.0	20	—	37.0	55.6	37.0	46.4	—	26	31	0.30	0	598	2.9
15	M 63 COPD	3.8	25	+	60.5	38.7	67.7	27.3	+	25	28	0.22	7	351	4.6
16	F 71 Pickwick	6.0	21	+	54.7	40.2	41.9	64.3	+	40	53	0.37	13	619	2.9
17	F 68 Pulm tbc	4.0	15	+	62.1	48.1	63.9	43.8	—	35	45	0.31	9	570	3.5
18	F 53 PPH	3.0	14	+	61.6	31.5	87.8	81.0	—	45	60	0.41	3	698	3.9
19	F 50 Sarcoid	3.2	19	—	69.4	44.6	76.3	74.2	—	25	34	0.29	3	567	2.5
20	M 62 COPD	3.0	32	—	73.2	48.7	65.7	54.6	—	13	17	0.12	1	177	3.9
21	F 52 COPD	2.3	20	—	58.1	37.4	73.3	53.5	—	19	36	0.33	5	239	4.9
22	F 48 Pulm TE	3.0	15	—	79.9	37.3	113.7	80.4	—	9	20	0.18	0	120	4.5
23	M 51 Pulm tbc	4.2	22	—	55.8	50.1	—	—	+	21	32	0.26	1	254	4.0
24	M 70 Pulm tbc	2.2	13	—	75.4	42.0	—	—	—	22	26	0.22	0	272	4.3
25	M 51 Pulm tbc	2.0	14	—	75.5	36.7	72.2	58.3	—	11	25	0.18	3	158	4.0
26	M 67 Pulm tbc	3.3	10	—	67.0	54.3	49.5	85.3	—	20	29	0.18	4	309	3.4
27	M 61 Pulm tbc	3.8	6	—	79.6	37.4	76.8	71.1	—	21	37	0.22	8	321	3.1
28	M 52 COPD	4.1	14	—	64.5	39.7	61.0	52.3	—	16	29	0.24	4	200	4.3
29	F 25 COPD	2.9	18	—	72.5	36.0	67.5	63.9	—	10	22	0.16	2	163	3.3
30	M 29 Sarcoid	2.6	20	—	78.1	44.2	104.6	69.6	—	10	17	0.14	0	117	3.8

Pulm tbc=pulmonary tuberculosis; COPD=chronic obstructive pulmonary disease; Pickwick=Pickwickian syndrome; PPH=primary pulmonary hypertension; Pulm TE=pulmonary thromboembolism; Pulm fib=pulmonary fibrosis; Sarcoid=sarcoidosis; RVWT=right ventricular wall thickness (mm); RVD=right ventricular dimension (mm); IVS def=interventricular septal deformity; PaO₂=arterial oxygen tension (mmHg); PaCO₂=arterial carbon dioxide tension (mmHg); %VC=percent vital capacity (%); FEV₁%=forced expiratory volume one second percent (%); RHF=right heart failure; mPAP=mean pulmonary arterial pressure (mmHg); RVSP=right ventricular systolic pressure (mmHg); LVSP=left ventricular or systemic blood pressure (mmHg); RVEDP=right ventricular end-diastolic pressure (mmHg); TPR=total pulmonary resistance (dynes·sec·cm⁻⁵); CI=cardiac index (l/min/m²)

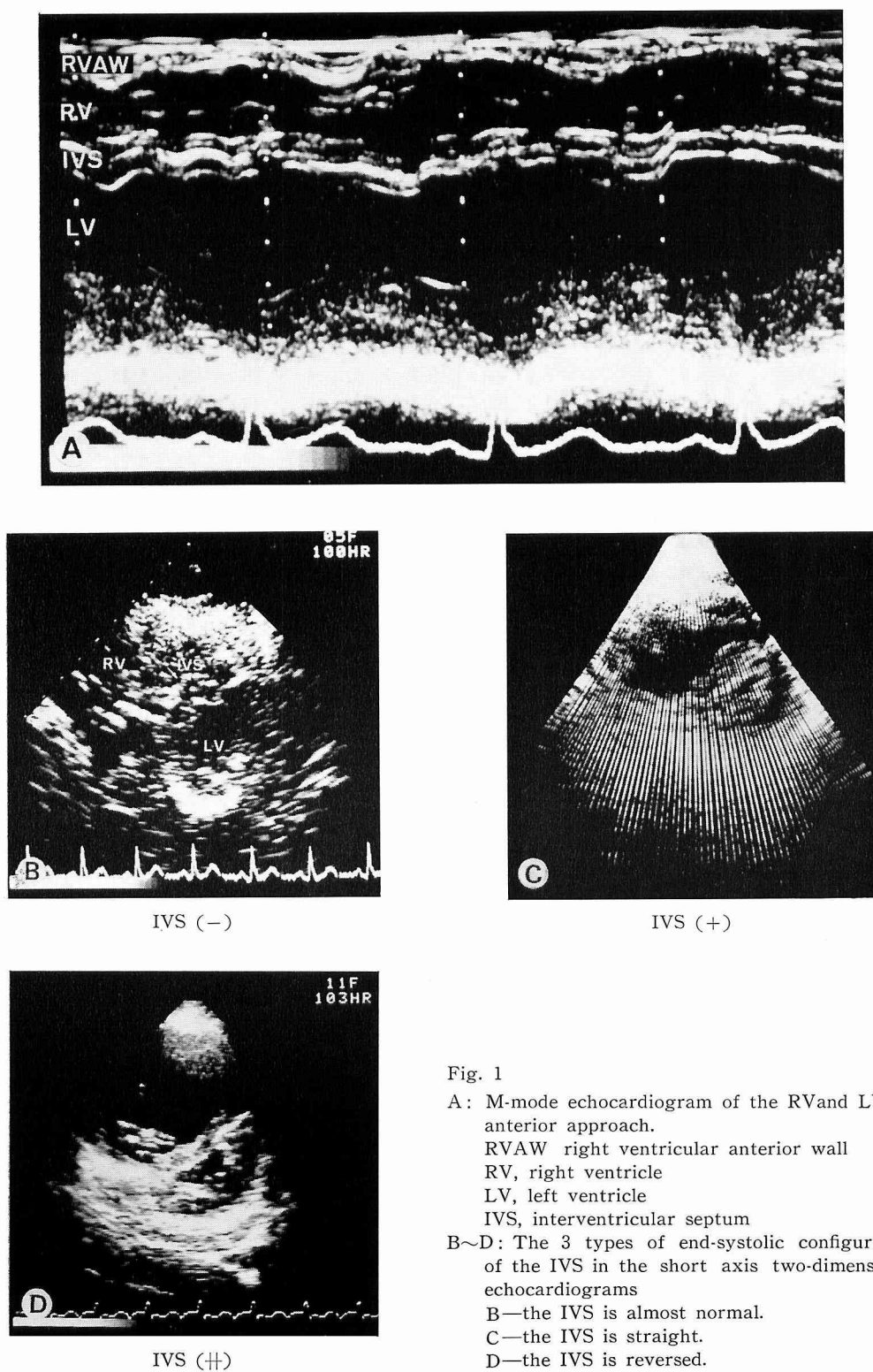


Fig. 1

A: M-mode echocardiogram of the RV and LV by anterior approach.

RVAW right ventricular anterior wall

RV, right ventricle

LV, left ventricle

IVS, interventricular septum

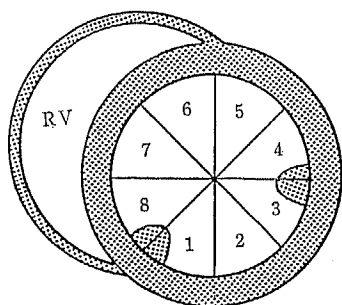
B~D: The 3 types of end-systolic configuration of the IVS in the short axis two-dimensional echocardiograms

B—the IVS is almost normal.

C—the IVS is straight.

D—the IVS is reversed.

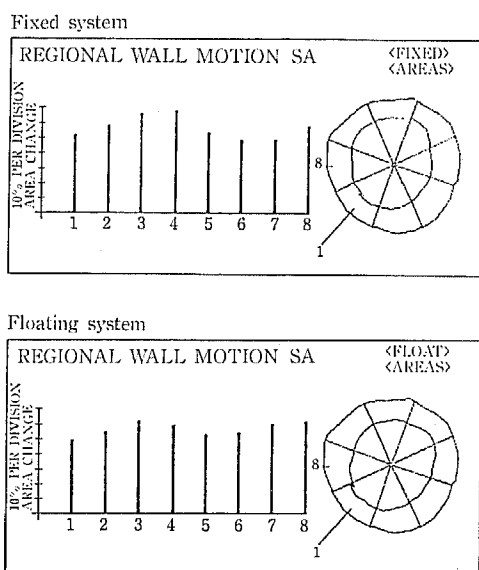
A



A: Schematic representation of two-dimensional echocardiogram in short-axis

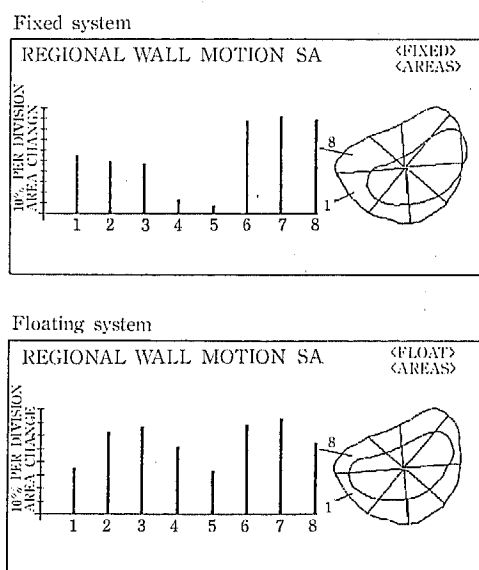
B, C: Examples of regional wall motion analysis by two reference systems from a normal subject (B) and cor pulmonale (C).

B



(Normal control)

C



(Cor pulmonale)

Fig. 2 Regional area change

基準点を重ね合わせて解析するものである。(Fig. 2)

2 心カテーテル検査

対象1において症状の安定した時期に右心カテーテル検査を、また一部の症例では同時に左室圧記録も行った。右心カテーテル検査は 7F スワンガンツカテーテルを使用し、各部位の圧と熱希釈法による心拍出量を計測、平均肺動脈圧 (mPAP) 20mmHg 以上を肺高血圧とした。左心カテーテル検査には 8F ピッグテールカテーテルを使用した。なお両室収縮期圧比の算出で左心カテーテルを行っていないものでは上腕動脈圧 (マンシエット測定) で左室収縮期圧を代用した。また全肺血管抵抗は次式で算出した。

$$\text{全肺血管抵抗} = \text{平均肺動脈圧} \div \text{心拍出量} \times 80 \text{ (dyne} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-5}\text{)}$$

3 呼吸機能検査

換気機能は GODART 社製 Expirograph または Chest 社製 HI-498 を、動脈血液ガス分析は Radiometer 社製 ABL2 を用いた。

4 統計学的検討

Student のアンペアード t-テスト と一元配置分散分析法を用いて検定し、 $p < 0.05$ を有意とし、値は $\text{mean} \pm \text{SD}$ で示した。直線回帰分析は最小二乗法で行った。Sensitivity, Specificity, Diagnostic accuracy は次式で計算した。

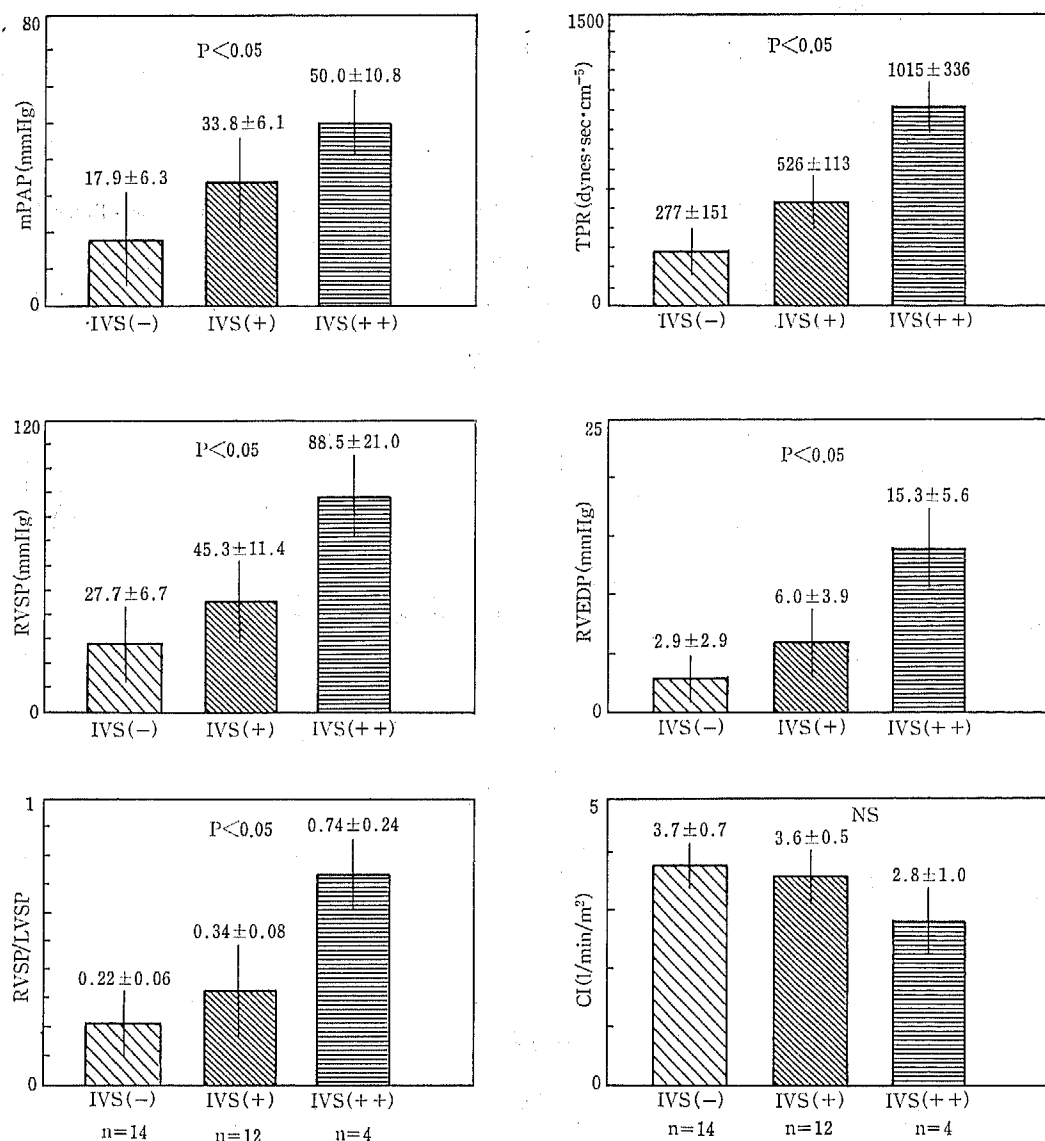


Fig. 3 Relationship between IVS deformity and hemodynamic data

IVS (-)=the interventricular septal curvature is almost normal at end-systole.

IVS (+)=the interventricular septal curvature is straight at end-systole.

IVS (++)=the interventricular septal curvature is reversed at end-systole.

Vertical bars indicate mean ± SD.

There are significant differences between the three IVS types except in CI by one-way layout analysis of variance.

For abbreviations refer to Table 1.

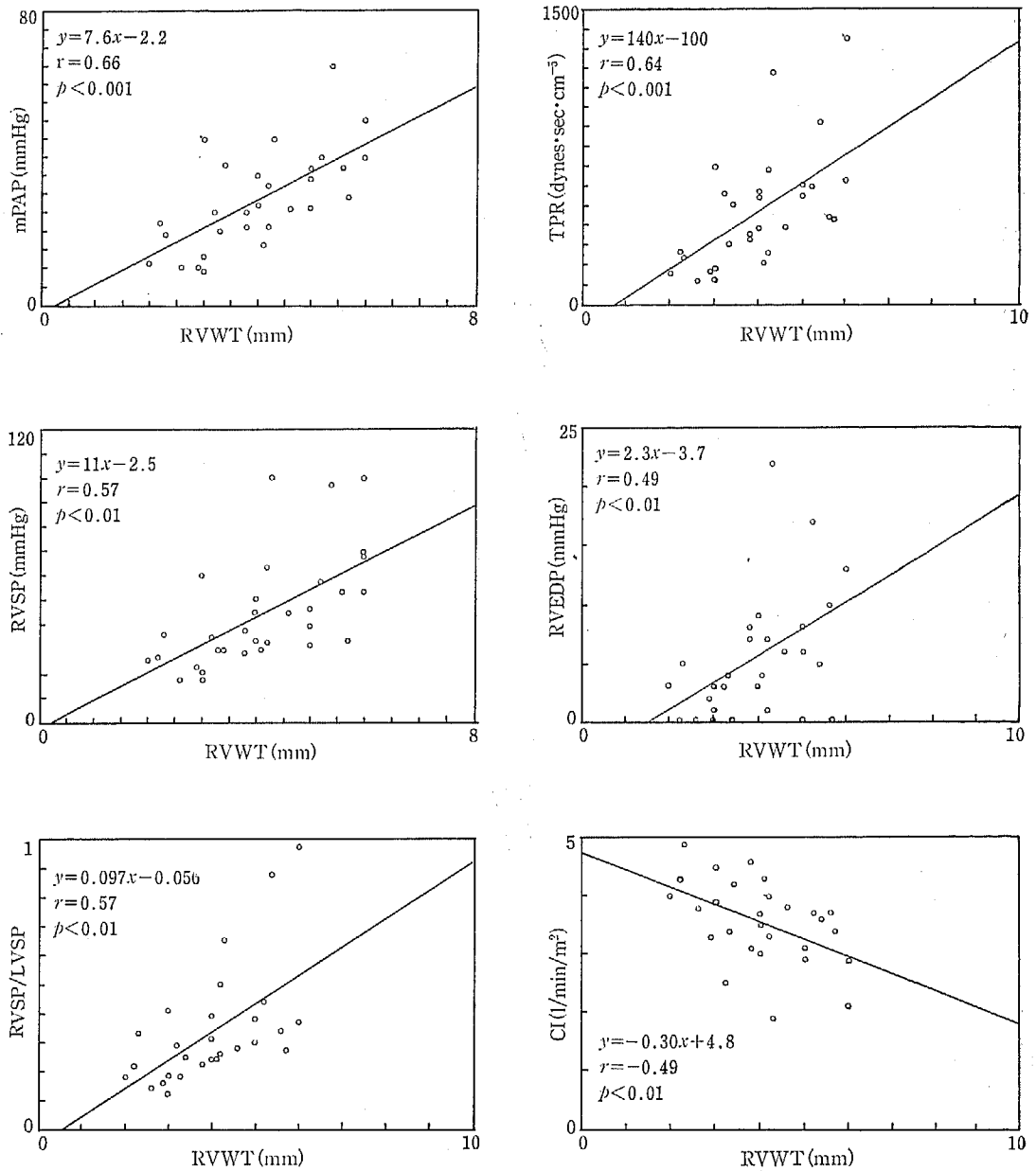


Fig. 4 Relationship between RVWT and hemodynamic data
For abbreviations refer to Table 1.

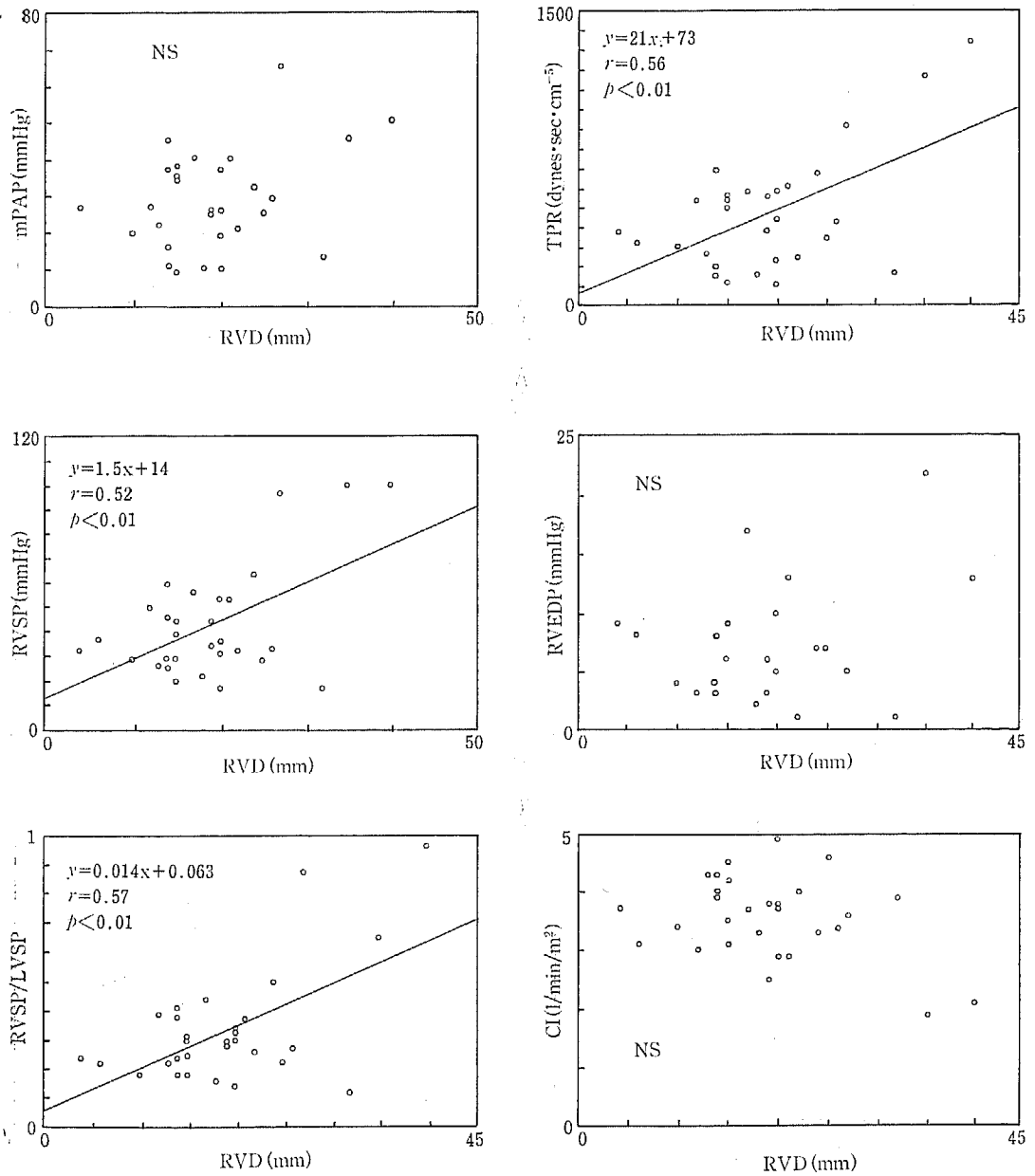


Fig. 5 Relationship between RVD and hemodynamic data
For abbreviations refer to Table 1.

Sensitivity = true positives ÷ (true positives + false negatives) × 100(%)
 Specificity = true negatives ÷ (true negatives + false positives) × 100(%)
 Diagnostic accuracy = (true positives + true negatives) ÷ (true positives + false negatives + false positives + true negatives) × 100(%)

III 結 果

A 心エコー所見と血行動態指標

1 心室中隔変形度

心室中隔変形度で分けると、(−)群14例、(+)群12例、(++)群4例であった。それぞれの mPAP は (−)群17.9±6.3, (+)群33.8±6.1, (++)群50.0±10.8 mmHg で、各群間に $p<0.05$ の有意差が認められた。また変形の認められた例はすべて mPAP 25 mmHg 以上を示した。右室収縮期圧 (RVSP) は (−)群27.7±6.7, (+)群45.3±11.4, (++)群88.5±21.0 mmHg で、各群間に $p<0.05$ の有意差が認められた。両心室収縮期圧比 (RVSP/LVSP) との関係では (−)群0.22±0.06, (+)群0.34±0.08, (++)群0.74±0.24で各群間に $p<0.05$ の有意差が認められた。総肺動脈血管抵抗 (TPR) は (−)群277±151, (+)群526±113, (++)群1015±336 dynes · sec · cm⁻⁵ で $p<0.05$ の有意差が認められた。右室拡張末期圧 (RVEDP) は (−)群2.9±2.9, (+)群6.0±3.9, (++)群15.3±5.6 mmHg で、 $p<0.05$ の有意差が認められた。心係数 (CI) は、(−)群3.7±0.7, (+)群3.6±0.5, (++)群2.8±1.0 l/min/m² で、有意差は認められなかった。(Fig. 3)

2 右室壁厚

右室壁厚 (RVWT) と mPAP の関係を見ると、 $Y = 7.6X - 2.2$, $r = 0.66$ ($p<0.001$) と良好な相関が見られ、mPAP を 20 mmHg で分けると肺高血圧群 4.4±1.0 mm, 正常肺動脈圧群 2.8±0.6 mm であった。また TPR と $r = 0.64$ ($p<0.001$) と有意の相関が認められた。その他の指標とも全て有意な相関が認められ、RVSP: $r = 0.57$, $p<0.01$; RVSP/LVSP: $r = 0.57$, $p<0.01$; RVEDP: $r = 0.50$ ($p<0.01$); CI: $r = -0.49$, $p<0.01$ であった。(Fig. 4)

3 右室径

右室径 (RVD) と RVSP/LVSP, TPR, RVSP とはそれぞれ $r = 0.57$ $p<0.01$, $r = 0.56$ $p<0.01$, $r = 0.52$ $p<0.01$ と相関が認められたが、mPAP, RVE

Table 2 Area ejection fraction

	N	age (yr)	MV level (%)	PM level (%)
NC	8	32±9	46.2±10.3	50.4±6.2
CP	7	51±13	52.4±11.4	62.1±8.0
			NS	$p<0.01$

NC: normal control, CP: cor pulmonale
 MV: mitral valve, PM: papillary muscle
 NS: not significant

DP との間には有意の相関は認められなかった。(Fig. 5)

4 心室中隔変形と右室壁厚による肺高血圧の診断率

前述のように右室壁厚 3.5 mm 以上を肥大の基準とし、心室中隔変形の有無と合わせて肺高血圧の診断率を算出したところ sensitivity 87%, specificity 86%, diagnostic accuracy 87% であった。

B 左室面積駆出率と局所壁運動

1 面積駆出率は、健常群の僧帽弁尖レベルと乳頭筋レベルでそれぞれ46.2±10.3, 50.4±6.2 (%), 肺性心群の僧帽弁尖レベルと乳頭筋レベルで52.4±11.4, 62.1±8.0 (%) であり、肺性心群の乳頭筋レベルで有意に増大していた ($p<0.01$)。(Table 2)

2 Fixed reference system における局所壁運動
 乳頭筋レベル局所面積変化率は両群とも部位による差が認められ、健常群を基準とすると肺性心群では心室中隔に相当する分画7, 8で有意な増大が認められた。この際重心の移動を検討すると、健常群では8例中7例が前方に向かうのに対し肺性心群では7例中3例が後方に向かった。僧帽弁尖レベルでは両群間に有意差は認められなかった。(Table 3A)

3 Floating reference system における局所壁運動

乳頭筋レベル局所面積変化率は各部位間の変動は少なくなった。肺性心群では分画2, 3, 4, 6, 7, 8, すなわち心室中隔部に加えて後側壁部の局所面積変化率増大が認められた。また僧帽弁尖レベルでは両群間に有意差は認められなかった。(Table 3B)

IV 考 按

肺性心の概念には1961年のWHOの定義¹⁾以来大きな変遷が見られたが、臨床的に肺性心の診断基準をどこに置くかは現在でも難しい。少なくとも肺高血圧が

Table 3 Regional wall motion

(A) Fixed reference system

1) Papillary muscle level

	Regional area change (%)								M. of CG (mm)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	X	Y
NC n=8	55.7 ±19.7	61.3 ±20.6	63.4 ±21.1	63.8 ±15.3	57.4 ±13.3	44.6 ±12.7	36.0 ±23.4	40.8 ±27.5	-1.9±2.9	1.7±2.1
CP n=7	69.8 ±14.7	67.5 ±21.0	69.3 ±18.9	65.3 ±21.2	58.3 ±34.8	62.3 ±24.1	67.1 ±24.8	72.5 ±16.4	1.0±4.2	0.3±2.8
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	P<0.05	P<0.05		

M. of CG=Movement of center of gravity

X=right to left axis, Y=posterior to anterior axis

2) Mitral valve level

	Regional area change (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NC n=8	43.7±22.8	39.3±52.0	53.3±29.5	64.9±26.5	64.0±18.8	46.3±22.6	32.7±26.8	34.1±21.6
CP n=7	45.5±21.4	48.8±38.5	54.3±34.1	50.0±28.3	43.9±18.9	39.6±28.3	36.6±26.5	37.4±24.6
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NC: normal control, CP: cor pulmonale, NS: not significant

(B) Floating reference system

1) Papillary muscle level

	Regional area change (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NC n=8	56.2±8.4	52.6±11.9	48.7±12.7	54.1±10.1	57.0±9.4	51.0±12.2	50.1±12.7	53.2±10.4
CP n=7	63.6±13.5	67.4±13.7	68.5±13.9	65.5±11.4	65.0±13.4	67.1±13.5	67.4±17.3	67.4±10.9
	NS	p<0.05	p<0.01	p<0.05	NS	p<0.05	p<0.05	p<0.05

2) Mitral valve level

	Regional area change (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NC n=8	51.0±14.0	44.2±12.6	45.6±13.6	47.9±17.5	51.2±13.2	44.8±14.0	44.3±11.5	49.3±16.8
CP n=7	44.3±17.0	42.5±31.4	45.3±26.3	44.6±20.2	43.0±16.1	46.5±29.3	42.6±31.8	43.0±18.6
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NC: normal control, CP: cor pulmonale, NS: not significant

存在するのが原則であり、これに右室肥大、拡大もしくは機能低下が伴えば、肺性心と診断できる²⁾⁻⁴⁾わけであるが、前2者については幾つかの数値が上げられているものの後2者については明確な定義が示されていない。1つの標準的検査法である心カテテル法による基準としては、古くは、mPAP 30mmHg, TPR 750dyne・sec・cm⁻⁵ が提唱され、WHO の定義¹⁾では mPAP 25mmHg が肺高血圧の基準とされ、その後基準は mPAP 20mmHg⁵⁾¹⁴⁾ まで下げられている。右室壁厚については WHO の基準 5mm が長い間重視されてきた。

以上の経緯より、肺高血圧の診断と右室形態の非侵襲的検査法による評価法が臨床的に研究されてきた。

心エコー法による肺性心の診断

心エコー法による研究は、当初肺動脈弁エコーについて Mモード法により行われたが¹⁵⁾¹⁶⁾、肺動脈の胸壁に対する傾きが一定しないため信頼性に乏しいことが明らかになっている¹⁷⁾。したがって今回の検討には右室壁厚と右室径に加えて、最近注目されている心室中隔形態を用いた。

右室壁厚の直接計測は心エコー法の登場により可能となった。アプローチの方法としては、胸骨左縁から¹⁸⁾と心窩部から¹⁹⁾のものがあり、両者それぞれ計測部位が異なるため計測値も心窩部からの方が厚めに出るとされている。Tsuda ら¹⁸⁾によると、前胸部よりのアプローチが優れ、正常値は 2.4 ± 0.5 mm としている。また森により²⁰⁾日本人の右室壁厚の病理学的基準は 2-3mm と報告されており、津田らの報告と近似している。著者の検討では、単純に肺高血圧 (mPAP ≥ 20 mmHg) の有無で分けると、正常肺動脈圧群 RVWT は 2.8 ± 0.6 mm、肺高血圧群 RVWT 4.4 ± 1.0 mm と津田らの報告と類似した結果が示された。肺性心に関する報告が少なく、RVWT と RVSP や mPAP との相関もあるとするもの²¹⁾とないとするもの²²⁾があり一定していないが、著者の検討では mPAP と RVWT の相関は比較的良好で、右室負荷の程度と期間により規定されると考えられる右室壁厚としては、妥当な結果と思われる。さて、これまで心エコー法による右室壁厚に確定した基準はない。WHO による¹⁾5mm 以上を肺性心として診断するのは問題がないとしても、それ以下でも右心不全を呈する例があり、森の報告²⁰⁾と今回の検討より 3.5mm を右室肥大の基準とするのが臨床的に有意義と考えられた。

右室径は右室拡大の指標として重要であり、肺動脈

圧と良い相関を示したとの報告²²⁾²³⁾もあるが、今回の検討では mPAP とは有意な相関を示さず他の心カテテルデータの一部と相関を示すのみであった。その理由としては、胸骨左縁よりのアプローチでは心臓の回転等のため超音波ビームが必ずしも右室最大径を通らなかったためと推定され、このアプローチによる右室径は右室負荷の指標としては不十分と思われる。Zenker ら²²⁾の心窩部アプローチのように、4 chamber view で右室最大径を計測するのが望ましいと考えられる。

右室負荷疾患における心室中隔の変形については、以前より気付かれてはいたが⁸⁾²⁴⁾⁻²⁶⁾、肺性心についてはほとんど検討されていない。これまでの報告では、心室中隔は本来右室側に凸であるが、右室圧負荷が増強すると直線化し、遂には左室側へ凸形を呈してくるとされている。この中隔変形の評価法は半定量的形態分類²⁷⁾、曲率半径²⁸⁾や長短径比²⁹⁾を用いたものが報告されているが、後2者では計算が面倒で実用的ではないため著者は Shimada ら²⁷⁾に準じて 1) ほぼ正常、2) 直線的、3) 左室へ凸の3群に分けて検討した。mPAP, RVSP, RVSP/LVSP において中隔変形は3群間に明らかな有意差が認められ、負荷が増強すると中隔変形の程度も強くなることが判明した。また少なくとも心室中隔変形が認められれば mPAP は 25mmHg 以上であった。この変形の機序であるが、Lima ら³⁰⁾により負荷の無い場合心室中隔は平坦であるとされており、また Tanaka ら³¹⁾中尾ら³²⁾により両室間圧較差が心室中隔形態を規定していると推定され、実験的にも証明されている。著者も一部の症例で両室同時圧記録を行い、時間経過とともに圧較差に応じて心室中隔変形の程度も変化するのを観察しており、この説を支持する。この心室中隔変形は明らかに両心室の構造変化を表しており、したがって Ferrer らの定義²⁾⁻⁴⁾に基づく肺性心の診断基準として有用な指標と考えられる。本指標は RVWT と異なり、短期間の右室負荷変動を反映しやすく、両指標を組み合わせることで、肺性心の診断精度はさらに上がるものと考えられる。そこで肺高血圧の診断精度を、中隔変形を示すか RVWT ≥ 3.5 mm を有するものという条件で検討すると sensitivity, specificity, diagnostic accuracy とも優れた値を示し、肺性心の診断上有用と思われた。なお Brinker ら³³⁾により Muller 法により正常人においても心室中隔変形が出現するとされているため、記録にあたっては安静呼気位とすることに

留意する必要がある。

肺性心における左室面積駆出率

Mモード心エコー法による左室容積の算出は臨床的に十分用いられるとされているが³⁴⁾左室変形をきたした場合は、左室を回転楕円体と仮定した大前提が崩れるため誤差が大きくなると考えられる。このような場合は Simpson 法³⁵⁾が有用であるが、細かく短軸断面を描出することは臨床上不可能である。簡便法として Wyattら³⁶⁾は4断面、Schillerら³⁷⁾は直交2断面を使用しているが、本研究では左室駆出能を見るのに僧帽弁尖レベルと乳頭筋レベルの2断面の面積変化で代用した。この面積駆出率を健常群と肺性心群の計4断面で比較すると、肺性心の乳頭筋レベル面積駆出率が有意に増大していた。これまで肺性心における左室機能障害の有無が論争されてきており、幾つかの報告¹²⁾¹³⁾も見られるが、今回の結果より少なくとも左室駆出能は障害されていないと推定される。

肺性心の左室局所壁運動

右室圧負荷における心室中隔変形の評価法として、局所面積変化率を検討した報告はない。これまでの指標²⁷⁾⁻²⁹⁾では心室中隔単独の駆出能評価は難しいため、今回著者は局所壁運動により肺性心の心室中隔動態を評価しようと試みた。左室局所壁運動は従来虚血性心疾患において主に研究されてきたが³⁸⁾⁻⁴⁰⁾、解析座標のとり方に大きく2方法があり、1つは心臓全体運動の補正をするため、各時相の面積重心等の基準点を重ね合わせる floating reference system と他は心臓全体の回転や移動を考慮しない fixed reference system である。心筋梗塞部の検出率においては fixed reference system が優れているとも報告³⁹⁾されているが、右室容量負荷疾患⁴⁰⁾や手術後⁴¹⁾には floating reference system がよいとの報告もある。いずれの方法が優れているか結論はついていないので、今回の検討は両方法を用いた。何れの方法でも基準点のとりかたがポイントであり、乳頭筋レベルで重心の移動をみると健常群に比べ肺性心群は後方に移動する傾向があり、したがって fixed reference system では心臓全体の動きが加わるため心室中隔運動は過大に評価されている可能性がある。一方 floating reference system を用いると心全体の動きによる artifact は補正されるが、動きの大きな部があると、それは過小評価され、反対側の動きが過大評価される可能性がある。したがって少なくとも両方法で一致した結果が出ればその動態評価は確実といえる。今回の検討では両方法とも肺

性心乳頭筋レベルの心室中隔局所面積変化率が増大し、一方僧帽弁レベルでは両方法とも各局所壁運動に有意差が認められなかった。したがって肺性心においては心室中央部心室中隔が、より左室駆出に貢献していることが明らかとなった。

以上より肺性心においては右室圧負荷による他動的な心室中隔偏平化により乳頭筋レベル心室中隔局所面積変化率が増大した結果、同レベルの面積駆出率が亢進しこれが左室駆出能を保たせていると推定された。これは Rushmer⁴²⁾により解明された正常心の収縮動態とは異なっている。すなわち心臓短軸断面で考えると、正常心は圧ポンプに適した円形の左室の求心性収縮と、それにかぶさるように位置した右室自由壁と右室に凸の心室中隔の間のふいご様右室駆出動態を示すが、肺性心では右室が円形化し、逆に左室が偏平化することにより左室駆出動態が変形しているわけである。肺血管抵抗増大により左室への血液還流は減少し、したがって左室仕事量も減少しているため、左室疾患が存在しなければ、この動態は両室にとって合理的の順応と考えられる。

V 結 語

心エコー法により肺性心の診断と左室機能について、特に心室中隔運動解析を加えて検討した。対象は慢性肺疾患患者34例と健常例8例である。検討項目は右室壁厚、右室径、心室中隔形態、左室面積駆出率、左室局所壁運動であり、以下の結果を得た。

- 1) 右室壁厚は平均肺動脈圧と有意の相関を示し、3.5 mm を基準とすると肺高血圧群 (mPAP \geq 20 mm Hg) と正常肺血圧群をほぼ分離できた。
- 2) 胸骨左縁より計測した右室径は、平均肺動脈圧と相関を示さなかった。
- 3) 心室中隔形態の変形程度を3群に分け各群間の血行動態を比較すると、各群間に明らかな有意差が認められ、右室後負荷増大に応じて心室中隔が変形すると考えられた。
- 4) 右室壁厚 \geq 3.5 mm、もしくは心室中隔変形を示すことを基準とすると、肺高血圧 (mPAP \geq 20 mm Hg) 診断の Sensitivity 87%, Specificity 86%, Diagnostic accuracy 87% となり肺性心の診断上有用な指標となると考えられた。
- 5) 肺性心の左室機能を面積駆出率より検討すると、僧帽弁レベルでは差がなかったが、乳頭筋レベルの面積駆出率が明らかに増大しており、これは心室中隔

部の局所面積変化率増大によると解明された。したがって肺性心の左室駆出能は障害されていないと推定された。

以上、肺性心の診断と病態解析上、心エコー法が有用であることが示された。

した草間昌三教授に深く感謝いたします。

本論文の要旨は、第24回日本胸部疾患学会総会（1984年4月）、第51回日本循環器学会（1987年3月）、第6回欧州超音波医学会（1987年6月）において発表した。

稿を終えるにあたり、御指導および御校閲を賜りま

文 献

- 1) World Health Organization: Chronic cor pulmonale. Report of an expert committee. *Circulation*, 27: 594-615, 1963
- 2) Ferrer, M. I.: Cor pulmonale (pulmonary heart disease): present-day status. *Am Heart J*, 89: 657-664, 1975
- 3) Fishmann, A. P.: Chronic cor pulmonale. *Am Rev Respir Dis*, 114: 775-794, 1976
- 4) The Criteria Committee of the New York Heart Association: Nomenclature and criteria for diagnosis of diseases of the heart and great vessels. 8th ed., pp. 20-21, Little, Brown and Company, Boston, 1979
- 5) Chetty, K. G., Brown, S. E. and Light, R. W.: Identification of pulmonary hypertension in chronic obstructive pulmonary disease from routine chest radiographs. *Am Rev Respir Dis*, 126: 338-341, 1982
- 6) 滝沢 進: 慢性肺性心の右室肥大心電図所見に関する研究. *Jpn Circ J*, 30: 435-442, 1966
- 7) Scotto, R. C., Kaplan, S., Fowler, N. O., Helm, R. A., Westcott, R. N., Walker, I. C. and Stiles, W. J.: The electrocardiographic pattern of right ventricular hypertrophy in chronic cor pulmonale. *Circulation*, 11: 927-936, 1955
- 8) Ohsuzu, F., Handa, S., Kondo, M., Yamazaki, H., Tsugu, T., Kubo, A., Takagi, Y. and Nakamura, Y.: Thallium-201 myocardial imaging to evaluate right ventricular overloading. *Circulation*, 61: 620-625, 1980
- 9) Weitzenblum, E., Moyses, B., Dickele, M. C. and Methlin, G.: Detection of right ventricular pressure overloading by thallium-201 myocardial scintigraphy. *Chest*, 85: 164-169, 1984
- 10) Boyd, M. J., Williams, I. P., Turton, C. W. G., Brooks, N., Leech, G. and Millard, F. J. C.: Echocardiographic method for the estimation of pulmonary artery pressure in chronic lung disease. *Thorax*, 35: 914-919, 1980
- 11) Louridas, G., Angomachalelis, N., Patakas, D. and Stavropoulos, C.: Right ventricular echocardiographic, vectorcardiographic and electrocardiographic study in cor pulmonale. *Acta Cardiol (Brux)*, 35: 429-436, 1980
- 12) Rao, B. S., Cohn, K. E., Eldridge, F. L. and Hancock, E. W.: Left ventricular failure secondary to chronic pulmonary disease. *Am J Med*, 45: 229-241, 1968
- 13) Kachel, R. G.: Left ventricular function in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*, 74: 286-290, 1978
- 14) 笹本 浩: 慢性肺性心. *慶応医学*, 44: 773-781, 1967
- 15) Nanda, N. C., Gramiak, R., Robinson, T. I. and Shah P. M.: Echocardiographic evaluation of pulmonary hypertension. *Circulation*, 50: 575-581, 1974
- 16) Weyman, A. E., Dillon, J. C., Feigenbaum, H. and Chang, S.: Echocardiographic patterns of pulmonary valve motion with pulmonary hypertension. *Circulation*, 50: 905-910, 1974
- 17) Acquatella, H., Schiller, N. B., Sharpe, D. N. and Chatterjee, K.: Lack of correlation between echocardiographic pulmonary valve morphology and simultaneous pulmonary arterial pressure. *Am J Cardiol*, 43: 946-950, 1979
- 18) Tsuda, T., Sawayama, T., Kawai, N., Katoh, T., Nezu, S. and Kikawa, K.: Echocardiographic

- measurement of right ventricular wall thickness in adults by anterior approach. *Br Heart J.* 44: 55-61, 1980
- 19) Matsukubo, H., Matsuura, T., Endo, N., Asayama, J., Watanabe, T., Furukawa, K., Kunishige, H., Katsume, H. and Ijichi, H.: Echocardiographic measurement of right ventricular wall thickness. *Circulation*, 56: 278-284, 1977
- 20) 森 茂樹: 病理学各論. 第10版, p. 22, 金原出版, 東京, 1964
- 21) Prakash, R. and Matsukubo, H.: Usefulness of echocardiographic right ventricular measurements in estimating right ventricular hypertrophy and right ventricular systolic pressure. *Am J Cardiol*, 51: 1036-1040, 1983
- 22) Zenker, G., Forche, G. and Harnoncourt, K.: Two-dimensional echocardiography using a subcostal approach in patients with COPD. *Chest*, 88: 722-725, 1985
- 23) Danchin, N., Cornette, A., Henriquez, A., Godenir, J. P., Ethevenot, G., Polu, J. M. and Sadoul, P.: Two-dimensional echocardiographic assessment of the right ventricle in patients with chronic obstructive lung disease. *Chest*, 92: 229-233, 1987
- 24) Kieffer, R. W., Hutchins, G. M., Moore, G. W. and Bulkley, B. H.: Reversed septal curvature. *Am J Med*, 66: 831-835, 1979
- 25) 赤石 誠, 秋月哲史, 半田俊之介, 大西祥平, 後藤敏夫, 小川 聡, 川村陽一, 中村芳郎: 右室負荷疾患における左室の形態と機能. *J Cardiogr*, 10: 153-161, 1980
- 26) Stool, E. W., Mullins, C. B., Leshin, S. J. and Mitchell, J. H.: Dimensional changes of the left ventricle during acute pulmonary arterial hypertension in dogs. *Am J Cardiol*, 33: 868-875, 1974
- 27) Shimada, R., Takeshita, A. and Nakamura, M.: Noninvasive assessment of right ventricular systolic pressure in atrial septal defect: analysis of the end-systolic configuration of the ventricular septum by two-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol*, 53: 1117-1123, 1984
- 28) King, M. E., Braun, H., Goldblatt, A., Liberthson, R. and Weyman, A. E.: Interventricular septal configuration as a predictor of right ventricular systolic hypertension in children: a cross-sectional echocardiographic study. *Circulation*, 68: 68-75, 1983
- 29) Ryan, T., Petrovic, O., Dillon, J. C., Feigenbaum, H., Conley, M. J. and Armstrong, W. F.: An echocardiographic index for separation of right ventricular volume and pressure overload. *J Am Coll Cardiol*, 5: 918-924, 1985
- 30) Lima, J. A. C., Guzman, P. A., Yin, F. C. P., Brawley, R. K., Humphrey, L., Trail, T. A., Lima, S. D., Mario, P., Weisfeldt, M. L. and Weiss, J. L.: Septal geometry in the unloaded living human heart. *Circulation*, 74: 463-468, 1986
- 31) Tanaka, H., Tei, C., Nakao, S., Tahara, M., Sakurai S. Kashima, T. and Kanehisa, T.: Diastolic bulging of the interventricular septum toward the left ventricle. *Circulation*, 62: 558-563, 1980
- 32) 中尾正一郎, 皆越真一, 清永和明, 中園佳成, 鹿島友義, 田中弘允: 心室中隔の形態, 動態と両室間圧較差との関連についての実験的研究. *J Cardiogr [Suppl]*, 14: 45-52, 1984
- 33) Brinker, J. A., Weiss, J. L., Lappe, D. L., Rabson, J. L., Summer, W. R., Permutt, S. and Weisfeldt, M. L.: Leftward septal displacement during right ventricular loading in man. *Circulation*, 61: 626-633, 1980
- 34) Pombo, J. F., Troy, B. L. and Russell, R. O. Jr.: Left ventricular volumes and ejection by echocardiography. *Circulation*, 43: 480-490, 1971
- 35) Eaton, L. W., Maughan, W. L., Shoukas, A. A. and Weiss, J. L.: Accurate volume determination in the isolated ejecting canine left ventricle by two-dimensional echocardiography. *Circulation*, 60: 320-326, 1979
- 36) Wyatt, H. L., Heng, M. K., Meerbaum, S., Hestenes, J. D., Cobo, J. M., Davidson, R. M. and Corday, E.: Cross sectional echocardiography 1. Analysis of mathematic models for quantifying mass of the left ventricle in dogs. *Circulation*, 60: 1104-1113, 1979

- 37) Schiller, N. B., Acquatella, H., Ports, T. A., Drew, D., Goerke, J., Ringertz, H., Silverman, N. H., Brundage, B., Botvinick, E. H., Boswell, R., Carlsson, E. and Parmley, W. W.: Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography. *Circulation*, 60: 547-555, 1979
- 38) Moynihan, P. F., Parisi, A. F. and Feldman, C. L.: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography. I. Analysis of methods. *Circulation*, 63: 752-760, 1981
- 39) Parisi, A. F., Moynihan, P. F., Folland, E. D. and Feldman, C. L.: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography. II. Accuracy in coronary artery disease. *Circulation*, 63: 761-767, 1981
- 40) Feneley, M. and Gavaghan, T.: Paradoxical and pseudoparadoxical interventricular septal motion in patients with right ventricular volume overload. *Circulation*, 74: 230-238, 1986
- 41) Force, T., Bloomfield, P., O'Boyle, J. E., Pietro, D. A., Dunlap, R. W., Khuri, S. F. and Parisi, A. F.: Quantitative two-dimensional echocardiographic analysis of motion and thickening of the interventricular septum after cardiac surgery. *Circulation*, 68: 1013-1020, 1983
- 42) Rushmer, R. F.: Cardiovascular dynamics. 4th ed., pp. 91-93, W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1976

(62. 10. 9 受稿)