

心疾患患者における動的運動負荷時の反応：“収縮期”圧容積面積による解析

Response of cardiac patients to dynamic exercise: Analysis with “systolic” pressure-volume area

八木 安生
後藤 紘司
大島 貞男
鷹津 久登
塚本 達夫
飯田 真美
山本 典孝
出口富美子
寺島 寧
平川 千里

Yasuo YAGI
Kohshi GOTO
Sadao OOSHIMA
Hisato TAKATSU
Tatsuo TSUKAMOTO
Mami IIDA
Noritaka YAMAMOTO
Fumiko DEGUCHI
Yasushi TERASHIMA
Senri HIRAKAWA

Summary

In the present study, we constructed a left ventricular pressure-volume loop from catheterization data and RN-angiocardiology. By connecting the point of origin of the plane, not the point of Vd, with the end-systolic point of the loop, we calculated a “systolic” pressure-volume area (PVA), elastic potential energy (EPE), and stroke work (SW). A cardiac output (CO)-pulmonary artery wedge (PAW) pressure plot was constructed at rest and during exercise, using a bicycle ergometer, to evaluate cardiac pump function. End-systolic volume (ESV) was obtained from the left ventricular P-V loop, and the response of ESV to exercise was investigated.

Thirty-five patients with various cardiac diseases were categorized in two groups according to the $\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW}$ obtained from the shift of the CO-PAW plot during exercise; group I (n=28) with the properly functioning hearts having the ratio >0.12 l/min/mmHg and group II (n=7) with the poorly functioning hearts having the ratio ≤ 0.12 l/min/mmHg. Group I was subdivided further into two subsets according to the changing pattern of ESV during exercise; group I-A with decreased or unchanged ESV (n=20) and group I-B with increased ESV in which end-diastolic volume (EDV) was increased during exercise (n=8).

During exercise, PVA and SW were unchanged but SW/PVA increased in group I-A, suggesting improvement of external mechanical efficiency. SW/PVA was unchanged in group I-B, despite

岐阜大学医学部 第二内科
岐阜市司町 40 (〒500)

The Second Department of Internal Medicine, Gifu University School of Medicine, Tsukasa-machi 40, Gifu 500

Received for publication September 22, 1988 and revised November 10, 1988; accepted December 10, 1988 (Ref. No. 34-PS37)

the increase in PVA and SW. This suggested that external mechanical work increased as a result of increased cardiac oxygen consumption.

In group II, PVA increased, SW was unchanged and SW/PVA decreased, which could be explained by the mechanism that external mechanical work during exercise decreased as compared with that at rest.

It was suggested that a different mechanism may have been responsible for the production of external mechanical work among patients in group I-A and in group I-B with properly functioning hearts judged from the CO-PAW plot.

Therefore, it seems useful to calculate PVA, SW and SW/PVA during exercise using the left ventricular pressure-volume loop for evaluating cardiac function.

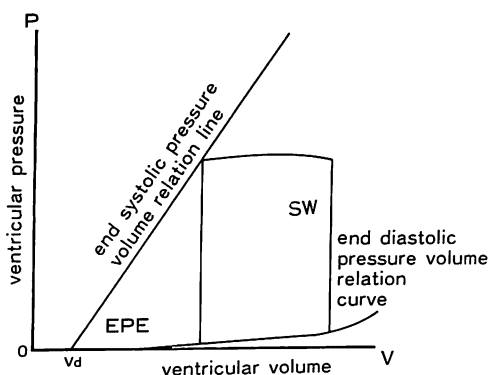
Key words

Response to dynamic exercise Pressure-volume area (PVA) Cardiac efficiency CO-PAW plot

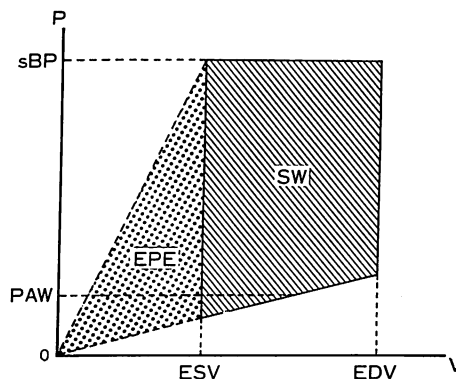
目 的

心筋の収縮により発生する総機械的エネルギーは、外的仕事と内的仕事の和である。総機械的エネルギーとは、収縮期圧容積面積 (pressure-volume area : PVA) で表され¹⁻³⁾、左心室の外的仕事 (external mechanical work) とは stroke work

(SW) を意味する。一方、内的仕事、すなわち弾性潜在エネルギー (elastic potential energy : EPE) とは、収縮末期圧容積直線と、拡張期圧容積関係曲線、および等容弛緩期容積で囲まれた三角形の面積のことである (Fig. 1)。収縮末期圧容積直線とは、後負荷のみを変化させたとき得られる収縮末期点と、これを延長した容積軸との交点



PVA = pressure volume area
 EPE = end systolic potential energy
 SW = external mechanical work or stroke work
 Vd = ventricular volume at which peak isovolumic pressure is zero



PVA = SW + EPE

$$SW = SV \times (sBP - PAW) \times 0.0136$$

$$EPE = \left[\frac{1}{2} (sBP \times ESV) - \frac{PAW \times (ESV)^2}{EDV + ESV} \right] \times 0.0136$$

Fig. 1. Pressure-volume loop and pressure volume area (PVA).

Pressure-volume loop and pressure volume area (PVA) proposed by Suga et al²⁾, illustrating relationship between external mechanical work and elastic potential energy (left). Pressure-volume loop constructed by substituting the point of origin for the point Vd and our equation for the calculation of external mechanical work and elastic potential energy (right).

(Vd)⁴⁻⁵⁾ とを結んだ直線である。また同じ外的仕事 (SW) を生じるために必要とする内的仕事は各症例ごとに異なり、総機械的エネルギーに占める外的仕事の比率も、外的仕事効率として心機能評価に重要である。しかし临床上、Vd を求める事は必ずしも容易ではない。

我々は、Vd の代わりに原点をとる方法の妥当性を検討し、次いで Swan-Ganz カテーテルと RN-ventriculography を用い、臥位自転車エルゴメーター負荷を行って、従来広く用いられる心拍出量 (CO)-平均肺動脈楔入圧 (PAW) 平面上に、安静時のプロットと運動負荷に伴うそのシフトを描いた。更に左室収縮期圧容積面積の概念を臨床応用して、左室容積変化パターンから運動負荷における心機能評価を試みた。

対象および方法

1. 症例とデータ採取

患者は各種心疾患患者 35 例 (陳旧性心筋梗塞 20 例, 狭心症 6 例, 拡張型心筋症 4 例, 肥大型心筋症 2 例, 弁膜症 1 例, 1 度房室ブロック 1 例, 心臓神経症 1 例) である。男 30 例, 女 5 例で、平均年齢は、 53.0 ± 10.3 (mean \pm SD) 歳であった。

方法は、右内頸静脈より Swan-Ganz カテー

テルを挿入し、安静時の平均肺動脈楔入圧 (pulmonary artery wedge pressure, 以下 PAW) と、熱希釈法による心拍出量 (cardiac output, 以下 CO) を求めた (Fig. 2)。動脈血圧はマンシユットを用いる水銀マンオメーターにより測定した。その後、臥位自転車エルゴメーターにより 25 W の軽度運動負荷 (心機能が悪いと思われた 6 例では 15 W の負荷) を行い、1 分ごとに PAW を、2 分ごとに血圧を測定した。そして、心拍数 (HR) と PAW から見て、quasi-steady state に達したと思われる 6~7 分後に再度心拍出量を求めた。

一方、左室容積は、RN アンジオ法による左室駆出率 (EF) と、これとは別に求められる一回拍出量 (SV) を用いて求めた (後記)。RN-ventriculography は、^{99m}Tc 赤血球体内標識法により右肘静脈より 20 mCi を静注し、Tc が平衡に達した 7 分後に、左右心室が最もよく分離できる modified-LAO により、心電図 R 波同期平衡時心プール scintigraphy を施行し、リストモードにて 5 分間データを採取した。運動負荷中のデータは運動負荷開始 1~2 分後、心拍数の安定を確認した後、同様にして 5 分間データを採取した。これらのデータは、島津製シンチパック 2400 にて 1 心拍を 30 msec ごとの volume curve に変換

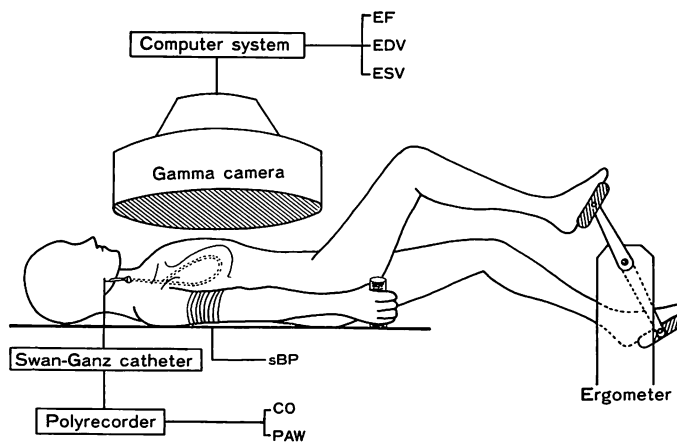


Fig. 2. Diagram showing the method of RN-angiography and of exercise using bicycle ergometer in the supine position.

した. 駆出率の算出の際, 左室 ROI は variable ROI 法によった. 一回拍出量 (SV) は熱希釈法による心拍出量を用いて $SV = CO/HR$ として算出した. 一方, 左室拡張末期および収縮末期容積 (EDV と ESV) は前述した RN アンジオによる駆出率と一回拍出量から, $EDV = SV/EF$, $ESV = EDV - SV$ の関係より求めた.

2. データの解析法

1. CO-PAW 平面による解析: 心拍出量を縦軸に, PAW を横軸にとり, 運動負荷前の PAW と心拍出量を CO-PAW 平面上にプロットし, 更に運動負荷時の PAW と心拍出量とをプロットし, これら 2 つのプロットを結び, シフトの傾き ($\Delta CO/\Delta PAW$) を各症例について求めた.

2. 簡便法として Vd の代わりに原点をとる方法の妥当性: Vd の代わりに原点を用い, 菅ら²⁾のデータの値と Fig. 1 の計算式により求めた値とを比較検討した.

3. 心室圧-容積 (P-V) ループによる解析: 収縮期血圧 (sBP) を左室収縮末期圧, PAW を拡張期圧とした. 縦軸に圧を, 横軸に容積をとり, 運動負荷前後の P-V ループを作製した (Fig. 1 右).

4. PVA, SW, SW/PVA の算出: 左室的仕事は, sBP を収縮末期圧, また左室拡張期圧は PAW として, 熱希釈法により求めた一回拍出量から算出した (Fig. 1). 弾性潜在エネルギー算出を行う場合, 原点と収縮末期ポイントを結んでこれを収縮末期圧容積直線とし, 左室拡張期圧容積関係曲線を直線とみなし, PAW をこの直線上の圧で, かつ, EDV と ESV の中間の心室容積時の左室圧とした (Fig. 1).

$$SW = SV \times (sBP - PAW) \times 0.0136$$

$$EPE = [1/2 (sBP \times ESV) - (PAW \times ESV^2) / (EDV + ESV)] \times 0.0136$$

PVA (=SW + EPE) および PVA に占める SW の比率, すなわち外的仕事効率 (SW/PVA) を 100 分率にて求めた.

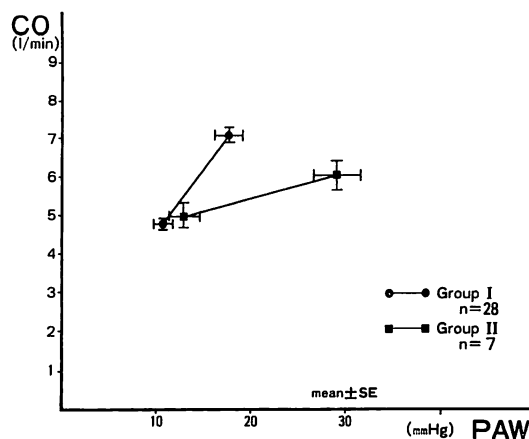


Fig. 3. CO-PAW plot and its shift with ergometer exercise in the two groups.

There was no significant difference in CO-PAW plots between groups I and II at rest. However, a significant difference appeared during exercise, and deterioration of cardiac pump function was suggested in group II.

結 果

1. CO-PAW 平面による解析

全 35 例の PAW と CO を CO-PAW 平面上にプロットし, 運動に伴うそのシフトの傾き ($\Delta CO/\Delta PAW$) により, 症例を 2 群に分類した. すなわちこの傾きが 0.12 l/min/mmHg 以上で, 左心ポンプ機能良好と思われる群 (I 群: 28 例) と, それ以下で, 左心ポンプ機能が悪いと思われる群 (II 群: 7 例) である. Fig. 3 に各群の CO-PAW プロットの平均値と標準誤差, および運動に伴うそのシフトを示した.

2. 簡便法として, Vd の代わりに原点をとる方法の妥当性

菅ら²⁾の Vd は $3.0 \pm 0.7 \text{ ml}$ (mean \pm SE) であり, 本研究での Vd = 0 ml と大差なかった. 本稿の PVA は $1126 \pm 75 \text{ mmHg} \cdot \text{ml/beat}$ (菅ら: 1022 ± 62), SW/PVA は $59 \pm 2\%$ (菅ら: 64 ± 2) であった. 本報での SW/PVA は, Vd と結んだ場合に比し, $5.6 \pm 1.7\%$ 低い値であった (Table 1).

Table 1. The values PVA, SW/PVA and Vd obtained from the original paper of Suga²⁾ and PVA and SW/PVA obtained by the present authors

	PVA (mmHg·ml/beat)		SW/PVA (%)		Vd (ml)**
	SUGA	Present authors	SUGA*	Present authors	
1	982	1187	84	70	7.4
2	455	415	75	82	3.2
3	614	651	84	79	2.9
4	1390	920	83	56	8.0
5	920	1165	78	61	5.1
6	1095	1125	68	67	0.8
7	912	750	58	72	-5.4
8	977	1021	61	59	1.3
9	605	643	74	70	2.2
10	1596	1640	55	54	1.1
11	1258	1093	39	45	6.6
12	1627	1850	49	43	4.5
13	1056	1341	60	47	8.1
14	1090	1159	69	65	2.0
15	1050	1152	59	54	2.6
16	984	1380	77	55	9.9
17	100	122	73	60	2.9
18	840	936	46	41	2.4
19	962	1128	62	53	4.2
20	979	1170	64	54	4.2
21	1480	1290	36	42	-5.1
22	1830	1740	49	52	-1.8
23	1200	1050	48	54	-5.0
24	790	840	71	67	2.5
25	1090	1536	75	53	11.2
26	1170	1225	54	51	1.6
27	870	840	64	67	-1.5
28	1250	1441	69	60	5.2
29	790	911	70	60	3.5
30	800	900	75	67	4.0
	1025±65	1126±75	64±2	59±2	3.0±0.7 (Mean±SE)

PVA=pressure-volume area; SW=stroke work; Vd=volume axis intercept of end-systolic pressure-volume relation line.

* In Suga's paper²⁾ both SW and PVA values were given, but the ratio SW/PVA was not given.

** Calculated from Suga's paper as follows: EPE was obtained by subtracting SW from PVA. Vd was obtained from peak pressure and EPE.

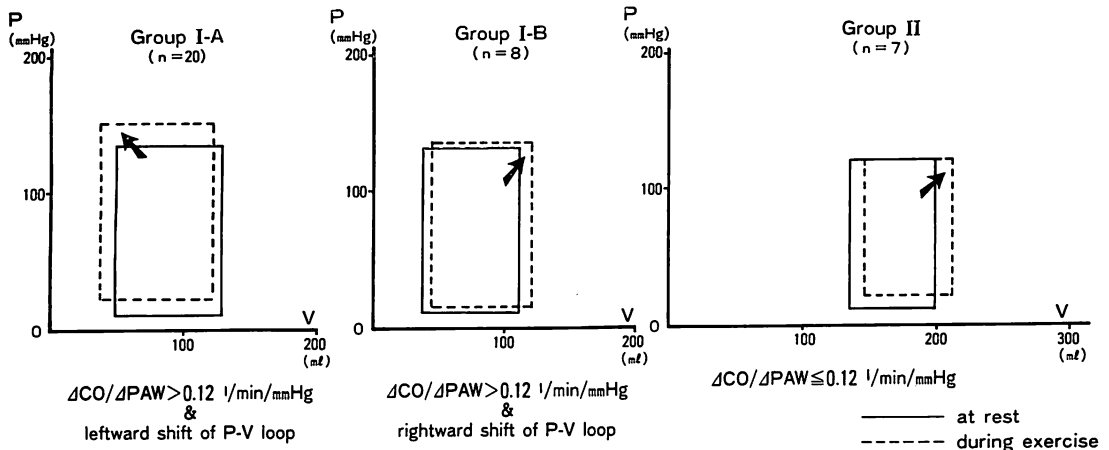


Fig. 4. Changes in left ventricular pressure volume loop in response to exercise in the 3 groups.

3. 左室圧-容積ループ

安静時および負荷中の左室 P-V ループを作製した。I 群には、安静時に比し負荷中の収縮末期点が左上方に移動する群 (ESV の減少する症例; I-A 群) と、然らざる症例 (I-B 群) があった。I-B 群のほとんどの症例は、運動負荷中の収縮末期点が逆に右上方に移動し、ESV は増加した。したがって CO-PAW 平面と P-V ループを用いる事により、Fig. 4 に示す 3 群に分類された。I-A, I-B および II 群各症例の血行動態諸量を Table 2 に示した。

4. PVA, SW, SW/PVA の算出

各群における PVA, SW および SW/PVA を Table 3, Figs. 5~7 に示した。PVA は安静時すでに II 群で I 群に比し有意に高値であった。PVA は運動負荷中 I-B 群は有意な増加を示したが、他の 2 群では有意な変化はなかった。SW は安静時および運動負荷中ともに各群間に有意差を認めなかったが、運動負荷により I-B 群でのみ有意に増加した。SW/PVA は運動負荷により I-A 群で有意に増加し、仕事効率が良くなったが、I-B 群では有意な変化を認めなかった。一方、II 群では安静時すでに SW/PVA の低下を認め、運

動負荷により更に有意に低下した (Table 4)。

考 察

運動負荷時の心機能は心予備能の評価上、重要である。特に虚血性心疾患では、心予備能の評価のみならず、診断および重症度評価にも利用されている。我々は運動負荷時の心機能評価法として、CO-PAW 平面における $\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW}$ を用いた解析法によって症例を 2 群に分類した。今回の症例において、Fig. 3 に示す II 群では、安静時には正常な心ポンプ機能を有するが、運動負荷によりかなりの PAW の上昇があるにもかかわらず、CO の増加はほとんどなく、心予備能がかなり低下しているものと思われる。これに対し、I 群の 28 例は、 $\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW}$ 法で評価する限り、心ポンプ機能の悪化を認めないものと思われた。しかし P-V ループを用いて心機能評価を行うと、運動負荷中収縮末期点が左上方に移動し ESV の減少する I-A 群と、右上方に移動し EDV の増加する I-B 群に分類可能であった。

左室心筋の収縮により発生する心筋の酸素消費量は PVA に比例する⁶⁾。すなわち、同一症例で運動負荷による PVA の変化を知ることは、心筋の

Table 2. Physiological and hemodynamic data at rest and during exercise

Name	Age Sex	Diag.	Ao (mmHg)		PAW (mmHg)		EDV (ml)		ESV (ml)		SV (ml)	
			R	E	R	E	R	E	R	E	R	E
Group I-A ($\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW} > 0.12$ l/min/mmHg; decrease or no change in ESV during exercise)												
T. A.	51 M	OMI	134/70	150/90	11	23	128	121	50	38	78	83
Y. M.	39 F	AR	142/88	158/94	10	20	101	91	22	16	79	75
M. I.	27 M	OMI	108/60	122/66	14	22	222	155	127	69	95	86
M. T.	55 M	HCM	114/70	130/88	7	14	154	154	74	70	80	84
H. K.	61 M	OMI	180/100	178/98	7	10	86	80	25	16	61	64
H. Y.	60 M	OMI	138/76	142/80	13	26	243	200	154	119	89	81
K. T.	53 M	DCM	134/90	150/100	14	25	271	227	175	141	96	86
S. I.	66 M	OMI	140/98	158/98	7	12	102	106	49	46	53	60
M. S.	50 F	OMI	170/100	170/104	8	11	132	121	66	50	66	71
H. N.	62 M	OMI	136/86	170/100	15	29	127	118	49	26	78	92
S. E.	68 M	OMI	140/90	160/104	5	12	136	137	70	61	66	76
H. O.	57 M	AP	122/84	132/86	11	17	93	113	27	26	66	87
A. A.	53 M	DCM	120/80	136/86	20	29	265	197	212	146	52	51
T. T.	46 F	NCA	146/88	160/106	6	8	128	134	52	51	76	83
T. O.	49 M	OMI	120/70	126/92	12	24	166	165	79	68	87	97
T. K.	34 M	OMI	130/78	128/88	6	8	116	105	32	21	84	84
S. U.	73 M	AP	140/78	110/76	3	7	142	145	57	57	85	88
H. F.	54 M	AP	134/88	142/70	17	23	148	138	53	27	95	111
R. K.	68 M	HCM	154/86	158/104	19	35	128	118	29	18	99	100
N. T.	50 M	A-VB	124/77	132/82	11	16	109	113	45	43	64	70
Group I-B ($\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW} > 0.12$ l/min/mmHg; increased in ESV during exercise)												
G. Y.	59 M	OMI	128/90	136/96	10	15	206	254	115	147	91	107
M. Y.	54 F	OMI	150/88	148/74	10	24	122	134	61	66	61	68
M. G.	56 M	OMI	145/85	155/105	14	24	207	259	145	180	62	79
R. M.	47 F	OMI	132/80	136/70	12	16	106	120	34	44	72	76
N. O.	50 M	OMI	138/90	152/92	8	13	149	171	58	74	91	97
M. F.	64 M	OMI	116/76	146/80	6	10	160	191	76	95	84	115
N. F.	29 M	DCM	128/86	136/86	25	28	119	164	70	93	49	71
H. N.	61 M	DCM	156/104	202/110	5	8	74	92	30	32	44	60
Group II ($\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW} \leq 0.12$ l/min/mmHg)												
T. M.	62 M	AP	120/40	140/52	21	30	155	174	67	84	88	90
J. U.	58 M	AP	160/100	176/110	8	25	221	256	133	151	88	105
S. K.	58 M	OMI	120/84	120/86	13	21	202	212	135	146	67	66
N. K.	46 M	OMI	146/90	154/92	13	37	246	336	180	271	66	65
K. Y.	51 M	OMI	118/80	120/90	15	35	299	369	211	293	88	76
Y. K.	53 M	OMI	140/90	154/96	13	32	362	386	313	335	49	51
Y. M.	59 M	AP	160/100	176/96	10	25	140	128	46	53	94	75

OMI=old myocardial infarction; AP=angina pectoris; DCM=dilated cardiomyopathy; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; AR=aortic regurgitation; NCA=neurocirculatory asthenia; A-VB=A-V block; Ao=aortic pressure; PAW=pulmonary artery wedge pressure; EDV=end-diastolic volume; ESV=end-systolic volume; SV=stroke volume; CO=cardiac output; R=at rest; E=during exercise.

Table 3. Stroke work (SW), pressure-volume area (PVA) and SW/PVA at rest and during exercise

Name	Age Sex	Diag.	SW (joule)		PVA (joule)		SW/PVA (%)	
			R	E	R	E	R	E
Group I-A								
T. A.	51 M	OMI	131	144	172	176	76	82
Y. M.	39 F	AR	142	140	164	157	87	89
M. I.	27 M	OMI	122	118	207	168	76	82
M. T.	55 M	HCM	116	122	173	184	67	66
H. K.	61 M	OMI	144	146	174	165	83	88
H. Y.	60 M	OMI	151	129	285	226	53	57
K. T.	53 M	DCM	159	145	306	269	52	54
S. I.	66 M	OMI	97	119	142	165	68	72
M. S.	50 F	OMI	146	154	221	209	66	74
H. N.	62 M	OMI	128	177	171	206	75	86
S. E.	68 M	OMI	122	154	188	217	65	71
H. O.	57 M	AP	100	137	120	157	83	87
A. A.	53 M	DCM	72	74	218	186	33	40
T. T.	46 F	NCA	143	172	186	224	77	77
T. O.	49 M	OMI	127	135	183	182	69	74
T. K.	34 M	OMI	142	137	169	154	84	89
S. U.	73 M	AP	159	123	210	166	76	74
H. F.	54 M	AP	151	179	193	179	78	89
R. K.	68 M	HCM	181	167	181	167	67	92
N. T.	50 M	A-VB	98	110	98	110	74	76
		Mean \pm SE	131 \pm 6	139 \pm 6	188 \pm 11	183 \pm 8	70 \pm 3	75 \pm 3
Group I-B								
G. Y.	59 M	OMI	146	176	239	250	61	58
M. Y.	54 F	OMI	115	115	175	172	66	67
M. G.	56 M	OMI	111	141	242	307	46	46
R. M.	47 F	OMI	118	123	148	162	80	76
N. O.	50 M	OMI	162	184	213	255	76	72
M. F.	64 M	OMI	125	178	181	269	69	66
N. F.	29 M	DCM	69	105	119	172	58	61
H. N.	61 M	DCM	91	156	121	201	75	78
		Mean \pm SE	124 \pm 11	153 \pm 12	193 \pm 20	237 \pm 22	66 \pm 4	65 \pm 3
Group II								
T. M.	62 M	AP	120	134	169	203	71	66
J. U.	58 M	AP	183	215	321	377	57	57
S. K.	58 M	OMI	98	89	201	190	49	47
N. K.	46 M	OMI	119	104	284	326	42	32
K. Y.	51 M	OMI	123	188	274	268	45	33
Y. K.	53 M	OMI	85	85	352	367	24	23
Y. M.	59 M	AP	192	149	240	204	80	73
		Mean \pm SE	112 \pm 21	89 \pm 18	248 \pm 30	238 \pm 43	47 \pm 8	40 \pm 8

OMI=old myocardial infarction; AP=angina pectoris; DCM=dilated cardiomyopathy; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; AR=aortic regurgitation; NCA=neurocirculatory asthenia; A-VB=A-V block; SW=stroke work; PVA=pressure-volume area.

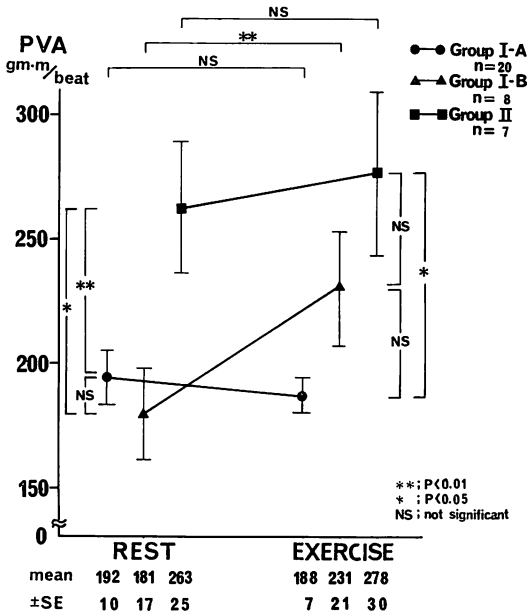


Fig. 5. Comparison of pressure-volume area (PVA) in ergometer exercise among the 3 groups.

PVA at rest was greater in group II than in groups I-A or I-B, and there was a significant increase of PVA during exercise in group I-B.

酸素消費量の変化を見ることでもある。また、外的仕事効率を知ることも心機能評価のよい指標である。しかし、臨床例において Vd を求めることは困難である。そこで Vd の代わりに原点とを結んだ簡易法を用いた。この簡易法では PVA をやや過大に、SW/PVA をやや過少に評価する傾向にあったが、臨床においては、十分応用可能であると考えられた。また Grossman ら⁷⁾や篠山ら⁸⁾によると、EF が 40% 以下の心不全症例では、Vd は 50 ml 近くまで増加する。今回の症例でも II 群の症例では EF が 40% 以下の症例が多く、Vd の増加があると考えられる。しかし、仮に II 群の EF 40% 以下の 4 例において Vd=50 ml と仮定し、Vd=0 ml との SW/PVA を比較すると、Vd=0 ml の場合の方が 6.0±1.1% 過少評価するに過ぎない。したがって Vd の代わりに原点を

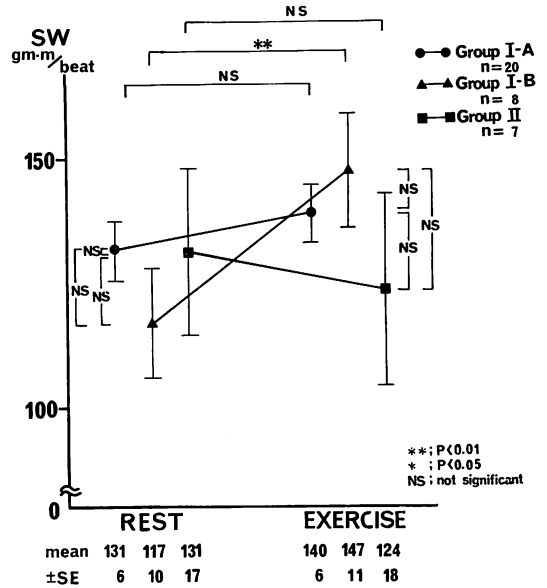


Fig. 6. Comparison of stroke work (SW) in ergometer exercise among the 3 groups.

There was no significant difference in SW among the 3 groups at rest and during exercise; whereas, SW increased significantly during exercise in group I-B.

取ることは、若干問題はああるものの、同一症例において、Vd は一定と考えられ、臨床において運動負荷による変化を問題にすると、その変化率に Vd の及ぼす影響は、ほとんど無視できるものと考えられる。

各群の PVA, SW, SW/PVA の変化については以下のように考察される。I-A 群では、運動負荷により PVA の増加なく、SW は有意差を認めないがやや増加し、SW/PVA は有意に増加した。すなわち、心筋の酸素消費量をあまり増やすことなく、外的仕事効率が高まっていた。I-B 群では、SW のみならず、PVA も運動負荷中有意に増加したが、SW/PVA は変化を認めなかった。言いかえるならば、外的仕事効率を高めることができないため、心筋の酸素消費量を増加し、それにつれて外的仕事を増加していると思われた。II 群では安静時すでに PVA が増加しているが、SW

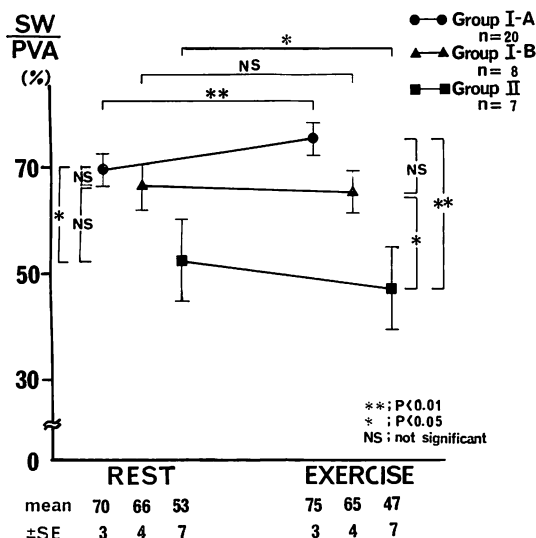


Fig. 7. Comparison of SW/PVA in ergometer exercise among the 3 groups.

The SW/PVA increased significantly in group I-A and did not decrease significantly in group I-B during exercise. It decreased significantly in group II compared with groups I-A and I-B.

Table 4. Summary of changes in PVA, SW and SW/PVA in response to ergometer exercise in the 3 groups

	PVA	SW	SW/PVA
I-A	→	↗	↑
I-B	↑	↑	→
II	↑	→	↓

は他の2群と同じであった。また SW/PVA は、安静時すでに低値を示し負荷により更に有意に低下し、外的仕事効率が低下していた。特に II 群の7例中5例で、運動負荷により逆に外的仕事の減少を認め、これらの症例では、安静時、すでに内的仕事を増加させて外的仕事を行っており、運動負荷により有効な外的仕事の増加をなし得ず、心機能不全状態になっている可能性があるものと思われた。

このように、安静時および負荷中の左室 P-V ループを用いて PVA, SW, SW/PVA を算出することにより、Fig. 3 に示す I 群のように、CO-PAW 平面において心ポンプ機能を評価した場合は、正常と思われる症例においても、I 群中の A, B 群のように、異なる反応をしている2群があり、左室 P-V ループは運動負荷による軽度の心機能低下を判別し得る良い方法であると思われた。

結 語

RN-angiocardiology と Swan-Ganz カテテル法を用いて臥位自転車エルゴメータ負荷を行った。

1. CO-PAW 平面において、運動負荷による傾き ($\Delta CO/\Delta PAW$) により、 $\Delta CO/\Delta PAW > 0.12 \text{ l/min/mmHg}$ の I 群と、 $\Delta CO/\Delta PAW \leq 0.12 \text{ l/min/mmHg}$ の II 群が区別された。
2. 安静時と負荷中の左室圧-容積関係より、I 群は更に運動負荷により ESV が減少する I-A 群と、ESV および EDV の増加する I-B 群に分類された。
3. 以上の3群の安静時と運動負荷中の左室圧-容積関係より PVA および SW を算出し、SW/PVA を比較した結果、I-A 群では SW/PVA は有意に増加し、I-B 群では変化を認めなかった。II 群ではこの値が有意に低下していた。

要 約

Swan-Ganz catheter と RN-angiocardiology を用いて左室圧-容積ループを描き、菅らの Vd の代りに簡便法として原点をとり、原点とループ上の収縮末期点を結んだ直線を用いて“収縮期”圧容積面積 (PVA), 内的仕事 (EPE) および外的仕事 (SW) の算出を試みた。心拍出量 (CO)-平均肺動脈楔入圧 (PAW) 平面上の安静時および負荷中のプロットと、圧-容積ループより求めた左室収縮末期容積 (ESV) の変化を組み合わせ、全 35 症例を、3 群に分類し、各群の運動負荷前後の PVA, SW, SW/PVA を求めた。

各種心疾患患者 35 名を対象に臥位自転車エルゴメーター負荷を行うと、CO-PAW 平面上、 $\Delta\text{CO}/\Delta\text{PAW} > 0.12 \text{ l/min/mmHg}$ の心ポンプ機能良好群 (I 群) とそれ以下の心ポンプ機能低下群 (II 群) に分かれた。他方、左室圧-容積ループを用いた場合、心ポンプ機能良好群は、運動負荷により ESV が減少するか不変に留まる I-A 群と、ESV が増加する I-B 群 (EDV も増加) とに分かれた。

各群の運動負荷による変化では、I-A 群では、PVA, SW は有意に変化せず、SW/PVA のみ有意に増加した。すなわち、外的仕事効率が高まっていた。I-B 群では、PVA および SW はともに増加したが、SW/PVA は変化せず、すなわち心筋の酸素消費量の増加に見合うように運動負荷時の外的仕事量を増加させていた。II 群では PVA は増加し、SW は変化なく、SW/PVA は有意に低下した。すなわち、運動負荷時には、安静時に比し有効な外的仕事の増加をなし得なくなっていた。

このように、CO-PAW 平面においては心ポンプ機能が正常と思われた症例においても、I-A と I-B の差のごとく、異なる“反応”により同じ外的仕事を作りだしている事を知った。運動負荷による簡易左室圧-容積ループを用いて PVA, SW, SW/PVA を算出することは、心機能評価に有用と思われた。

文 献

- 1) Suga H: Total mechanical energy of a ventricle model and cardiac oxygen consumption. *Am J Physiol* **236**: H498-H505, 1979
- 2) Suga H, Hayashi T, Suehiro S, Hisano R, Shirahata M, Ninomiya I: Equal oxygen consumption rates of isovolumic and ejecting contractions with equal systolic pressure-volume areas in canine left ventricle. *Circ Res* **49**: 1082-1091, 1981
- 3) Suga H, Yamada O, Goto Y: Energetics of ventricular contraction as traced in the pressure-volume diagram. *Fed Proc* **43**: 2411-2413, 1984
- 4) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure volume ratio of the 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, Hayashi T, Shirahata M: Ventricular systolic pressure-volume area as predictor of cardiac oxygen consumption. *Am J Physiol* **240**: H39-H44, 1981
- 7) Grossman W, Braunwald E, Mann T, McLaurin LP, Green LH: Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation* **56**: 845-852, 1977
- 8) 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**: 357-366, 1979