

左室収縮末期圧-後壁厚 (P-W) 関係 (第 2 報): P-W 関係と左室収縮能の指標との検討

Left ventricular end-systolic pressure-posterior wall thickness (P-W) relation: II. A study on P-W relation and other indices of left ventricular performance

藤井 崇史
久萬田俊明
松崎 益徳
三浦 俊郎
森谷浩四郎
河野 通裕
片山 和裕
吉野 文雄
塔間 陽一
佐々木 徹
小川 宏
尾崎 正治
松田 泰雄
楠川 禮造

Takashi FUJII
Toshiaki KUMADA
Masunori MATSUZAKI
Toshiro MIURA
Kohshiro MORITANI
Michihiro KOHNO
Kazuhiro KATAYAMA
Fumio YOSHINO
Yoichi TOHMA
Tohru SASAKI
Hiroshi OGAWA
Masaharu OZAKI
Yasuo MATSUDA
Reizo KUSUKAWA

Summary

In 32 patients (pts) including 5 normal subjects (C group), left ventricular (LV) pressure was measured using a Millar's catheter-tip transducer simultaneously with LV posterior wall thickness (W) by echocardiography. The slope (S) of left ventricular end-systolic pressure-wall thickness (P-W) relation, % wall thickening (%WT), mean wall thickening velocity (mean Vwth), wall excursion (WE) and Emax were measured. Compared to the control group (C group), S, %WT, and mean Vwth, all were significantly lower in patient groups with NYHA functional class III-IV (D group) [S (-32.0 ± 5.3 mmHg/mm, -13.7 ± 2.9 mmHg/mm; $p < 0.001$), %WT ($63.2 \pm 13.2\%$, $30.2 \pm 6.2\%$; $p < 0.01$),

山口大学医学部 第二内科
宇部市西区小串 1144 (〒755)

The Second Department of Internal Medicine,
Yamaguchi University School of Medicine, Kogushi
1144, Nishi-ku, Ube 755

Presented at the 23rd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kurume, October 8-10, 1981
Received for publication March 22, 1982

mean Vwth (1.4 ± 0.3 cm/sec, 0.9 ± 0.3 cm/sec; $p < 0.05$), while WE did not show a significant difference between C and D groups. S was correlated significantly with %WT and mean Vwth ($p < 0.05$), but insignificantly with WE. This suggests that S, %WT, mean Vwth are useful in evaluating left ventricular function, and especially S is more sensitive in separating both groups than the other two indices (%WT and mean Vwth). S was directly related to Emax ($p < 0.001$). Thus, it is suggested that S is sensitive in detecting changes in whole left ventricular contractility as well as in regional myocardial contractility.

Key words

End-systolic pressure-wall thickness relation function

Myocardial contractility

Wall thickness

Pump

はじめに

心機能評価に対し、心室壁厚測定の有用性に関する報告は数多い¹⁻¹²⁾。Percent wall thickening, wall excursion, mean wall thickening velocity はいずれも正常心および病的心における局所心機能評価に有用な指標とされてきた。その反面、これらの指標はいずれも心拍数、前負荷、後負荷の影響を受けるため、心筋の収縮性をこれらの指標から評価するには限界があった¹⁻¹²⁾。一方我々は、左室収縮末期圧-後壁厚 (P-W) 関係から求めた勾配 (S) が、左室収縮性を反映する良い指標となり得ることを報告した^{13,14)}。今回は P-W 関係より求めた S を percent wall thickening, mean wall thickening velocity, wall excursion および左室収縮性の指標 Emax と比較することにより、局所心筋収縮性評価の指標としての P-W 関係の有用性について検討してみた。

方 法

対象は右心および左室カテーテルを施行した各種心疾患例 32 例 (対象群 5 例, 弁膜症 14 例, 心筋症 7 例, 虚血性心疾患 6 例) である。全例に Millar 製カテ先マノメーター (7F, PC-471) を使用して左室内圧 (P) を得、左室後壁厚 (W), dP/dt, II 誘導心電図, 左室心内音とともに、E for M 製 VR-12 で同時記録した (Fig. 1)。心内圧計測の 0 level の設定および calibration は既報のごとく行った^{13,14)}。心エコー図は E for M 製 echo-

cardiograph amplifier (mode V 3280) を用い、仰臥位安静呼吸停止にて記録した。常に左室後壁の同じ部位を検出するために、心基部から心尖部までを M-mode scan し、僧帽弁直下で最短内径を示し、かつ心内膜と心外膜が最も鮮明に検出される方向に超音波ビームを固定した^{14,15)}。心内膜と心外膜の同定が不明瞭な症例は対象から除外した。

記録装置は前記のごとく E for M 製 VR-12 multichannel recorder を使用し、紙送り速度は 100 mm/sec である。薬物負荷前の定常状態における左室内圧、左室後壁、dP/dt, II 誘導心電図、心内心音を同時記録後、後負荷を変化させる目的で angiotensin (20 ng/kg/min) または nitroprusside (1 γ /kg/min) を静脈内に持続点滴注入した。左室最高収縮期圧が約 30 mmHg 上昇 (19 例) または約 30 mmHg 低下 (24 例) した所で定常状態に維持し、その間に再び左室内圧、左室後壁を心電図、心音図、dP/dt と同時記録した。この負荷法により、11 例で 3 種 (control, nitroprusside, angiotensin), 21 例で 2 種 (control および nitroprusside または angiotensin) の異なったレベルにおける後負荷状態で、左室内圧と後壁厚を求めた。

計測したパラメーターは control, afterload 変化時の左室収縮末期圧 (ESP), 左室最大収縮期圧 (PSP), 左室拡張末期圧 (EDP), 左室拡張末期壁厚 (EDWT), 左室収縮末期壁厚 (ESWT) である。既報のごとく、得られた左室圧 (Y)-壁厚 (X)

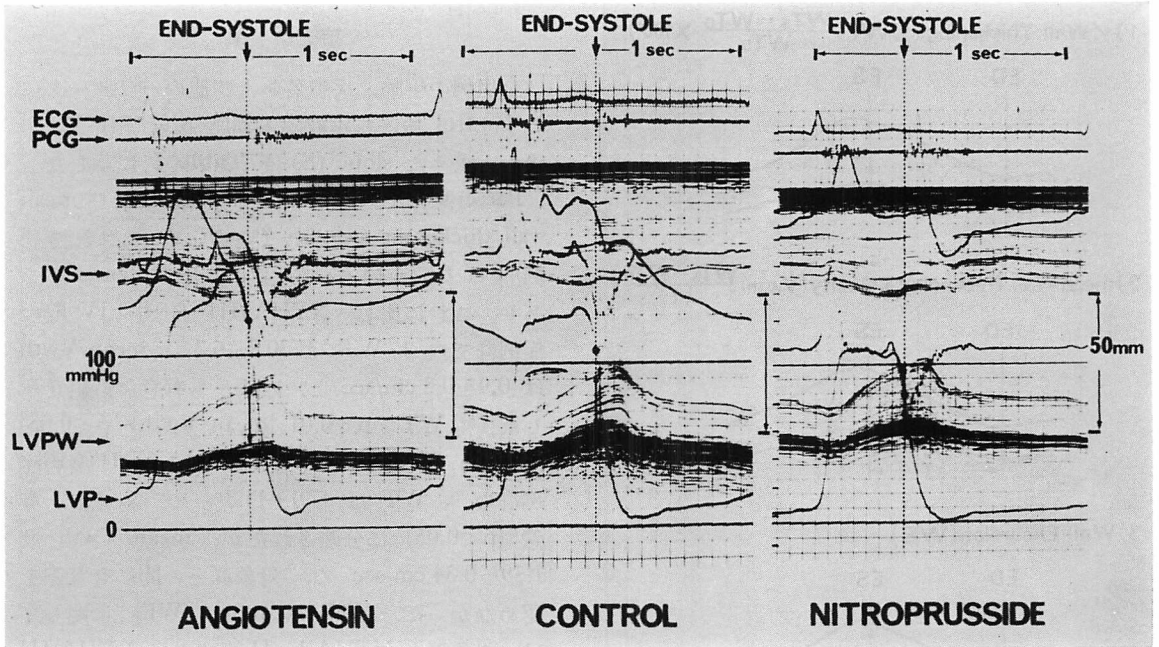


Fig. 1. Representative examples of left ventricular echograms recorded simultaneously with the left ventricular pressure, electrocardiogram, intracardiac phonocardiogram and dp/dt .
 IVS=interventricular septum; LVPW=left ventricular posterior wall.

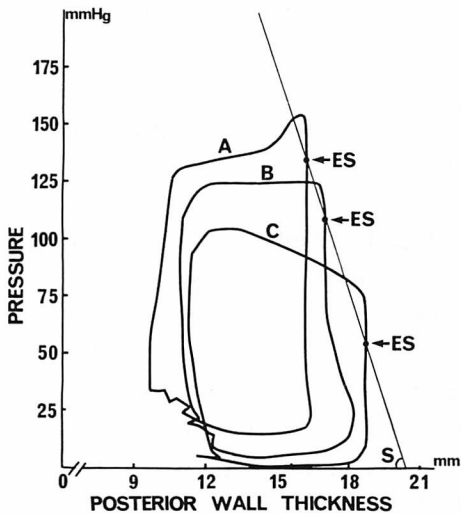


Fig. 2. Left ventricular pressure-posterior wall thickness loops in three different loading conditions in a normal subject.

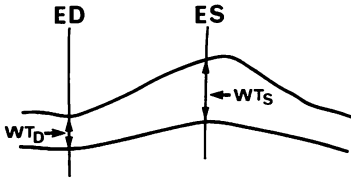
A=angiotensin; B=control; C=nitroprusside; S=slope.

関係の収縮末期点を直線で fitting し、その直線勾配 S を求めた^{13,14,16} (Fig. 2). Nitroprusside と angiotensin の両薬剤を負荷した 11 例では異なるレベルの収縮末期点が 3 点得られるので、最小 2 乗法によって 3 点を直線 fitting したが、nitroprusside または angiotensin のいずれか 1 剤しか使用しなかった 21 例では、control と負荷後の 2 つの収縮末期点を直線で結び、勾配を S とした。収縮末期点は心内心音図での大動脈 II 音の開始点とし^{17,18}、各負荷前後の左室収縮末期圧とその時の後壁厚(左室収縮末期壁厚)をおのおの連続 5 心拍で平均した。

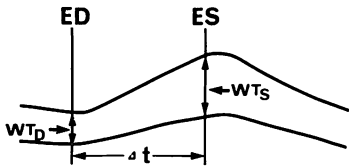
P-W 関係から得た slope (S) と比較する目的で、Fig. 3 に示すように、3 種類の局所心筋機能の指標を求めた。

1) 収縮末期と拡張末期の壁厚の差を拡張末期壁厚で除した比を percent wall thickening (% WT) とした。

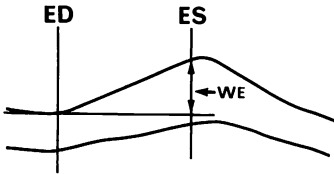
1) %Wall Thickening (%WT: $\frac{WT_s - WT_D}{WT_D} \times 100$)



2) mean Wall Thickening Velocity ($V_{wth}: \frac{WT_s - WT_D}{\Delta t}$)



3) Wall Excursion (WE)



4) Emax

Fig. 3. Methods of calculating wall thickness parameters obtained by echocardiography.

ES=end-systole; ED=end-diastole; WT_s=left ventricular end-systolic wall thickness; WT=left ventricular end-diastolic wall thickness; Δt=ejection time.

2) 収縮末期と拡張末期の壁厚の差を収縮時間(Δt)で割った値を mean wall thickening velocity (V_{wth}) とした。

3) 後壁心内膜側の内方への振幅を wall excursion (WE) とした。

一方, 左室短軸径を Teichholz の補正式に代入して左室収縮末期容量を求め, 薬物負荷による2点または3点間の収縮末期圧-容量関係の勾配を最小2乗法より求め, その勾配を E_{max} とした。

統計処理は paired t-test を行い, p<0.05 を有意とした。

結 果

全症例の年齢, 疾患名および他のパラメーターの control 値, 左室収縮末期圧-後壁厚 (P-W) 関係から求めた slope (S) を Table 1 に示した。

Percent wall thickening (% WT) および mean wall thickening velocity (V_{wth}) は, 対象群 (5例) では 63.2±13.2% および 1.4±0.3 cm/sec であり, これに比し, NYHA III および IV 度の症例群での % WT は 30.2±6.2%, mean V_{wth} は 0.9±0.3 cm/sec と, いずれも有意に低値を示した (% WT: p<0.01, mean V_{wth}: p<0.05) (Fig 4A, Table 2). 一方, NYHA I~II 度の症例群の % WT は 47.9±11.8% で, 対象群と有意 (p<0.05) に分離されたが, mean V_{wth} は 1.39±0.34 cm/sec で, 対象群との間に有意差を認めなかった。Wall excursion (WE) に関しては, 対象群と NYHA I~II 度または NYHA III~IV 度群の間に有意差を認めなかった (対象群: 12.3±2.5 mm, NYHA I~II: 11.7±3.0 mm, NYHA III~IV: 10.8±2.1 mm)。これに対し, 対象群の S が -29.7±6.0 mmHg/mm であるのに対し, 心収縮性の低下している NYHA III および IV 度の症例の S は -13.7±2.9 mmHg/mm で, 有意に低値を示した (p<0.001)。一方, NYHA I~II 度の症例群の S は -21.8±9.2 mmHg/mm で, 対象群との間には有意差はなかった (Fig. 4B, Table 2)。S と % WT および S と mean V_{wth} はともに粗な正相関を示した (r=0.44, p<0.05; r=0.35, p<0.05)。S と WE の間には有意な相関関係はなかった (Fig. 5A)。

Fig. 5B は S と E_{max} の関係を示す。S が % WT や mean V_{wth} と粗な関係しか示さなかったのに反し, E_{max} とはよい正相関を示した (r=0.82, p<0.001)。

考 察

従来より壁厚を用いた左室機能評価に関する報告は数多い¹⁻¹²⁾。Kraunz ら⁹⁾ は正常心の運動ま

Table 1. Clinical and hemodynamic parameters

pts	Age	Diagnosis	NHA	HR /min	EDP mmHg	PSP mmHg	ESP mmHg	E _{max}	EDWT mm	ESWT mm	S mmHg/mm	%WT %	V _{wth} cm/sec	WE mm
1)	63	AR	III	86	28	113	91	1.01	8.5	12.0	-10.2	29.4	1.17	9
2)	49	MSr	III	71	13	135	126	2.40	8.0	11.0	-16.7	37.5	0.51	13
3)	51	MSr, Ar	III	60	10	164	142	1.89	11.0	14.0	-15.3	27.2	0.76	12
4)	49	Ms, Ar	II	74	12	140	107	3.10	9.5	12.5	-30.0	31.6	1.18	13
5)	37	Ms	II	72	6	136	116	2.25	8.0	12.0	-14.5	50.0	1.25	10
6)	39	MRs	II	92	13	110	86	4.57	8.0	12.0	-38.0	50.0	1.80	11
7)	21	MPS	I	63	15	131	105	3.06	10.0	18.0	-21.4	80.0	1.88	15
8)	59	CCM	III	59	10	102	76	1.40	11.5	16.0	-12.5	39.1	1.11	9
9)	47	CCM	II	75	25	102	78	0.83	9.0	13.0	-9.2	44.4	1.43	4
10)	48	CCM	I	55	28	116	98	—	10.0	17.0	-5.5	70.0	1.69	12
11)	53	CCM	II	78	13	124	97	1.07	9.0	13.0	-10.6	44.4	0.97	8
12)	63	MRs, Ar	II	91	6	92	90	3.06	8.5	12.0	-22.0	41.2	1.08	14
13)	51	CPNC	I	62	18	172	130	4.85	7.0	12.0	-38.0	71.4	1.19	10
14)	51	CPNC	I	63	7	129	110	4.10	8.0	12.0	-28.0	50.0	1.07	11
15)	48	AP	I	53	10	150	110	2.71	14.0	20.0	-20.0	42.9	1.85	18
16)	53	MI	I	65	17	128	103	—	10.0	16.5	-19.6	65.0	1.76	15
17)	39	MI	I	83	15	122	98	—	10.0	15.0	-23.5	50.0	1.56	14
18)	48	HCM	II	84	5	126	90	—	10.5	16.0	-15.3	52.4	1.83	13
19)	40	MR	II	75	16	152	121	2.29	11.5	15.5	-17.6	34.8	1.25	14
20)	40	MI	II	71	8	153	110	3.75	9.0	12.0	-26.0	33.3	0.77	9
21)	49	AR, Ms	I	61	18	156	110	4.33	10.0	13.5	-29.3	35.0	0.85	9
22)	21	AR, MR	II	77	12	114	83	2.75	10.5	16.0	-45.0	52.4	1.75	13
23)	33	CPNC	I	87	9	124	110	4.45	9.0	13.5	-30.0	50.0	1.36	10
24)	40	AR	I	61	27	134	88	3.80	12.5	17.0	-32.0	36.0	1.50	13
25)	41	MI	I	68	21	157	125	—	10.5	15.5	-23.0	47.6	1.28	9
26)	52	MSr, Ar	II	58	18	133	95	2.44	7.5	12.5	-17.0	66.7	1.30	9
27)	38	CCM	II	80	8	97	76	1.41	10.0	14.5	-17.0	45.0	1.25	8
28)	30	CPNC	I	79	4	92	58	—	8.5	14.0	-31.0	64.7	1.62	15
29)	52	AP	II	79	10	106	92	—	9.5	15.0	-24.9	57.9	1.53	10
30)	31	AR	II	81	7	112	80	3.75	8.5	14.5	-26.0	70.6	1.77	14
31)	63	MSr, Ar	I	73	9	113	75	3.06	10.5	14.0	-22.0	33.3	0.93	11
32)	36	CCM	I	64	5	108	100	1.44	9.0	13.5	-13.8	47.8	1.25	12

NHA=New York Heart Association functional classification; HR=heart rate; EDP=left ventricular end-diastolic pressure; PSP=left ventricular peak systolic pressure; ESP=left ventricular end-systolic pressure; EDWT=left ventricular end-diastolic posterior wall thickness; ESWT=left ventricular end-systolic posterior wall thickness; S=slope of end-systolic pressure-wall thickness relation; %WT=percent wall thickening; V_{wth}=mean wall thickening velocity; WE=wall excursion; AR, Ar=aortic regurgitation; MS, Ms=mitral stenosis; MR, Mr=mitral regurgitation; MPS=mitral valve prolapse; CCM=congestive cardiomyopathy, CPNC=chest pain & normal coronary arteries; AP=angina pectoris; MI=myocardial infarction; HCM=hypertrophic cardiomyopathy.

Table 2. Comparisons of echocardiographic and hemodynamic parameters among control subjects, patients with NYHA class I-II and those with III-IV

	N	HR (beats/min)	EDP (mmHg)	PSP (mmHg)	ESP (mmHg)	EDWT (mm)	ESWT (mm)	S (mmHg/mm)	%WT (%)	V _{wth} (cm/sec)	WE (mm)
CONTROL	5	71±12	11±5.8	130±29	103±27	10.3±1.6	16.9±2.5	-29.7±6.0	63.2±13.2	1.42±0.33	12.3±2.5
NYHA I-II	23	73±11	13±6.8	125±20	97±14	9.8±1.5	14.5±2.1 ^{***}	-21.8±9.2	47.9±11.8 ^{***}	1.39±0.34	11.7±3.0
NYHA III-IV	4	69±13	15±8.6	129±27	109±31	9.9±1.9	13.2±2.2 ^{**}	-13.7±2.5 [§]	33.3±5.9 ^{**}	0.89±0.31 ^{**}	10.8±2.1

*p<0.001, **p<0.01, ***p<0.05 compared with the data of control.

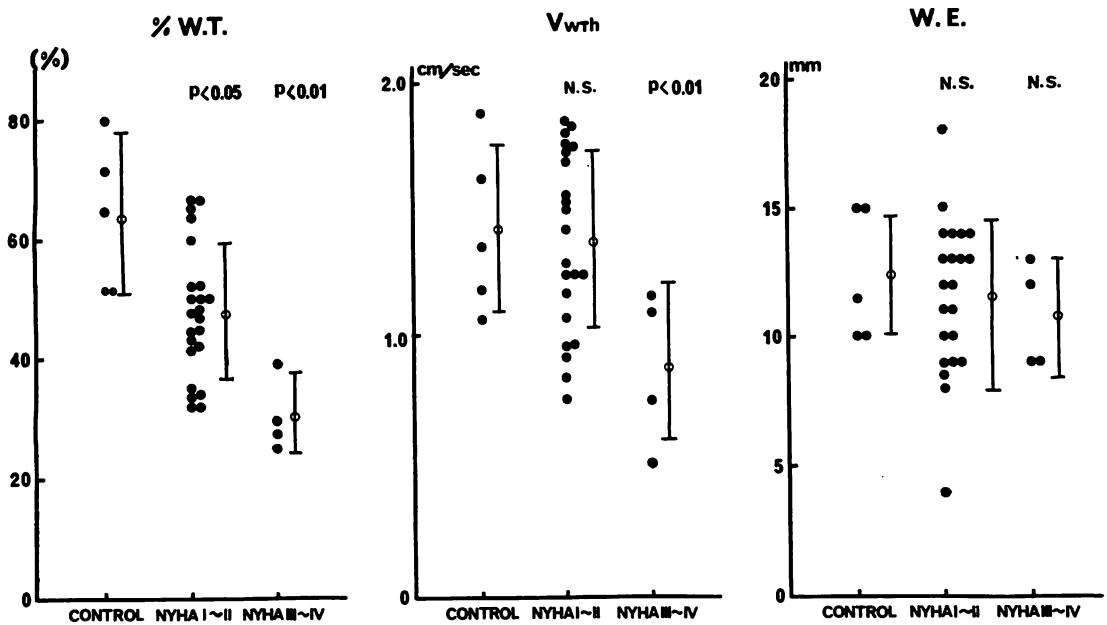


Fig. 4A. Comparisons of percent wall thickening (% WT), mean wall thickening velocity (V_{wth}) and wall excursion (WE) among the patient groups.

NYHA=New York Heart Association functional classification; N.C.=not significant.

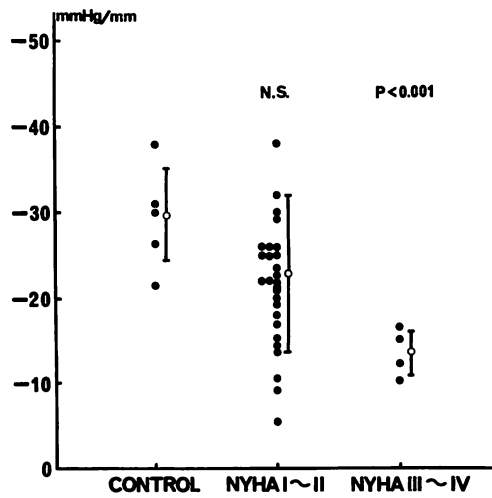


Fig. 4B. Comparison of the slope of end-systolic P-W relations among the patient groups.

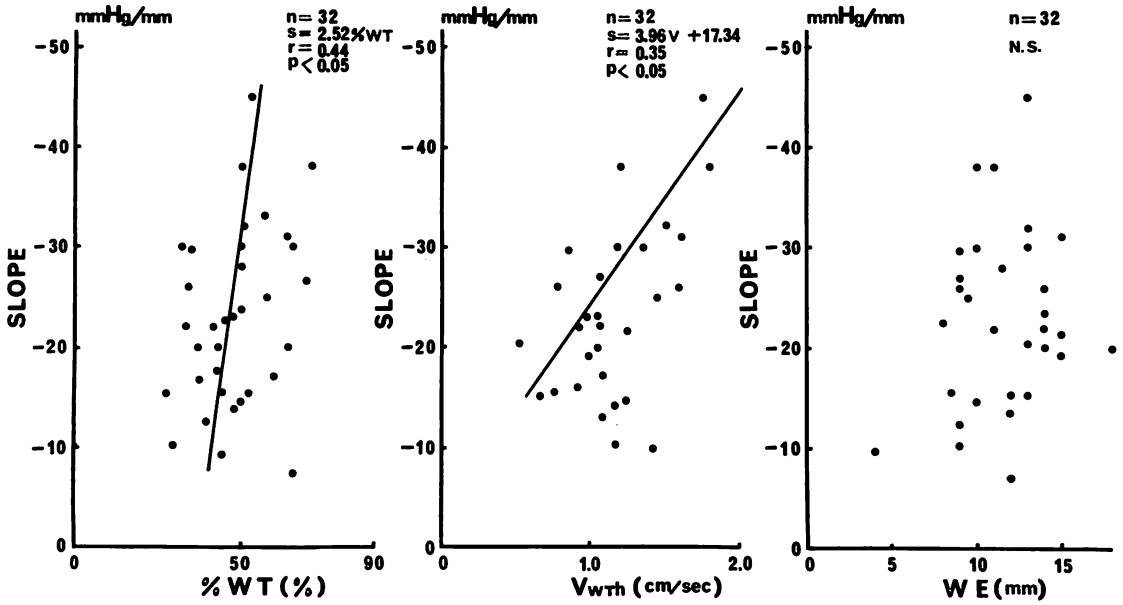


Fig. 5A. Relationships between the slope (S) of end-systolic P-W relation, and %WT, Vwth or WE.

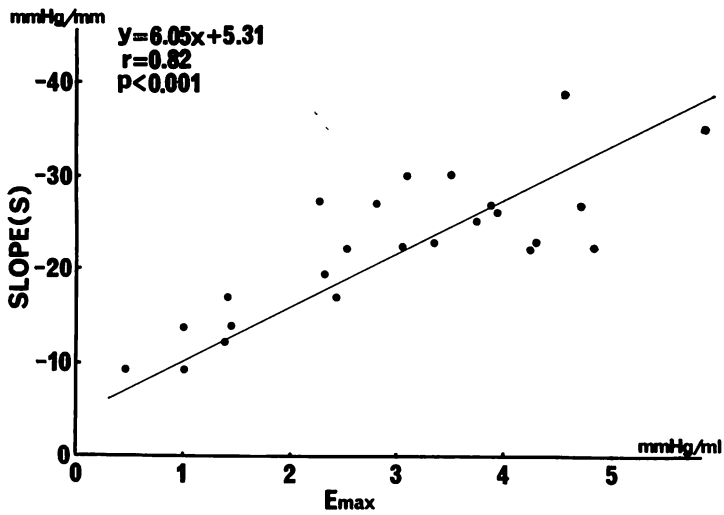


Fig. 5B. Relationship between the slope (S) and Emax.

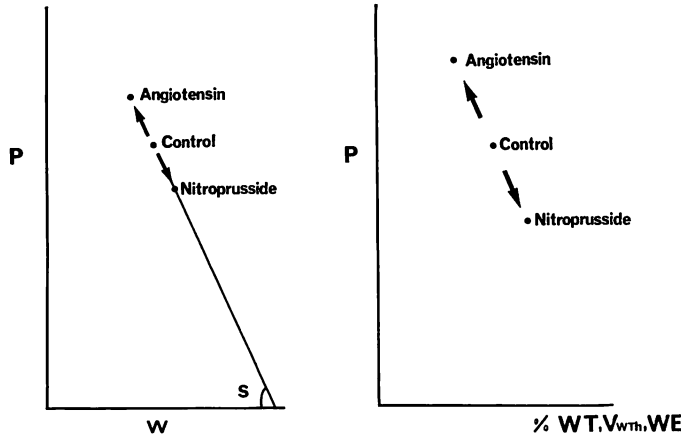


Fig. 6. Schematic representations of the influence of afterload on the slope of the P-W relation, %WT, Vwth, and WE.

たは血管拡張剤による急性左室機能変化の評価には LV posterior wall velocity が鋭敏であると述べ, Inoue ら¹⁰⁾は急性心筋梗塞患者と正常心を分離するのに wall excursion (WE), mean posterior velocity を用いた. また percent thickening (% WT) と mean posterior wall velocity が正常心と異常心とを分離したとの報告もある¹⁹⁾. 一方, これら % WT, mean Vwth あるいは WE は前負荷, 後負荷, 心拍数の影響を受ける^{2,7)}ため, 患者間の心機能の比較には限度がある. 今回の我々の成績においても S, % WT あるいは mean Vwth は, 対象群に対し, 明らかに心機能の低下していると思われる NYHA III~IV 度の群を分離し得たが, % WT と mean Vwth では S に比してその危険率は大きであった. さらに WE では両者間に有意差を認めなかった. この所見は S, % WT あるいは mean Vwth がともに左室機能を反映する指標であることを示しているが, 一方では S が後負荷の変化に対して一定の値を取るのに対し, % WT, mean Vwth あるいは WE は後負荷に依存するため, 対象群と心不全群とを分離する鋭敏度に差を生じたことを示唆している. S と % WT あるいは mean Vwth はいずれも粗な正相関しか示さず, S と WE との間に

も有意な相関関係がなかった. この所見は Fig. 6 に示すように S が負荷に無関係であるのに対して, 今回計測した壁動態に関する指標が後負荷に依存するため, S とこれらパラメーター間に齟齬を生じた可能性がある.

Suga, Sagawa らによれば, 生理的範囲内での収縮末期の圧-容積関係は後負荷, 前負荷とは独立してほぼ直線関係となり, その直線の傾き (Emax) は心収縮性の鋭敏な指標であるという^{20,21)}. 臨床的にも Grossmann らは左室シネアンジオとカテ先マノメーターによる左室内圧同時記録を行い, 安静時の収縮末期圧-容積関係と亜硝酸剤による減負荷または methoxamine による増負荷時の圧-容積関係の 2 点より Emax を求め, その臨床的有用性を報告した^{22,23)}. 今回の我々の結果にみるととき左室収縮末期圧-後壁厚関係より求めた S と Emax との良い相関関係は, S が Emax と同様に負荷とは独立しているために, asynergy のない症例においては左室収縮性をよく反映することを示すとともに, 局所心筋機能の指標としても有用であることを示唆している.

収縮末期圧-壁厚関係から得られる S は, % WT, mean Vwth, WE などと比してより後負荷とは無関係な指標と思われるが, 負荷条件との関

連性に関しては今後さらに詳細な検討が必要である。局所壁動態を分析するさいに負荷条件に依存しない局所心筋収縮性の指標はないのが現状である。その意味においても、S の臨床的意義は高いと思われる。

要 約

心臓カテーテルを施行した各種心疾患患者 32 例(うち対象群(C 群) 5 例)において、左室収縮末期圧-後壁厚(P-W) 関係から求めた勾配(S) と、従来からの左室局所心筋機能評価の指標 [% wall thickening (% WT), mean wall thickening velocity (mean Vwth), wall excursion (WE)], および左室収縮性の指標 Emax とを比較検討した。C 群と NYHA III および IV 度群(D 群) における各パラメーターの比較では、S (-29.7 ± 6.0 mmHg/mm, -13.7 ± 2.9 mmHg/mm; $p < 0.001$), % WT ($63.2 \pm 13.2\%$, $33.3 \pm 5.9\%$; $p < 0.01$), mean Vwth (1.42 ± 0.33 cm/sec, 0.89 ± 0.31 cm/sec; $p < 0.05$) のいずれも有意に C 群と D 群とを分離し得たが、WE には有意差を認めなかった。一方、S と % WT および S と mean Vwth はともに正相関 ($p < 0.05$) を示したが、S と WE の間には有意な相関はなかった。したがって、S, % WT および mean Vwth はいずれも左室機能評価の良い指標であることが示唆されたが、C 群と D 群との分離には S がより鋭敏であった。一方、S と Emax は良好な正相関 ($p < 0.001$) を示し、S が左室収縮性を反映することを示唆した。% WT, mean Vwth は後負荷に依存するのに反し、S にはそのようなことはなく、かつ左室収縮性をよく反映することから、S は局所心筋収縮性を評価するより良い指標であることが示唆される。

文 献

- 1) Ross J Jr, Franklin D: Analysis of regional myocardial function, dimension, and wall thickness in the characterization of myocardial ischemia and infarction. *Circulation* **53**: 88-92, 1976
- 2) Sasayama S, Franklin D, Ross J Jr, Kemper WS, Mckown W: Dynamic changes in left ventricular wall thickness and their use in analyzing cardiac function in the conscious dog. *Am J Cardiol* **38**: 870-879, 1976
- 3) Theroux P, Franklin D, Ross J Jr, Kemper WS: Regional myocardial function during acute coronary artery occlusion and its modification by pharmacologic agents in the dog. *Circulat Res* **35**: 896-908, 1974
- 4) Goult KL, Kennedy JW, Frimer M, Pollack GH, Dogde HT: Analysis of wall dynamics and directional components of left ventricular contraction in man. *Am J Cardiol* **38**: 322-331, 1976
- 5) Smithen CS, Wharton CFP, Sowton E: Independent effects of heart rate and exercise on left ventricular wall movement by reflected ultrasound. *Am J Cardiol* **30**: 43-47, 1972
- 6) Ludbrook P, Karliner JS, London A, Peterson K, Leopord GR, O'Rourke RA: Posterior wall velocity: An unreliable index of total left ventricular performance in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* **33**: 475-482, 1974
- 7) Liedtke AJ, Pasternac A, Sonnenblick EH, Gorlin R: Changes in caine ventricular dimensions with acute changes in preload and afterload. *Am J Physiol* **223**: H820-827, 1972
- 8) Kraunz RF, Ryan TJ: Ultrasound measurements of ventricular wall motion following administration of vasoactive drugs. *Am J Cardiol* **27**: 464-473, 1971
- 9) Kraunz RF, Kennedy JW: Ultrasonic determination of left ventricular wall motion in normal man. *Am Heart J* **79**: 36-43, 1970
- 10) Inoue K, Smulyan H, Mookherjee S, Eich RH: Ultrasonic measurement of left ventricular wall motion in acute myocardial infarction. *Circulation* **43**: 778-785, 1971
- 11) Wharton CFP, Smithen CS, Sowton E: Changes in left ventricular wall movement after acute myocardial infarction measured by reflected ultrasound. *Br Med J* **9**: 75-77, 1971
- 12) Upton MT, Gibson DG: The study of left ventricular function from digitized echocardiograms. *Prog Cardiovasc Dis* **20**: 359-384, 1978
- 13) Fujii T, Kumada T, Matsuda Y, Kohno M, Tohma Y, Katayama K, Takahashi Y, Sasaki T, Naito H, Ogawa H, Ishida K, Ozaki M, Shibata M, Matsuzaki M, Kusukawa R: Left ventricular end-systolic pressure-wall thickness relations for the assessment of regional myocardial contractility in man. *Circulation* **64** (Suppl IV): 325, 1981

藤井, 久萬田, 松崎, ほか

- 14) Fujii T, Kumada T, Matsuda Y, Kohno Y, Katayama K, Tohma Y, Ogawa H, Ozaki M, Ishida K, Matsuzaki M, Kusukawa R: Left ventricular end-systolic pressure-wall thickness relations for the assessment of regional myocardial contractility in man. *J Cardiography* **11**: 1281-1289, 1981 (in Japanese)
- 15) Feigenbaum H: *Echocardiography*. 3rd ed, Lea & Febiger, Philadelphia, 1976
- 16) Osakada G, Hess OM, Gallagher KP, Lavelle JF, Kemper WS, Ross J Jr: End-systolic wall thickness-pressure, and wall thickness-stress relations for assessing myocardial contractility. *Circulation* **62** (Suppl III): 203, 1980
- 17) Weiss JL, Frederiksen JW, Weisfeldt ML: Hemodynamic determinants of the time-course of fall in canine left ventricular pressure. *J Clin Invest* **58**: 751-760, 1976
- 18) Kumada T, Karliner JS, Pouleur H, Gallagher KP, Shirato K, Ross J Jr: Effects of coronary occlusion on early ventricular diastolic events in conscious dogs. *Am J Physiol* **237**: H542-549, 1979
- 19) Belenkie I, Nutter DO, Clark DW, McCraw DB, Raizner AE: Assessment of left ventricular dimensions and function by echocardiography. *Am J Cardiol* **31**: 755-762, 1973
- 20) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independent of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circulat Res* **32**: 314-322, 1973
- 21) Suga H, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. *Circulat Res* **35**: 117-126, 1974
- 22) Grossmann 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
- 23) Marsh JD, Green LH, Wynne J, Cohn PF, Grossmann W: Left ventricular end-systolic pressure-dimension and stress-length relations in normal human subjects. *Am J Cardiol* **44**: 1311-1317, 1979