

各種心疾患における左右心室の相互関係：両心室圧・容積ループによる検討

Assessment of interaction between the left and right ventricles using pressure-volume loops in various heart diseases

古田 敏也  
近藤 武  
渡辺 佳彦  
岡村 正博  
下方 辰幸  
菱田 仁  
水野 康  
安野 泰史  
竹内 昭  
古賀 佑彦

Toshiya FURUTA  
Takeshi KONDO  
Yoshihiko WATANABE  
Masahiro OKAMURA  
Tatsuyuki SHIMOKATA  
Hitoshi HISHIDA  
Yasushi MIZUNO  
Hirofumi ANNO  
Akira TAKEUCHI  
Sukehiko KOGA

**Summary**

To assess the interaction and interdependence of left and right ventricular function, ECG-gated radionuclide angiography was performed immediately after cardiac catheterization during right atrial pacing for 11 patients with old myocardial infarction (MI), two with non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy, one with aortic stenosis (AS), two with pulmonary infarction (PI), and one with neuro-circulatory asthenia (NCA).

Absolute left ventricular (LV) volume curves were obtained by the count-based method with attenuation factor corrections. Biventricular pressure and volume curves were digitized and synchronized to end-diastole, and pressure-volume (P-V) loops were constructed throughout a cardiac cycle.

The stroke work index (SWI), the work index per min (WI/M) and the contractility index (CNTI) were calculated from the P-V loops.

In a patient with NCA, LV end-diastolic volume decreased during rapid pacing, but no significant change in the LV end-systolic P-V relation was recognized. However, the entire right ventricular (RV) P-V loop was shifted toward the left during rapid pacing.

In a patient with AS, the LV P-V loop was markedly enlarged and every parameter of LV function was much greater than that of the right ventricle due to increased LV afterload. The areas of RV P-V loops in two patients with PI were larger than those of other patients, because RV pressure was re-

藤田学園保健衛生大学医学部 内科  
豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98 (〒470-11)

Department of Internal Medicine, Fujita-Gakuen  
Health University School of Medicine, Dengakuga-  
kubo 1-98, Kutsukakecho, Toyoake 470-11

Received for publication August 4, 1987; accepted October 9, 1987 (Ref. No. 33-24)

lately high, and RV volume was increased. It is suggested that RV pressure and volume overloads prevail in patients with PI.

In four MI patients with three vessel disease and having collateral circulation, the LV end-systolic P-V relationship was shifted toward the lower right, and every parameter (SWI, WI/M, CNTI) of LV function decreased by rapid pacing. Myocardial ischemia may be induced by rapid pacing stress, causing decreased LV contractility.

It was concluded that the P-V loops obtained by RNA and catheterization are clinically useful for estimating the interaction and interdependence between right and left ventricular hemodynamics.

### Key words

Pressure-volume loop      Interaction between right and left ventricles      ECG-gated cardiac blood pool scintigraphy      Count based method

## 緒 言

心臓のポンプ機能を評価する上に最も重要な情報は心室容積と心室圧であり、これらの相互関係を検討することが、心機能を評価する上で極めて有用と考えられている。この圧と容積の関係は、特に左室収縮末期での関係において数多くの研究がなされているが<sup>1-10)</sup>、一心周期全体としての圧-容積関係を、臨床例において検討した報告<sup>11,12)</sup>は未だ数少ない。なぜならば、人における心室の絶対容積を算出することは容易ではなく、左室造影<sup>13-15)</sup>、心エコー図<sup>16-18)</sup>などによる心室容積の算出方法は、種々の問題を内包しているからである。これに対し、核種を用いた count based 法は心室の壁運動異常などの影響を比較的受けにくく、信頼性が高いと考えられる。さらに、平衡時心プールシンチグラフィは左室と右室が同時に描画されるため、左右心室の talking phenomenon などの評価には威力を発揮するものと思われる。

本研究では count-based 法を用い、心電図同期心プールシンチグラフィにより心室容積を算出し、心臓カテーテル検査から得た圧情報を加えて、左右両心室の圧-容積ループ (pressure-volume loop=P-V loop) を作成した。そしてそのループから、種々の心機能指標を算出し、各種心疾患における左右両心室の機能および相互関係について検討を行った。

## 対 象

対象は発症より1ヵ月以上経過した陳旧性心筋梗塞11例(前壁中隔梗塞6例,後壁梗塞2例,前壁兼下壁梗塞1例,後壁兼下壁梗塞1例,心内膜下梗塞1例),非閉塞性肥大型心筋症2例,肺梗塞1例,肺梗塞兼下壁心筋梗塞1例,大動脈弁狭窄症1例,心臓神経症1例の計17例(52.2±8.8歳,男13例,女4例)である。疾患の診断は、臨床症状,身体所見,急性期の生化学的所見,心電図,胸部X線写真,<sup>201</sup>Tlリウム心筋シンチ,ピロリン酸心筋シンチ,心エコー図,心臓カテーテル検査などにより行った。また逆流性および短絡性疾患は除外した(Table 1)。

## 方 法 (Fig. 1)

### 1. 圧データの収集

左室は Miller 製 #8F micromanometer tipped angiographic catheter を,右室は Swan-Ganz thermodilution catheter を用いて仰臥位,呼吸停止時に,10心拍以上の左右心室圧を同時に測定した。各々の圧波形を心電図波形とともにデータレコーダー (TEAC R-410) に6 inch/sec で記録した。

### 2. 容積データの収集

#### 1. 心プールシンチグラフィの撮像

心臓カテーテル検査終了直後,直ちに患者を核医学検査室へ移送した。高分解能パラレルホー

Table 1. Patient selection

Diagnosis	Number	Age (yrs)	Sex
Old MI	11	53.2±8.4	M=8, F=3
Anterior	6	53.0±7.7	M=6, F=0
Posterior	2	50, 38	M=0, F=2
Anterior+inferior	1	63	M=1, F=0
Posterior+inferior	1	62	M=0, F=1
Subendocardial	1	52	M=1, F=0
HCM without obstruction	2	66, 40	M=2, F=0
PI	1	48	M=1, F=0
PI with inferior MI	1	57	M=1, F=0
AS	1	41	M=1, F=0
NCA	1	52	M=0, F=1
Total	17	52.2±8.8	M=13, F=4

Abbreviations: MI=myocardial infarction; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; PI=pulmonary infarction; AS=aortic stenosis; NCA=neurocirculatory asthenia.

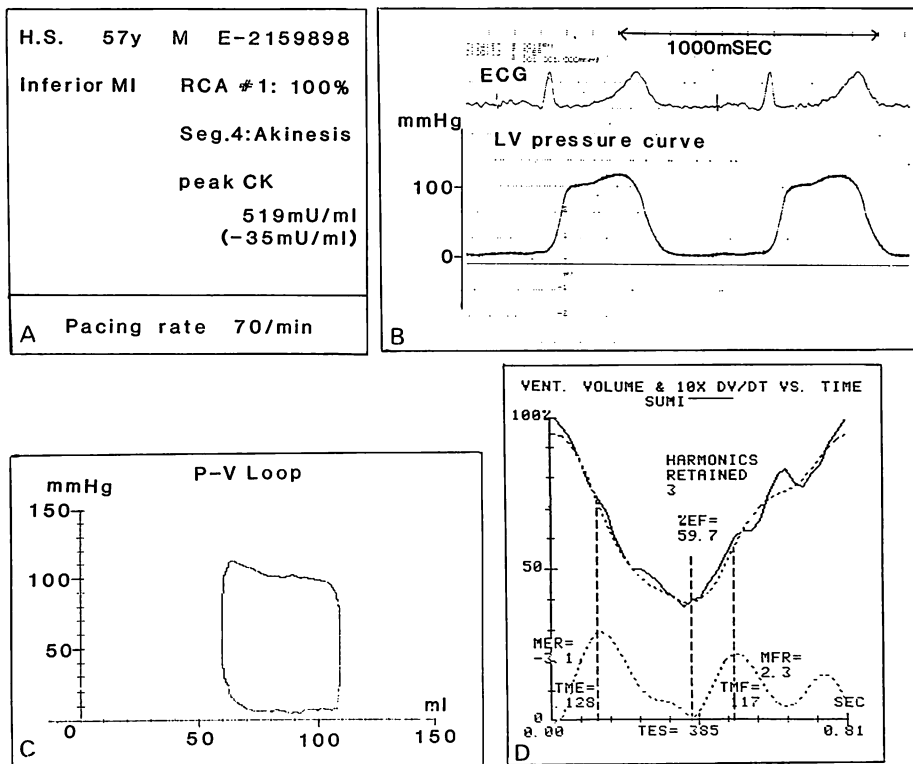


Fig. 1. Coronary angiographic and left ventriculographic findings (A), left ventricular pressure curve (B), pressure-volume loop (C) and left ventricular time-activity curve (D), in a patient with inferior myocardial infarction.

Abbreviations: RCA=right coronary artery; Seg=segment; CK=creatine phosphokinase.

ルコリメーター (37,000 ホール) を装着した日立製ガンマ・カメラ (RC-1C-1635LD) を用いて、 $^{99m}\text{Tc}$  20 mCi で生体内標識した赤血球による心電図同期心プールのシンチグラフィの撮像を行った。まず RAO 30° にて first pass 像を収集し、ついで両心室の分離の最もよい左前斜位(LAO $\alpha^\circ$ )から、1心拍32分割のフレームモードで平衡時心電図同期心プールのシンチグラフィを撮像した。なお、圧および容積データ収集時の心拍数を同一とするために、#5F bipolar pacing catheterにより高位右房ペーシングを行った。ペーシングレートは、各患者の洞調律より約10%程度多いレートをベースラインとし、それよりさらに10~20%ずつ増加させて、2ないし3段階のペーシング負荷を行った。心プールシンチグラフィより得られたデータの処理は、ADAC製核医学データ処理装置 System IVにて行った。

## 2. 心室容積曲線の算出

心プールシンチグラフィによる心室容積の算出は、Slutskyら<sup>19)</sup>が提唱したcount-based法にLinksら<sup>20)</sup>の線減弱係数( $\mu=0.15\text{ cm}^{-1}$ )を加味して行ったが、左室重心および胸壁までの距離測定方法は安野らの方法<sup>21,22)</sup>によった。すなわち、画像収集直後に被検者の肘静脈から約10mlのサンプル血液を採取し、正確に5mlずつ2つの直径8cmのシャーレに分配した。そして、それぞれカウントを測定し、平均値を求め、1mlあたりのカウントを算出した。心プールシンチグラフィのデータは、左室拡張末期像に関心領域(ROI)を設定し、auto variable ROI法により左室のtime activity curveを算出した。このカーブを3次項までのフーリエ級数で平滑化し、count-based法より求めた拡張末期容積値(EDV)、収縮末期容積値(ESV)、一回拍出量(SV)で換算して、一心周期全体の左室絶対容積曲線を算出した。右室絶対容積曲線は、拡張末期像で右室にfixed ROIを設定し、右室のtime activity curveを求め、これを3次項までフーリエ級数で平滑化し、左右心室で一回拍出量が等しいと仮定

して、右室駆出率から算出した。

## 3. 圧・容積ループの作成と一回心仕事係数、分時心仕事係数、収縮係数の算出

以上により得られた圧および容積データを心電図R波で時相を揃え、パーソナルコンピュータに入力し、左右心室の圧・容積ループを作成した。さらに、得られたループ内の面積を積分により求め、体表面積で除して、1回心仕事係数<sup>40)</sup>[stroke work index=SWI ( $\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{BSA}/\text{beat}$ )]を算出した。

またSWIに心拍数を乗じて分時心仕事係数[work index per min=WI/M ( $\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{BSA}/\text{minute}$ )]を算出した。さらにMillerら(1965)が提唱した収縮係数[contractility index=CNTI ( $\text{g} \cdot \text{m}/\text{cm}^3/\text{beat}$ )]をSW/EDVとして算出した。これらの結果を各々左右心室間で比較検討した。

## 成 績

### 1. 症例呈示

症例1: 52歳, 女性, 心臓神経症 (Fig. 2)

ペーシングレートを増加させると、右室の圧・容積ループは、Fig. 2 下段に示す如く左方に移

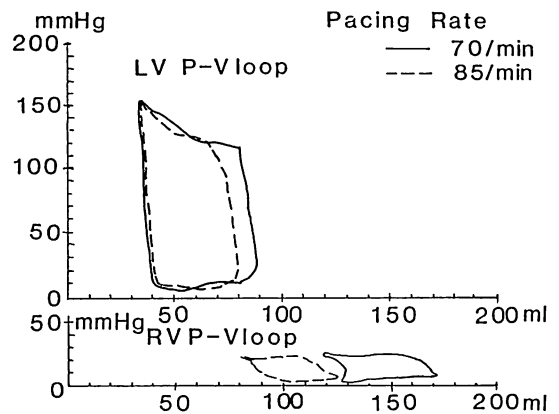


Fig. 2. Left ventricular pressure-volume loops (upper panel) and right ventricular pressure-volume loops (lower panel) during right atrial pacing in a patient with neurocirculatory ashenia (52-year-old woman).

動し、EDV は減少、SV も軽度減少した。それについて左室拡張末期容積 (LVEDV)、一回拍出量 (SV) は減少したが、左室収縮末期圧 (LVESP)・容積 (LVESV) 関係をあらわす点 (ループの左肩の点) には変化がみられなかった。また、右室の SWI, WI/m, CNT はそれぞれ 13.2 から 9.1 g・m/m<sup>2</sup>BSA/beat へ、926.3 から 908.7 g・m/m<sup>2</sup>BSA/min へ、0.12 から 0.06 g・m/cm<sup>3</sup>/beat へ変化し、左室のそれらは 65.8 から 59.9 g・m/m<sup>2</sup>BSA/beat へ、4602.9 から 5987.6 g・m/m<sup>2</sup>BSA/min へ、1.2 から 1.1 g・m/cm<sup>3</sup>/beat へ変化した。

症例 11: 59 歳, 男性. 前壁中隔心筋梗塞 (Fig. 3)

左室造影で、前壁に akinesis, 心尖部に dyskinesis を認め、冠動脈造影では左前下行枝 #6 に 75%, #7 に 90% 狭窄を認めた。ペーシングレートを増加させると、LVEDV, LVSV は減少し、左室圧・容積ループの左方移動が認められた。また右室も同様の結果が得られ、ループの左方移動が認められた。

症例 9: 59 歳, 男性, 前壁中隔心筋梗塞 (Fig. 4)

左室造影で心室中隔部に無収縮領域を、冠動脈造影で右冠動脈 #1 に 100% 閉塞, 左前下行枝 #7 に 100% 閉塞, #9 に 75% 狭窄, 左回旋枝 #11 に 99% 狭窄を認め、また数多くの側副血行路をみた。ペーシングレートを増加させても LVEDV はほとんど不変であったが、収縮末期圧容積関係を示す点は右下方へ偏位した。右室では、ペーシングレートを増加させると EDV は増加し、最終的に右室圧・容積ループは右方移動を示した。

症例 8: 57 歳, 男性, 下壁心筋梗塞兼肺梗塞 (Fig. 5)

左室造影で、下壁部に無収縮領域を、冠動脈造影で右冠動脈 (#1) に 100% 閉塞を認め、肺動脈圧 37/10 mmHg (25), 肺動脈楔入圧 19 mmHg, 中心静脈圧 17.4 cmH<sub>2</sub>O, LDH 665 mU/ml (正常値 50~107), 動脈酸素分圧 68 mmHg, 動脈二酸化炭素分圧 38 mmHg で、肺血流シンチ上、右肺中葉に楔状の cold area をみた。ペーシングレ

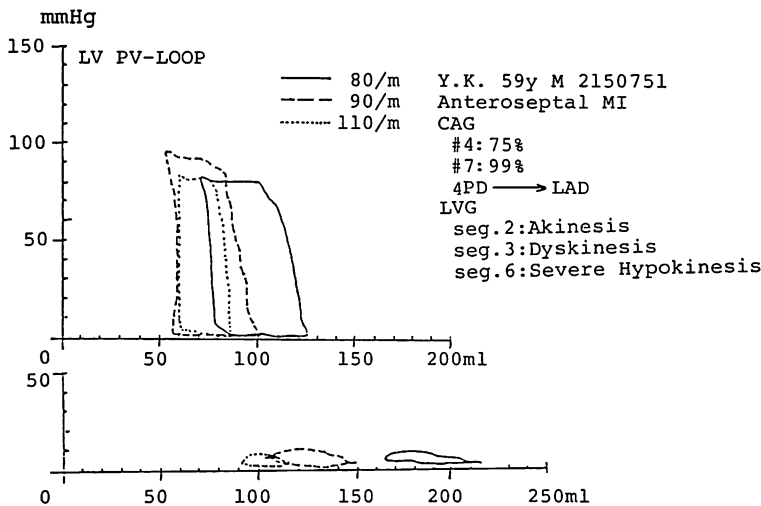
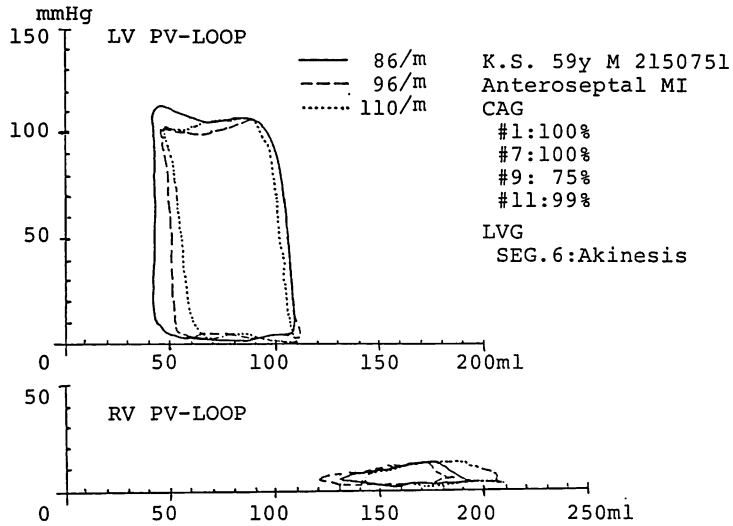
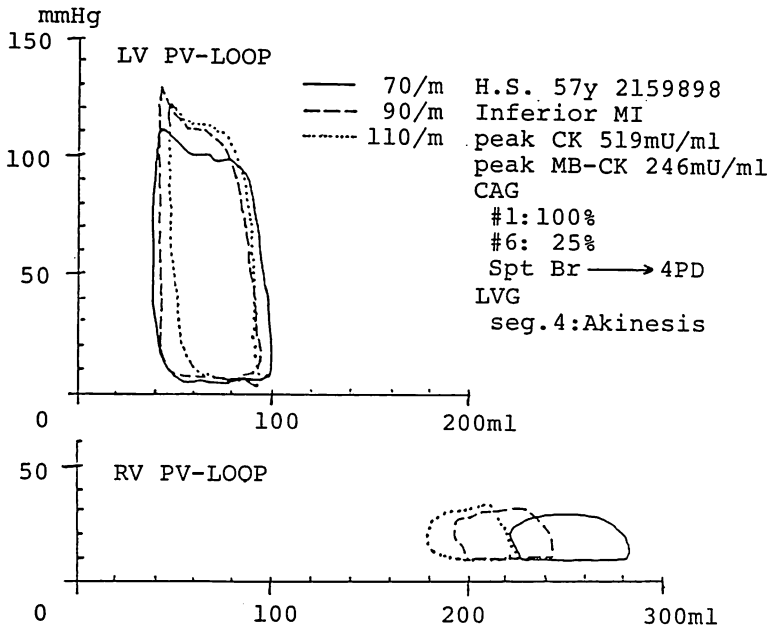


Fig. 3. Left ventricular pressure-volume loops (upper panel) and right ventricular pressure-volume loops (lower panel) during right atrial pacing in a patient with anteroseptal myocardial infarction (one vessel disease).



**Fig. 4. Left ventricular pressure-volume loops (upper panel) and right ventricular pressure-volume loops (lower panel) during right atrial pacing in a patient with anteroseptal myocardial infarction (three vessel disease with collateral circulation).**



**Fig. 5. Left ventricular pressure-volume loops (upper panel) and right ventricular pressure-volume loops (lower panel) during right atrial pacing in a patient with inferior myocardial infarction and pulmonary infarction.**

ートを増加させても LVEDV はほとんど不変で、SV のわずかな減少が認められたが、左室圧・容積ループは、明らかな偏位を示さなかった。右室の EDV, EDP, ESV, ESP は他の症例に較べて高値であり、右室圧・容積ループも他の症例より拡大していた。また、ペースングレートを増加させることにより、右室圧・容積ループの左方移動が認められた。

症例 15: 41 歳, 男性, 大動脈弁狭窄症 (Fig. 6)

左室内圧が著しく高値 (260~300 mmHg) であり、左室圧・容積ループの著明な拡大を認めた。ペースングレートを増加させると、EDV のわずかな減少はみられたが、ループの明らかな移動は認められなかった。右室圧・容積ループは一定の傾向を示さなかった。

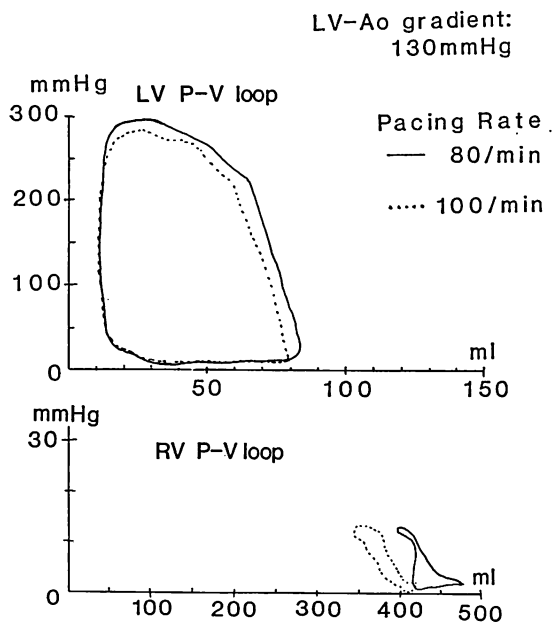


Fig. 6. Left ventricular pressure-volume loops (upper panel) and right ventricular pressure-volume loops (lower panel) during right atrial pacing in a patient with aortic stenosis (41-year-old man).

## 2. 全例の成績 (Table 2)

### 1. 左右心室の一回心仕事係数の関係

Fig. 7 は横軸に右室の SWI, 縦軸には左室のそれをとったグラフである。各症例についてベースラインのペースングレートと最大ペースング負荷時の値をプロットし、線で結んだ。Fig. 7 に示した回帰直線は陳旧性心筋梗塞群のものである。ペースングレートを増すと、左右心室とも全体的に一回心仕事係数が減少し、グラフ上、左下方へ偏位する傾向を認めた。大動脈弁狭窄症例 (Case 15) では右室に比し左室一回仕事係数が著しく高値を示し、グラフ上、左上方に位置した。肺梗塞例 (Case 14) では右室一回仕事係数が増大し、グラフ上、やや右方に位置した。心臓神経症例 (Case 1) は心筋梗塞群の回帰直線に沿って存在した。左右心室における一回仕事係数比 (LVSWI/RVSWI) は、心臓神経症例では 5.0 であり、大動脈弁狭窄症では 25.1 と著しく高値を示し、肺梗塞例では 3.8 と低値であった。心筋梗塞群は  $7.9 \pm 3.3$  (平均±標準偏差) と、心臓神経症よりやや高値であった。肥大型心筋症例も 6.8 と心臓神経症より高値を示した。

### 2. 左右心室の分時心仕事係数 (WI/M) (Fig. 8)

1 回心仕事係数と同様、大動脈弁狭窄症では左室分時仕事係数が著しく高値で、グラフ上、左上方に位置し、肺梗塞例では右室の分時仕事係数が大きいため、グラフ上、右方に位置した。

### 3. 左右心室の収縮係数 (CNTI) (Fig. 9)

大動脈弁狭窄症は右室に比し左室値が著しく高値を示し、グラフ上、左上方に位置した。心臓神経症例は、心筋梗塞群よりやや上方に位置した。肺梗塞例は、ほぼ心筋梗塞群の回帰直線上にあったが、右室の値がやや左室に比べ大きい傾向にあった。左・右心室における収縮係数比 (LVCNTI/RVCNTI) では、心臓神経症例は 9.92 で、大動脈弁狭窄症は 151.62 と著しく高値を、肺梗塞では 7.13 とやや低値を示し、SWI 比とほぼ同様な傾向が得られたが、心筋梗塞群は  $11.5 \pm 4.8$  で、

Table 2. Cardiac parameters in each patient

Pt. No.	Age (yrs)	Sex	Diagnosis	Pacing rate (beats/min)	LV					RV							
					EDV (ml)	ESV (ml)	SV (ml)	SWI (gm/m <sup>2</sup> )	WI/M (gm/m <sup>2</sup> /min)	CNTI (gm/cm <sup>3</sup> /beat)	EF (%)	EDV (ml)	ESV (ml)	SWI (gm/m <sup>2</sup> /beat)	WI/M (gm/m <sup>2</sup> /min)	CNTI (gm/cm <sup>3</sup> /beat)	EF (%)
1	52	F	NCA	70	88.9	35.1	53.8	65.7	4,602.9	1.2	59.8	177.6	123.8	13.2	926.3	0.12	30.3
				85	86.4	40.9	45.4	45.5	3,868.1	0.8	56.8	129.6	84.2	6.6	559.1	0.08	35.1
				100	90.4	34.6	55.8	59.8	5,987.6	1.1	61.2	225.9	170.1	9.1	908.7	0.06	24.7
2	63	M	Inf, Ant MI	70	115.9	79.8	36.1	38.9	2,726.2	0.5	32.2	85.4	49.3	2.7	191.2	0.05	42.3
				110	65.6	45.5	20.1	18.9	2,076.5	0.4	19.1	70.9	50.9	1.1	120.3	0.02	28.2
3	52	M	Ant MI	70	110.1	53.4	56.7	67.8	4,744.9	0.9	49.1	149.0	93.3	13.4	936.4	0.13	37.8
				90	88.1	55.7	32.4	36.7	3,302.3	0.6	48.3	90.1	57.6	7.1	640.1	0.12	36.1
4	52	M	Subend MI	80	109.2	39.8	69.4	47.7	3,817.9	0.8	57.1	176.1	106.7	12.9	1,037.4	0.13	39.4
				95	122.5	57.7	74.8	45.5	4,321.8	0.7	51.6	165.3	100.5	11.4	1,083.9	0.13	39.2
5	62	M	Ant MI	105	85.1	65.9	19.2	19.5	2,051.4	0.4	23.7	63.3	44.1	2.1	225.1	0.05	30.3
				120	77.7	65.9	11.8	14.1	1,689.5	0.3	17.4	34.1	22.3	1.2	149.1	0.06	34.7
6	66	M	HCM	70	117.1	55.3	61.8	48.7	3,405.5	0.7	51.3	227.2	165.4	7.1	499.5	0.05	27.2
				90	109.7	58.5	51.2	49.4	4,441.3	0.8	46.2	184.1	132.9	5.3	478.8	0.05	27.8
7	40	M	HCM	80	124.7	47.4	77.3	46.9	3,757.7	0.7	70.5	188.1	110.8	4.8	386.8	0.05	41.1
8	57	M	Inf MI, PI	70	95.8	34.9	60.8	48.8	3,413.3	0.8	59.7	204.2	243.4	10.9	760.9	0.06	20.1
				90	90.5	39.3	51.2	43.1	3,882.3	0.7	53.8	266.6	215.4	9.9	887.8	0.06	19.2
				110	91.1	46.1	45.1	36.4	3,998.7	0.6	47.7	243.5	198.5	7.4	815.1	0.05	18.5
9	43	M	Ant MI	86	104.1	38.1	65.9	48.9	4,211.6	0.9	59.9	207.5	141.5	4.2	361.6	0.04	31.8
				96	115.4	49.2	66.3	40.5	3,887.6	0.7	57.7	196.7	130.4	4.3	416.3	0.04	37.7
				110	110.8	46.9	63.8	37.1	4,080.7	0.6	57.1	213.9	150.1	4.7	519.1	0.04	29.9
10	45	M	Ant MI	86	131.1	62.9	68.1	58.7	5,051.7	0.7	53.8	181.1	113.1	7.1	611.4	0.06	37.6
				96	111.9	58.7	53.3	46.2	4,439.4	0.6	50.7	179.6	126.4	4.7	451.6	0.04	29.6
11	59	M	Ant MI	80	123.6	70.1	53.6	24.9	1,996.7	0.4	41.2	230.9	177.3	2.2	178.9	0.02	23.2
				90	109.2	62.9	46.2	23.5	2,116.6	0.4	44.6	157.8	111.6	2.5	223.8	0.03	29.3
				110	88.4	62.3	26.1	13.8	1,516.1	0.3	29.1	128.1	102.1	1.3	141.3	0.02	20.3
12	50	F	Post, Lat MI	70	104.8	50.6	54.2	44.4	3,106.1	0.7	53.6	124.1	69.9	5.8	406.5	0.08	43.7
				80	98.6	43.3	55.3	41.2	3,291.8	0.7	52.5	125.7	70.4	5.5	442.1	0.08	44.1
				100	79.9	39.8	40.2	29.1	2,906.8	0.6	53.7	98.1	57.9	3.2	323.2	0.06	41.1
13	62	F	Inf, Post MI	90	202.1	104.9	97.2	84.1	7,564.6	0.7	46.4	309.6	212.4	12.7	1,142.7	0.07	31.4
				110	166.9	128.9	38.1	27.2	2,989.9	0.3	29.2	177.7	139.7	5.1	560.3	0.05	21.4



14	48	M	PI	75	127.7	45.6	82.2	57.5	4,211.4	0.7	67.9	241.1	158.8	15.2	1,142.5	0.11	34.1
				85	105.1	37.8	67.2	48.7	4,142.1	0.8	63.7	208.1	140.9	20.1	1,711.6	0.16	32.3
				100	86.9	27.7	59.2	48.9	4,896.9	0.9	67.1	196.6	137.4	18.1	1,801.3	0.15	30.1
15	41	M	AS	80	85.7	13.4	72.4	133.1	10,642.6	2.6	84.8	516.9	444.5	53	424.5	0.02	14.1
				100	75.2	8.1	67.1	124.1	12,412.1	2.8	84.6	456.4	389.4	4.2	421.9	0.02	14.7
16	38	F	Post MI	86	85.8	46.1	39.7	24.7	2,119.9	0.5	49.7	193.9	144.2	4.2	364.5	0.04	21.6
				100	84.4	47.3	37.1	26.7	2,666.1	0.5	44.1	159.9	122.8	3.7	367.2	0.04	23.2
				120	89.4	56.9	32.5	25.7	3,084.9	0.5	39.1	146.5	113.9	3.3	400.9	0.04	22.2
17	57	M	Ant MI	100	55.6	28.7	26.9	18.2	1,818.9	0.5	41.9	97.8	70.9	3.4	339.5	0.05	27.5
				120	74.8	45.1	29.7	17.9	2,153.5	0.4	39.7	110.1	80.3	5.5	657.6	0.08	33.3

Abbreviations: MI=myocardial infarction; Ant=anterior; Post=posterior; Inf=inferior; Subend=subendocardial; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; PI=pulmonary infarction; AS=aortic stenosis; NCA=neurocirculatory asthenia; LV=left ventricle; RV=right ventricle; EDV=end-diastolic volume; ESV=end-systolic volume; SV=stroke volume; SWI=stroke work index; WI/M=work index per min; CNTI=contractility index; EF=ejection fraction.

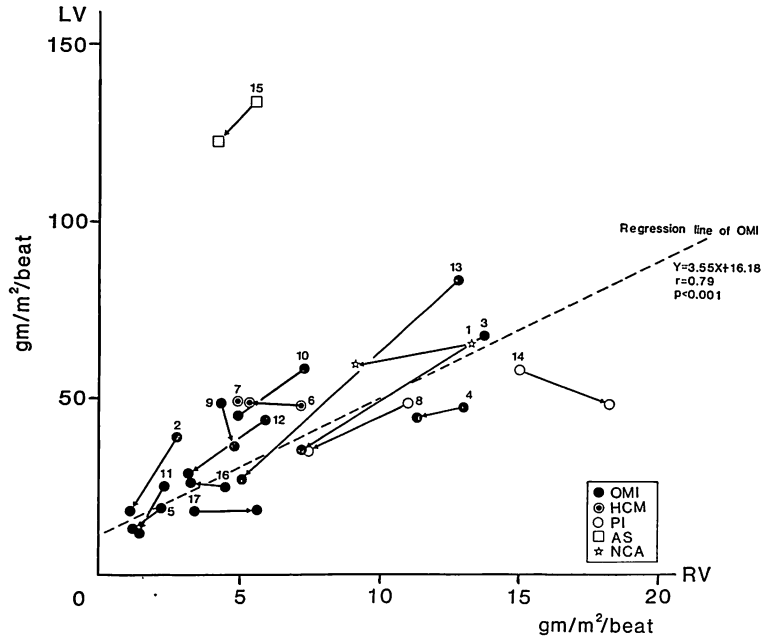


Fig. 7. Correlation between left and right ventricular stroke work indices (SWI).

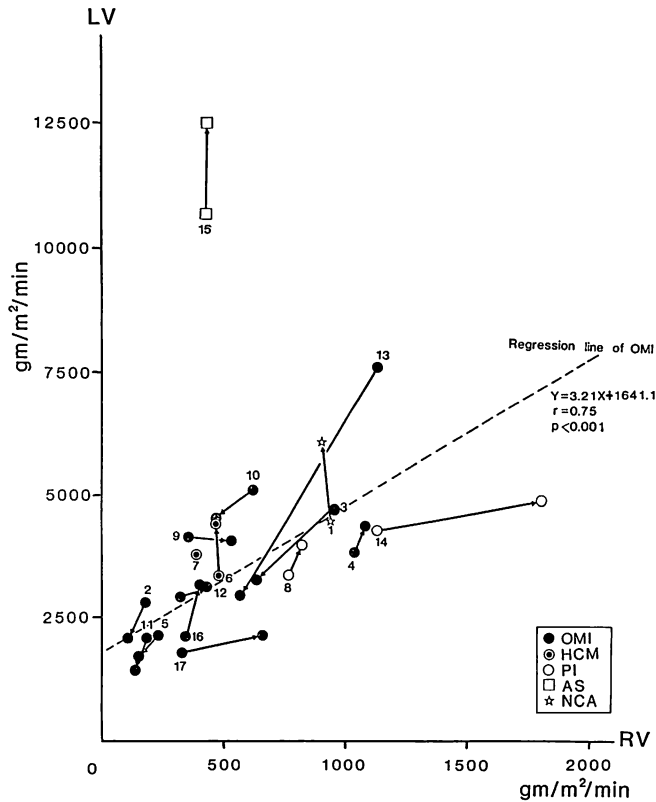
Each arrowhead indicates the value of left and right ventricular SWI during higher rate pacing in each patient and each arrowtail is the basic pacing rate state. Left ventricular stroke work indices are correlated significantly with right ventricular indices in patients with old myocardial infarction. The broken line is the regression line of old myocardial infarction. A patient with aortic stenosis (Case 15) is located on the upper left side of the graph, because of left ventricular pressure overload, while a patient with pulmonary infarction (Case 14) is located on the right side of the graph, because of right ventricular pressure overload.

心臓神経症と比べ有意な差は認められなかった。肥大型心筋症は13.2とやや高値を示した。

考 按

心室の圧-容積関係の重要性は1960年代より多くの研究者により検討されているが、臨床例において心室の容積を正確に測定することは、現在の技術では困難であると言わざるをえない。Sugaraらは1967年以來イヌ左心室において、色素希釈法や電磁流量計を使用し、ついで左心室内に薄いゴム風船を密着させ、水の出入により心室の絶対容積を求めているが<sup>4,5,23-31</sup>、ヒトにおいては、この方法は不可能である。現在、臨床例における心室の容積の算出には、左室造影法、心エコー図

法、核医学法、Baanのカテーテル法<sup>32</sup>がある。しかし、左室造影法は侵襲的である上に、Simpson's ruleによるChapman法や、area-length法によるDodge法<sup>33</sup>は心室を回転楕円体として仮定し算出しているため、心室壁運動異常を有する症例では大きな誤差を生じ得る。またMモード心エコー図法<sup>16-18</sup>による容積測定は非観血的ではあるが、一次元の長さを用いて三次元の容積を導くため、より精度は低い。また全症例で明瞭な記録が得られるとは限らない。これに対し、核医学法は非侵襲的で、直接三次元的なカウントから容積を求めるため、心室の壁運動異常の影響も受けにくく、優れた方法である。特に右心室の容積測定は、形態的複雑さのため簡易な方法はな



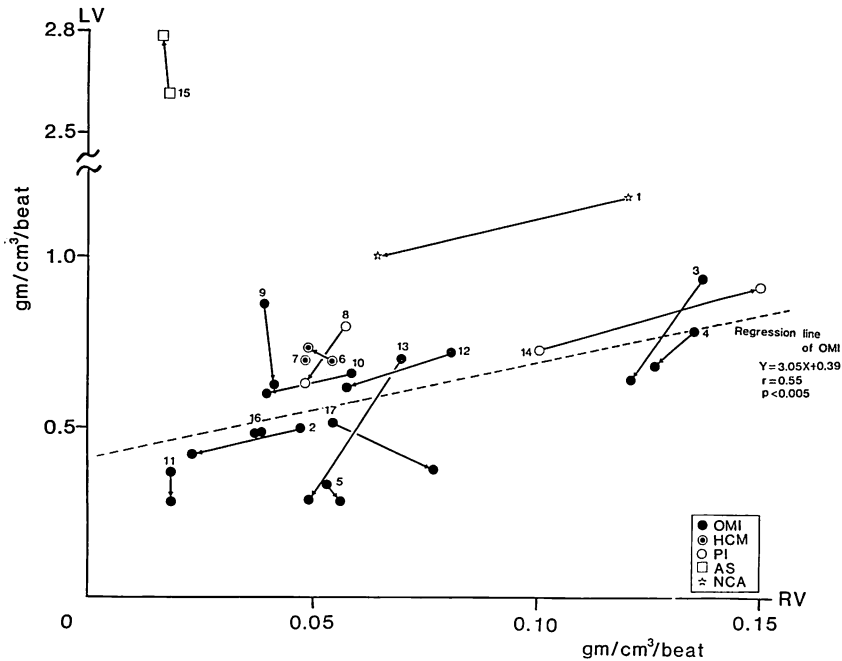
**Fig. 8. Correlation between left and right ventricular work indices per minute (WI/M).**

Each arrowhead indicates the value of left and right ventricular WI/M at higher rate pacing in each patient and each arrowtail is the basic pacing rate state. Left ventricular WI/M correlates significantly with right ventricular WI/min in patients with old myocardial infarction. The broken line is the regression line of old myocardial infarction. In a patient with aortic stenosis (Case 15), left ventricular WI/M is indicated in the right upper part of the graph. Two patients with pulmonary infarction (Case 8, 14) are located below the regression line of myocardial infarction.

く、Simpson's rule 法<sup>34)</sup>、area-length 法<sup>35)</sup>、平行六面体法<sup>36)</sup>、プリズム法<sup>37)</sup>などが利用されているが、いずれも形態学的仮定を必要とする。これに対して、核医学による方法はこれら形態的变化に影響されることは少ないと考えられ、しかも、左室と右室が同時に描画されるため、左右心室の talking phenomenon などを評価する上で有用な手段と思われる。

我々は、1979年、Slutsky ら<sup>19)</sup>が確立した count-based 法を用い心室容積を算出した。この

方法では線減弱補正を行うため、胸壁から線源までの距離を計測する必要があるが、Links ら<sup>20)</sup>の方法では、左右心室の最も分離の良い LAO $\chi^\circ$  と前画像 (ANT) を用いているため、時に左室と右室が重なり、左室重心を決定することが困難な場合もある。そこで RAO 30 $^\circ$  と LAO $\chi^\circ$  を用いて左室重心を求める安野ら<sup>22)</sup>の方法を用いて距離の計測を行い、線減弱補正を行った。また、線減弱補正には、Links らの他に Nickoloff ら<sup>38)</sup>や Siegel ら<sup>39)</sup>の方法もあるが、安野らの結果<sup>22)</sup>より



**Fig. 9. Correlation between left and right ventricular contractility indices (CNTI).**

Each arrowhead indicates the value of left and right ventricular CNTI during higher rate pacing in each patient and each arrowtail is the basic pacing rate state. Left ventricular CNTI correlates significantly with right ventricular CNTI in patients with old myocardial infarction. The broken line is the regression line of old myocardial infarction. A patient with aortic stenosis (Case 15) is located in the upper left of the graph. A patient with NCA (Case 1) is located above the old myocardial infarction group.

Links らの transmission factor =  $e^{-0.15d}$  (d: 胸壁から左室重心までの距離) を用いた。

心臓のポンプ作用を評価する上で収縮末期圧容積関係は前負荷, 後負荷の影響をうけないことが知られている<sup>40)</sup>。また, 右心室においても同様な収縮末期圧容積関係の負荷独立性が証明されている<sup>41)</sup>。また, 1975年に Mahler ら<sup>42)</sup>は, イヌの実験から, 左心室の収縮末期圧直径関係は負荷独立性で, 収縮性を表現すると報告した。次いで1977年に Grossman ら<sup>13)</sup>が, 正常, 軽症, 重症不全心患者の収縮末期圧容積関係が, 重症なほど右下方に位置することを報告した。我々の結果においても, 症例9の3枝病変を有する前壁中隔心筋梗塞例で, ペーシング負荷により左室収縮末期

圧容積関係は右下方へ偏位した。これはペーシング負荷により心筋虚血が生じたため, 左室の収縮性の低下をきたした結果と思われる。またこの症例では, 最大ペーシング負荷時, 明らかな症状や心電図変化がみられないにもかかわらず, 上記の結果が得られたことは, 収縮末期圧容積関係が虚血を鋭敏に反映しうることが示唆された。肺梗塞例において, 右室の圧・容積ループが拡大し, 右室への荷重の存在が示唆されたが, 左心機能の低下は認められなかった。肺疾患では, 低酸素血症, アシドーシスなどにより左室の心筋収縮力は低下するとの報告もあるが, Steele ら<sup>43)</sup>は冠動脈疾患が合併しない限り, 左心機能は正常であると報告しており, 我々のデータもそれを支持する結

果であった。

Case 15 の大動脈弁狭窄症では、左心室内圧が約 300 mmHg と著明に高く、左室圧・容積ループは著しく拡大し、左室への荷重が認められた。McKay ら<sup>12)</sup>の報告と同じように一回仕事量は左室は右室の約 5 倍、収縮係数では約 15 倍と、我々の想像以上に左室の荷重が大きかった。

Fig. 7 の回帰直線は、陳旧性心筋梗塞群のものであるが、この直線上に心臓神経症例も存在し、発症後 1 ヶ月以上経過し合併症のない心筋梗塞例では、左右心室機能のバランスはほぼ心臓神経症例と同様に保たれていると思われた。しかし、Fig. 9 に示すように、陳旧性心筋梗塞群の左室の CNTI は心臓神経症例よりも低値を呈し、左室の収縮力は心臓神経症よりも陳旧性心筋梗塞では劣っていると考えられた。

以上のごとく、心プールシンチグラフィおよび心臓カテーテル検査より求めた左・右心室の圧・容積ループと 1 回仕事係数、分時仕事係数、収縮係数は、各心室の機能および両心室の相互関係、依存性を評価する上で有力な手段であった。

## 要 約

各種心疾患における左室および右室の機能とその両者の相互関係、相互依存性を検討することを目的とした。対象は陳旧性心筋梗塞 11 例、非閉塞性肥大型心筋症 2 例、大動脈弁狭窄症 1 例、肺梗塞症 1 例、肺梗塞兼下壁心筋梗塞 1 例、心臓神経症 1 例の計 17 例であった。圧情報はカテーテルにより、容量情報は心プールシンチにより測定し、両心室の圧・容積ループを作成した。なお、圧データ収集時および心プールシンチグラフィ撮像時の心拍数を一致させるため、高位右房ペーシングを行った。さらに 2 ないし 3 段階にペーシングレートを変化させ、ペーシング負荷も行った。左右心室の圧・容積ループより、両心室の一回仕事係数、分時仕事係数、収縮係数の算出を行った。横軸に右室の、縦軸に左室の一回仕事係数、分時仕事係数、収縮係数をとったグラフ上でみると、

大動脈弁狭窄症はどの指標のグラフでも著しく左上方に位置し、肺梗塞症は右下方に位置した。三枝病変を有する前壁中隔心筋梗塞症では、ペーシング負荷により圧・容積ループ上の収縮末期圧容積関係の点が右下方へ低下した。これは左室に虚血を生じ収縮力の低下をきたしたためと考えられた。陳旧性心筋梗塞症では、ペーシング負荷によりループは左右心室とも左方に移動する傾向があり、またペーシングレートの増加に伴って一回仕事係数、分時仕事係数、収縮係数は、両心室で減少する傾向を認めた。左右心室の一回仕事係数および分時仕事係数には有意な正相関を認め、左右心室間でバランスが保たれていると考えられた。しかし、左室収縮力は心臓神経症より、梗塞群で低値を示し、梗塞群の左室収縮力の低下が示された。

心プールシンチグラフィと心臓カテーテル検査併用により求めた左右心室の圧・容積ループと、それらから算出した各種の指標は、心室の機能および、両心室間の相互関係、相互依存性を評価する上で、有力な手段と思われた。

## 文 献

- 1) Katz LN: The performance of the heart. *Circulation* 21: 483-498, 1960
- 2) Monroe RG, French GN: Left ventricular pressure-volume relationships and myocardial oxygen consumption in isolated heart. *Circ Res* 9: 362-374, 1961
- 3) Taylor RR, Covell JW, Ross J Jr: Volume-tension diagrams of ejecting and isovolumic contractions in left ventricles. *Am J Physiol* 216: 1097-1102, 1969
- 4) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circ Res* 32: 314-322, 1973
- 5) Suga H, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. *Circ Res* 35: 117-126, 1974
- 6) Suga H, Sagawa K, Kostiuik DP: Control of ventricular contractility assessed by pressure-

- volume ratio, *Emax*. *Cardiovasc Res* **10**: 582-592, 1976
- 7) Sagawa K, Suga H, Shoukas AA, Bakalar KM: End-systolic pressure/volume ratio: A new index of ventricular contractility. *Am J Cardiol* **40**: 748-753, 1977
  - 8) 菅 弘之, 山越憲一: イヌ左心室の圧容積関係. 呼と循 **24**: 291-299, 1976
  - 9) Konstam MA, Cohen SR, Salem DN, Conlon TP, Isner JM, Das D, Zile MR, Levine HJ, Kahn PC: Comparison of left and right ventricular end-systolic pressure-volume relations in congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol* **5**: 1326-1334, 1985
  - 10) Adachi H, Sugihara H, Katsume H, Ijichi H, Miyanaga H, Torii Y, Ochiai M: Analysis of end-systolic pressure-volume relation by gated radionuclide angiography. *J Cardiogr* **12**: 451-460, 1982 (in Japanese)
  - 11) Magorien DJ, Shaffer P, Bush CA, Magorien RD, Kolibash AJ, Leier CV, Bashore TM: Assessment of left ventricular pressure-volume relations using gated radionuclide angiography, echocardiography and micromanometer pressure recordings: A new method for serial measurements of systolic and diastolic function in Man. *Circulation* **67**: 844-853, 1983
  - 12) Mckay RG, Aroesty JM, Heller GV, Royal H, Parker JA, Silverman KJ, Kolodny GM, Grossman W: Left ventricular pressure-volume diagrams and end-systolic pressure-volume relation in human beings. *J Am Coll Cardiol* **3**: 301-312, 1984
  - 13) Grossman W, Brunwald E, Mann T, McLaurin LP, Green LH: Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation* **58**: 845-852, 1977
  - 14) Nivatpumin T, Katz S, Scheuer J: Peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio: A sensitive detector of left ventricular disease. *Am J Cardiol* **43**: 969-974, 1979
  - 15) Mehmel HC, Stockins B, Ruffmaun K, Olshausen K, Schuler G, Kübler W: The linearity of the end-systolic pressure-volume relationship in man and its sensitivity for assessment of left ventricular function. *Circulation* **63**: 1216-1222, 1981
  - 16) Sasayama S, Kotoura H: Echocardiographic approach for the clinical assessment of left ventricular function: The analysis of end-systolic pressure (wall stress) diameter relation and force-velocity relation of ejecting ventricle. *Jpn Circ J* **43**: 356-366, 1979
  - 17) Fujii J, Kuboki M, Watanabe H, Kato K: Comparative study of *Emax*, ejection fraction, Vcf and left ventricular function curve by echocardiography. *J Cardiogr* **10**: 451-458, 1980 (in Japanese)
  - 18) Itaya M, Takahashi H, Furuta Y, Ogata Y, Fujiyama M, Jinnouchi J, Koga Y, Utsu F, Toshima H: Clinical study of ventricular end-systolic dimension and systolic blood pressure/end-systolic dimension ratio as the indices of left ventricular function. *J Cardiogr* **11**: 529-541, 1981 (in Japanese)
  - 19) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, Kaiser R, Pfisterer M, Gordon D, Peterson K, Ashburn W: Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography: A new method. *Circulation* **60**: 556-564, 1979
  - 20) Links JM, Becker LC, Shindldecker JG, Guzman P, Burow RD, Nickoloff EL, Alderson P, Wagner HN: Measurement of absolute left ventricular volume from gated blood pool studies. *Circulation* **65**: 82-91, 1982
  - 21) 安野泰史, 竹内 昭, 江尻和隆, 古田敏也, 下方辰幸, 黒川 洋, 金子堅三, 近藤 武, 渡辺佳彦, 水野 康, 古賀祐彦: Count-based法を用いた平衡時心電図同期心プールシンチグラフィによる左室絶対容積の算出. 第一報. ファントム実験による検討. *核医学* **24**: 1717-1722, 1987
  - 22) 安野泰史, 竹内 昭, 江尻和隆, 古賀祐彦, 古田敏也, 下方辰幸, 黒川 洋, 金子堅三, 近藤 武, 渡辺佳彦, 水野 康: Count-based法を用いた平衡時心電図同期心プールシンチグラフィによる左室絶対容積の算出. 第二報. 臨床例による検討. *核医学* **24**: 1723-1729, 1987
  - 23) Suga H: Time course of left ventricular pressure-volume relationship under various end-diastolic volume. *Jpn Heart J* **10**: 509-515, 1969
  - 24) Suga H: Time course of left ventricular pressure-volume relationship under various extents of aortic occlusion. *Jpn Heart J* **11**: 373-378, 1970
  - 25) Suga H: Left ventricular time-varying pressure-volume ratio in systole as an index of myocardial inotropism. *Jpn Heart J* **12**: 153-160, 1971
  - 26) Suga H, Yamakoshi K: Effects of stroke volume and velocity of ejection on end-systolic pressure of canine left ventricle: End-systolic volume clamping. *Circ Res* **40**: 445-450, 1977
  - 27) Suga H, Yamakoshi K: Reduction of the duration of isovolumic relaxation in the ejecting left ventricle of the dog: Residual volume clamping. *J Physiol* **267**: 63-74, 1977

- 28) Suga H, Sagawa K: End-diastolic and end-systolic ventricular volume clamper for isolated canine heart. *Am J Physiol* **233**: H718-H722, 1977
- 29) Suga H, Kitabatake A, Sagawa K: End-systolic pressure determines stroke volume from fixed end-diastolic volume in isolated canine left ventricle under a constant contractile state. *Circ Res* **44**: 238-249, 1979
- 20) Suga H, Sagawa K: Accuracy of ventricular lumen volume measurement by intraventricular balloon method. *Am J Physiol* **236**: H507, 1979
- 31) Suga H, Sagawa K, Demer L: Determinants of instantaneous pressure in canine left ventricle: Time and volume specification. *Circ Res* **46**: 256-263, 1980
- 32) Baan J, van der Belde ET, DeBruin HG, Smeeck J, Van Dijk AD, Temmerman D, Sandon J, Buis J: Continuous measurement of left ventricular volume in animals and humans by conductance catheter. *Circulation* **70**: 812-823, 1984
- 33) Dodge HJ, Sandler H, Ballew DW, Lord JD Jr: The use of biplane angiocardigraphy for measurement of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **60**: 762-776, 1960
- 34) Reedy T, Chapman CB: Measurement of right ventricular volume by cineangiography. *Am Heart J* **66**: 221-225, 1963
- 35) Graham TP Jr, Jarmakani JM, Atwood GF, Canent RV Jr: Right ventricular volume determinations in children: Normal values and observation with volume or pressure overload. *Circulation* **47**: 144-153, 1973
- 36) Arcilla RA, Tsai P, Thilenius D, Ranniger K: Angiographic method for volume estimation of right and left ventricles. *Chest* **60**: 446-454, 1971
- 37) Fisher EA, DuBrow IW, Hastreiter AR: Right ventricular volume in congenital heart disease. *Am J Cardiol* **36**: 67-75, 1975
- 38) Nickoloff EL, Perman WH, Esser PD, Bashist B, Alderson PO: Left ventricular volume: Physical basis for attenuation correction in radionuclide determination. *Radiology* **152**: 511-515, 1984
- 39) Siegel JA, Maurer AH, Wu RK, Blasius KM, Denenberg BS, Gash AK, Carabello BA, Spann JF, Malmud LS: Absolute left ventricular volume by an interactive build-up factor analysis of gated radionuclide images. *Radiology* **151**: 477-481, 1984
- 40) Campbell K, Zeglen M, Kagehiro T, Rigas H: A pulsatile cardiovascular Computer model for teaching heart-blood vessel interaction. *The Physiologist* **25**: 155-162, 1982
- 41) Maughan WL, Shoukas AA, Sagawa K, Weisteld ML: Instantaneous pressure-volume relationship of the canine right ventricle. *Circ Res* **44**: 309-315, 1979
- 42) Mahler F, Covell JW, Ross J Jr: Systolic pressure-diameter relations in the normal conscious dog. *Cardiovasc Res* **9**: 447-455, 1975
- 43) Steele P, Ellis JH, Van Dyke D, Sutton F, Creagh E, Davis H: Left ventricular ejection fraction in severe chronic obstructive airway disease. *Am J Med* **59**: 21-28, 1975