

超音波パルス・ドップラー 法の左室流入波形による V_1 P-terminal force の評価

V_1 P-terminal force eval- uated by left ventricular inflow velocity patterns in pulsed Doppler echo- cardiography

清水 雅英
中川 浩司
西田 法孝
神代 秀爾
平田 俊吉
岡田 道雄
石川 恭三

Masahide SHIMIZU
Koji NAKAGAWA
Noritaka NISHIDA
Shuji KASHIRO
Shunkichi HIRATA
Michio OKADA
Kyoza ISHIKAWA

Summary

The relationship between V_1 P-terminal force (V_1 -PT) and the characteristics of left ventricular (LV) diastolic filling and atrial contraction were evaluated using LV inflow velocity patterns obtained by pulsed Doppler echocardiography. Subjects consisted of 54 patients with old myocardial infarction, 56 with essential hypertension, 48 with angina pectoris, 19 with dilated cardiomyopathy, and 16 with miscellaneous disease other than of mitral valve lesions. The patients were classified as the positive group: V_1 -PT \leq -0.04 mmsec, intermediate group: $0 > V_1$ -PT $>$ -0.04 mmsec, and negative group: V_1 -PT \geq 0 mmsec. The following were the results obtained:

1. In the positive group, the rapid filling wave (R) had reduced velocity, the prolonged deceleration time and the decreased acceleration and deceleration ratios.
2. In the positive group, velocity of the atrial contraction wave (A) was increased and the atrial contraction time was prolonged compared to the other groups.
3. In the positive group, the A/R was greater than in the other groups.
4. In the positive and intermediate groups, V_1 -PT correlated significantly with the A/R ($r=0.83$, $p<0.01$), R ($r=-0.58$, $p<0.01$) and A ($r=0.48$, $p<0.01$).

In the positive group, LV inflow volume was decreased in the rapid filling phase. In the atrial contraction phase, the inflow volume was increased to compensate for loss of inflow volume in the rapid filling phase. These findings suggested that LV diastolic filling was disturbed in the positive group.

In conclusion, the value of V_1 -PT is influenced by any disturbance of LV diastolic filling.

Key words

V_1 P-terminal force

Pulsed Doppler echocardiography

Left ventricular inflow velocity pattern

杏林大学医学部 第二内科
三鷹市新川 6-20-2 (〒181)

The Second Department of Internal Medicine,
Kyorin University School of Medicine, Shinkawa 6-
20-2, Mitaka, Tokyo 181

Received for publication July 27, 1986; accepted August 30, 1986 (Ref. No. 31-23)

はじめに

Morris ら¹⁾は、僧帽弁狭窄症や僧帽弁閉鎖不全症などの弁膜症において左房圧が上昇している場合には、標準 12 誘導心電図の V_1 誘導の P 波形が陽性・陰性の 2 相性になることを示した。このことは古くから知られていたことであるが、彼等は特に、 V_1 誘導の P 波の陰性部分が幅広くかつ深くなることに注目し、その陰性相の振幅と時間の積を P-terminal force (Morris' index) とも呼ぶ) と呼称し、この値が -0.04 mmsec 以下の時には左房負荷が存在すると報告した。しかし、僧帽弁狭窄症や僧帽弁閉鎖不全症などの弁膜症以外においても、 V_1 誘導の P 波における P-terminal force が -0.04 mmsec 以下を示す例は数多く、左房負荷が左室拡張終期圧の上昇に起因する場合もあり、 V_1 誘導の P-terminal force に影響を及ぼす因子として、左室拡張期における心機能についても検討する必要があると思われる。今まで左室の拡張動態を評価するためには侵襲的な方法が用いられてきたが、最近、超音波パルス・ドップラー法の左室流入波形を用い、左室の拡張動態を評価することが可能となってきた。

今回、著者らは超音波パルス・ドップラー法の左室流入波形を解析することより、僧帽弁疾患や大動脈弁疾患以外で V_1 誘導の P 波陰性相が -0.04 mmsec 以下を示した場合、 -0.04 mmsec 以下を示さない場合に比べ、左室の拡張動態および左房の収縮動態がどのように異なるかについて検討した。

対象および方法

対象は標準 12 誘導心電図上、 V_1 誘導にみられる P 波の陰性相 (以下 V_1 -PT と略す) の値によって、以下の 3 群に分けて検討した (Table 1). PT 陽性群: V_1 -PT が -0.04 mmsec 以下の群で、計 52 例, PT 中間群: V_1 -PT を認めるが、 -0.04 mmsec 以上の群で、計 43 例, PT 陰性群: V_1 誘導の P 波に陰性相を認めない群で、計

72 例. 以上 3 群における性比, 年齢, 基礎疾患等は Table 1 に示す如くである。

PT 陽性群, PT 中間群そして PT 陰性群ともに、同年齢群および同疾患群を対象とし、僧帽弁あるいは大動脈弁疾患などの弁膜症を有する例は除外した。

標準 12 誘導心電図の V_1 誘導の P 波形は、Fig. 1 のごとく、陰性部分の深さ (mm) と、時間 (sec) を計測し、その積 (mmsec) を求めた。超音波パルス・ドップラー法 (以下 PDE と略す) は、心尖部より apical two-chamber view を描出し、左室流入路にサンプルボリュームをおき、左房より左室へのドップラーシグナルを検出した。このさいドップラーアングルが可能なかぎりゼロに近くなるように記録を行った。計測項目 (Fig. 2) は

PDE の左室流入波形より拡張期急速流入波 (R 波) の最大流速 (R, cm/sec), R 波の開始よりピークに達するまでの時間 (AT-R, msec) とその加速度 (AcR-R, cm/sec²), また R 波のピークより基線に戻るまでの時間 (DT-R, msec) とその減速度 (DcR-R, cm/sec²) である。心房収縮波 (A 波) についても同様に、A, AT-A, AcR-A, DT-A, DcR-A を計測し、R と A の比 A/R についても検討した。また、標準 12 誘導心電図および PDE は、同時期に記録されたものを用いた。

使用機種は東芝製 SSH-11A と SDS-10A の複合システムおよび SSH-60A を用いた。超音波発信周波数は 2.4 または 2.5 MHz, パルス繰返し周波数は 4 または 6 KHz である。ドップラー信号の流速表示は、ドップラー偏差周波数がビーム方向成分の速度 31.88 cm/sec として計算を行った。

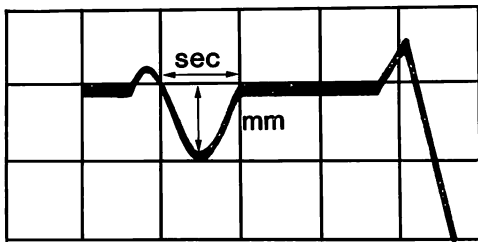
結 果

1. 急速流入波 (R 波)

R 波の最大速度 (R) の値は、PT 陽性群において、その平均値±標準偏差は 37.1 ± 11.4 cm/sec で、PT 中間群 (46.0 ± 7.3 cm/sec) および PT 陰性群 (50.2 ± 8.7 cm/sec) に比べ有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$) (Fig. 3A)。また、DT-R は

Table 1. Study subjects

Group	Negative	Intermediate	Positive
P-terminal force (V ₁)	≥0	0 > > -0.04	≤ -0.04
Number of patients	72	43	52
Age (years): range and mean	40-85 (60.3)	45-78 (62.4)	42-85 (61.6)
Sex (male/female)	39/33	24/19	27/25
Old myocardial infarction	26	13	15
Hypertension	25	16	15
Angina pectoris	25	10	13
Dilated cardiomyopathy	10	2	7
Others	9	2	5

Fig. 1. Method of measuring V₁-P-terminal force.

PT 陽性群において 158.4 ± 38.7 msec で、PT 中間群 (144.4 ± 28.8 msec) および PT 陰性群 (139.5 ± 50.3 msec) に比べ、有意に延長を示した ($p < 0.05$, $p < 0.01$) (Fig. 3B). AcR-R は PT 陽性群において 532.3 ± 125.5 cm/sec² を示し、PT 陰性群 (609.6 ± 248.2 cm/sec²) に比べ有意に低値を示した ($p < 0.05$) (Fig. 3C). DcR-R は PT 陰性群において 310.4 ± 128.3 cm/sec² で、PT 中間群 (264.6 ± 98.2 cm/sec²), PT 陽性群 (239.4 ± 148.2 cm/sec²) に比べ、有意に高値を示した ($p < 0.05$, $p < 0.01$) (Fig. 3D). AT-R に関しては各群間に有意差を認めなかった。

2. 心房収縮波 (A 波)

A 波の最大速度 (A) は PT 陽性群において 50.3 ± 7.4 cm/sec で、PT 中間群 (46.6 ± 8.4 cm/sec) PT 陰性群 (42.8 ± 9.7 cm/sec) に比べ、有意に高値を示した ($p < 0.05$, $p < 0.01$) (Fig. 4A)。また、AT-A は PT 陽性群において 73.2 ± 12.7

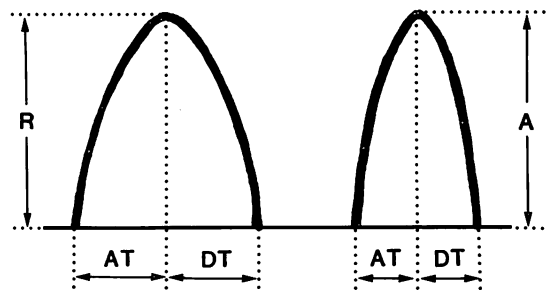


Fig. 2. Parameters of velocity patterns of blood flow at the inflow tract of the left ventricle obtained by pulsed Doppler echocardiography.

R=peak velocity of the rapid filling wave; A=peak velocity of the atrial contraction wave; AT=acceleration time from zero to the peak velocity of the rapid filling wave or atrial contraction wave; DT=deceleration time from the peak to zero velocity of the rapid filling wave or atrial contraction wave; AcR=acceleration rate of the rapid filling wave or atrial contraction wave (R/AT , A/AT); DcR=deceleration rate of the rapid filling wave or atrial contraction wave (R/DT , A/DT).

msec で、PT 陰性群 (66.7 ± 17.9 msec) に比べ、有意に延長していた ($p < 0.05$) (Fig. 4B)。DT-A は PT 陽性群において 76.6 ± 10.6 msec で、PT 中間群 (69.4 ± 9.2 msec) および PT 陰性群 (67.7 ± 15.2 msec) に比べ、有意に延長していた ($p < 0.01$, $p < 0.01$) (Fig. 4C)。AcR-A, DcR-A に関しては各群間に有意差を認めなかった。

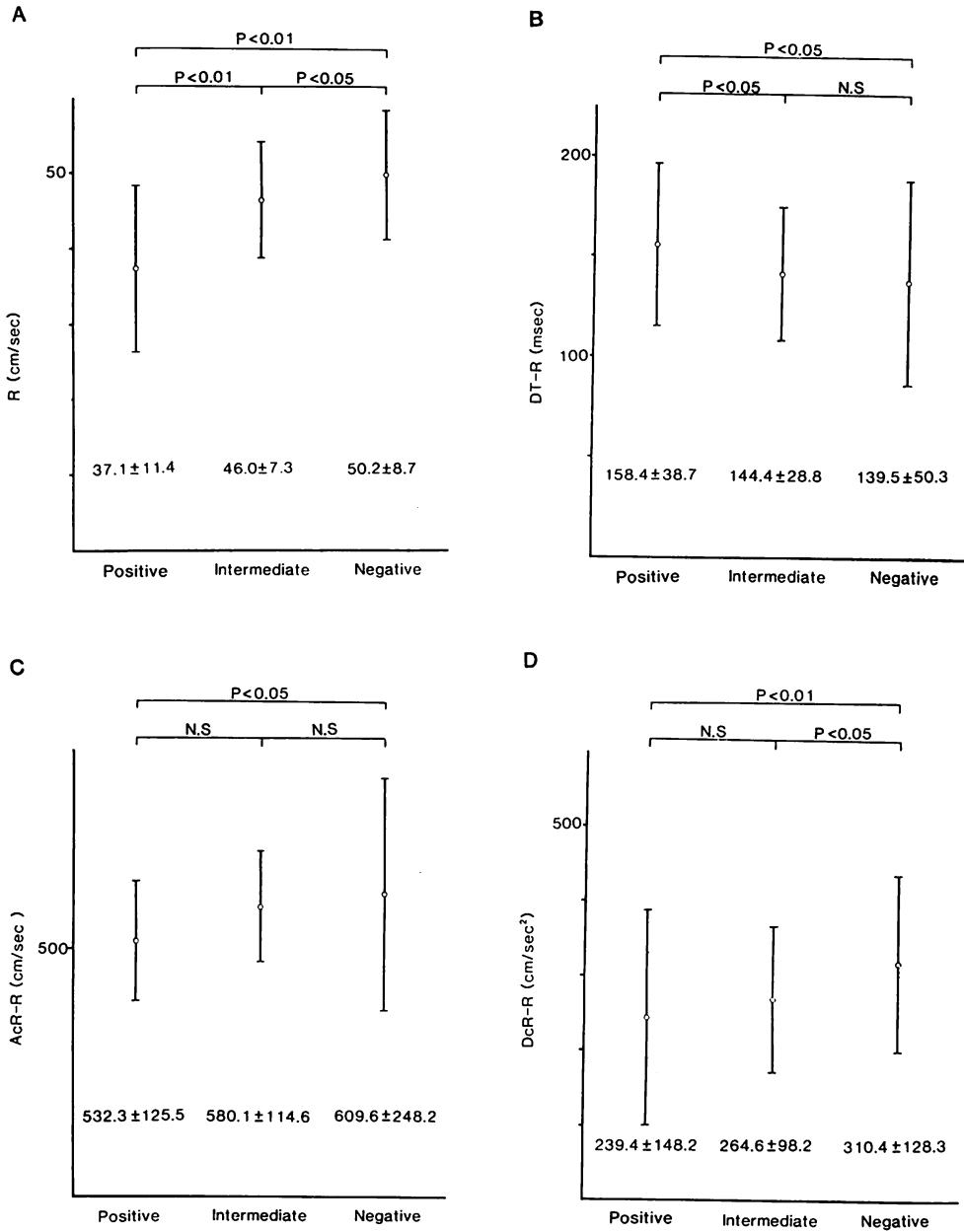


Fig. 3. Velocity of the rapid filling wave (A), deceleration time of the rapid filling wave (B), the acceleration rate of the rapid filling wave (C), and the deceleration rate of the rapid filling wave (D) in the positive, intermediate and negative groups.

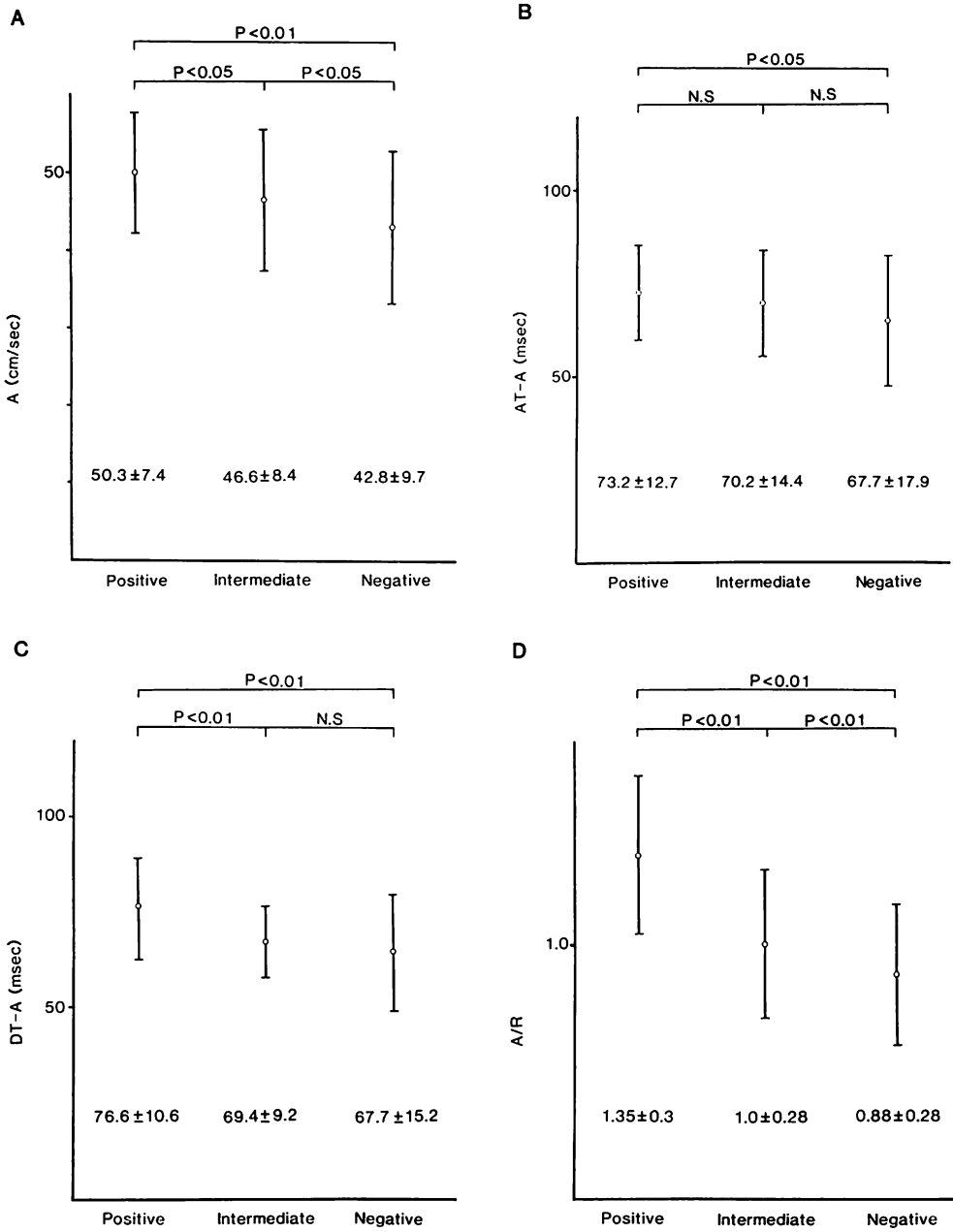


Fig. 4. Velocity of the atrial contraction wave (A), acceleration time of the atrial contraction wave (B), deceleration time of the atrial contraction wave (C), and the A/R (D) in the positive, intermediate and negative groups.

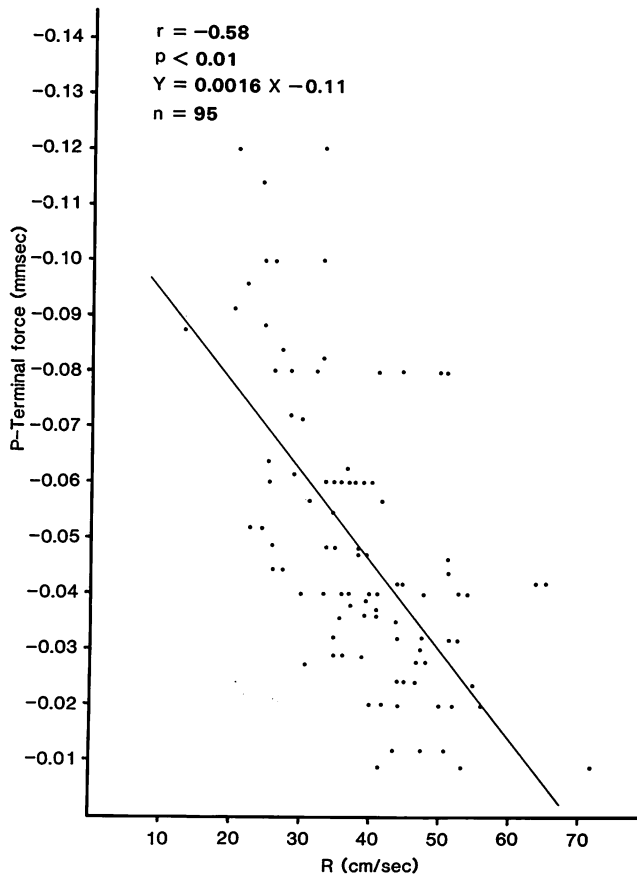


Fig. 5. Correlation between P-terminal force and velocity of the rapid filling wave.

3. A/R

心房収縮波の最大速度と急速流入波の最大速度の比は, PT 陽性群 1.35 ± 0.30 , PT 中間群 1.0 ± 0.28 , PT 陰性群 0.88 ± 0.28 で, PT 陽性群において有意に高値を示していた ($p < 0.01$, $p < 0.01$) (Fig. 4D).

4. V_1 -PT と各パラメーターの相関係数

V_1 -PT は R と相関係数 -0.58 ($Y = 0.0016X - 0.11$, $p < 0.01$) の負相関を示した (Fig. 5). また, A とは相関係数 0.48 (Fig. 6) であったが, A/R とは相関係数 0.83 ($Y = 0.05X + 0.016$, $p < 0.01$) と強い正相関を示した (Fig. 7).

5. V_1 -PT と左房径との比較

相関係数 0.37 で, 有意な相関関係は認められなかった (Fig. 8).

症例の呈示

症例 1: 53 歳, 女性, 陳旧性心筋梗塞. V_1 誘導の P-terminal force は認められず, PDE の計測結果では, $R = 44.5$, $A = 43.9$, $A/R = 0.98$, $AT-R = 70.5$, $DT-R = 140.5$, $AT-A = 66.4$, $DT-A = 65.0$ であった (Fig. 9 上段).

症例 2: 55 歳, 女性, 陳旧性心筋梗塞. V_1 -PT は -0.02 mmsec で, PDE では $R = 38.3$, $A = 44.6$, $A/R = 1.17$, $AT-R = 64.5$, $DT-R = 144.0$, $AT-A = 74.5$, $DT-A = 75.0$ であった (Fig. 9 中

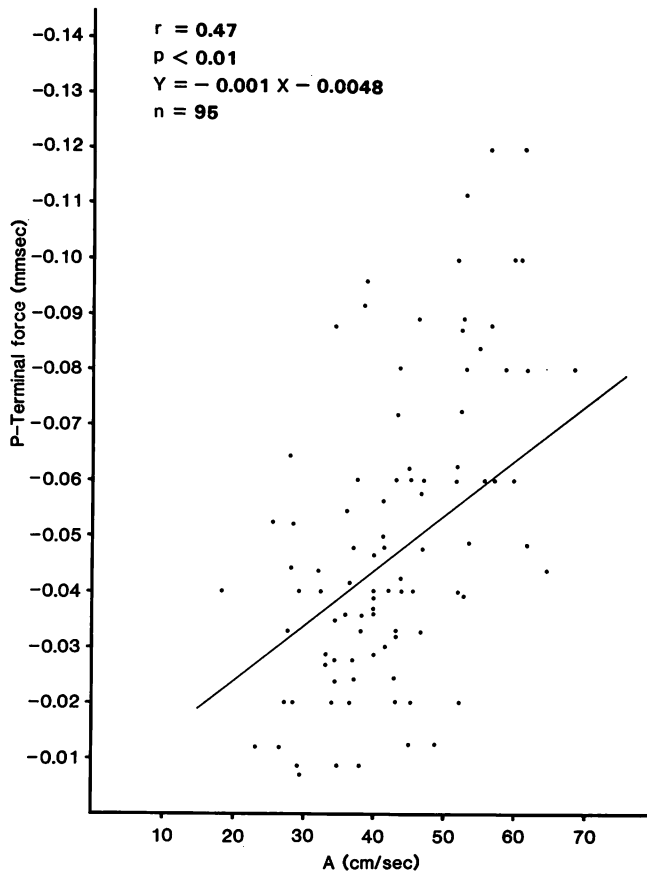


Fig. 6. Correlation between P-terminal force and velocity of the atrial contraction wave.

段).

症例 3: 57 歳, 女性, 陳旧性心筋梗塞. V₁-PT は -0.05 mmsec で, PDE では, R=25.5, A=54.2, A/R=2.12, AT-R=79.5, DT-R=156.3, AT-A=80.2, DT-A=78.4 であった (Fig. 9 下段). V₁-PT の負性部分の増大につれて, R の減高, A の増高, AT-R, AT-A および DT-A の延長が認められた.

症例 4: 62 歳, 男性, 不安定狭心症のため A-C bypass 手術を施行した例 (Fig. 10). 手術前の P-terminal force は -0.12 mmsec であったが, 手術後には -0.06 mmsec と減少した. PDE 所見でも R は 35.4 cm/sec から 54.9 cm/sec へと増高

し, A/R は 1.77 から 1.10 へと減少した.

考 按

標準 12 誘導心電図における V₁ 誘導の P-terminal force の値に影響を及ぼす因子について, 心エコー図法を用いたいくつかの報告がある. これらの多くはこの値が左房容積や左房径の増大⁴⁻⁶⁾と関係があるとするものであるが, それのみならず, 左房筋への tension, 左房圧上昇^{2,3)}, 心房内伝導異常^{7,8)}, またはそれらの因子の組み合わせ⁹⁻¹³⁾なども影響を与えることが推測されている. しかし現在まで, P-terminal force 増大の認められる疾患について, パルス・ドップラー法

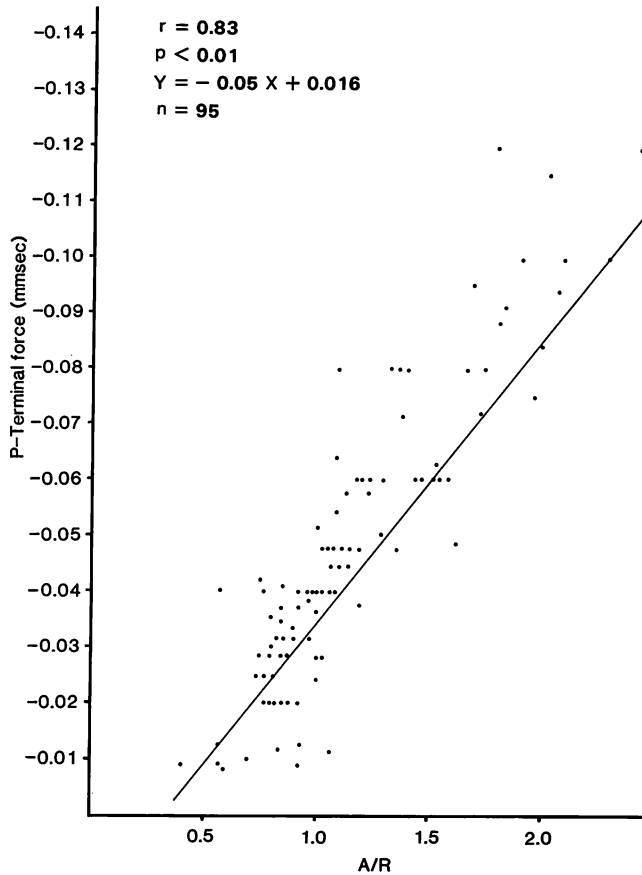


Fig. 7. Correlation between P-terminal force and the A/R.

を用い、左房の収縮動態や左室の拡張動態について検討を試みたものはない。

今回のパルス・ドップラー法を用いた検討では、虚血性心疾患、高血圧、心筋疾患など、弁膜症以外の疾患において、 V_1 誘導の P-terminal force が -0.04 mmsec をこえる例では、左室流入波形の R 波減高、A 波増高、A/R 増大、DT-R の延長、AcR-R の減少、DcR-R の減少、AT-A および DT-A の延長を認めた。これらの結果は、そのような場合、左室急速流入期における流入速度の減少と流入時間の延長、および心房収縮期における心房収縮速度の増加ならびに心房収縮時間の延長を示していると考えられる。すなわち、左

室急速流入期における流入血液量は減少し、心房収縮期にこれを代償する流入血液量の増加がみられるものと考えられる。

Morris ら¹³⁾は、弁膜症などで V_1 誘導の P-terminal force が -0.04 mmsec 以下の例では、左房圧上昇例が多いことを示した。一方、DiBianco ら¹⁴⁾は、虚血性心疾患や高血圧などにおいて、肺動脈楔入圧と V_1 誘導の P-terminal force との相関関係を示し、後者が高値であるほど肺動脈楔入圧が上昇していることを示した (相関係数: 0.67)。また、Forfang ら¹⁵⁾は、虚血性心疾患において、左室拡張終期圧上昇例では P-terminal force も高値を示すことを報告した (相関係数: -0.56)。

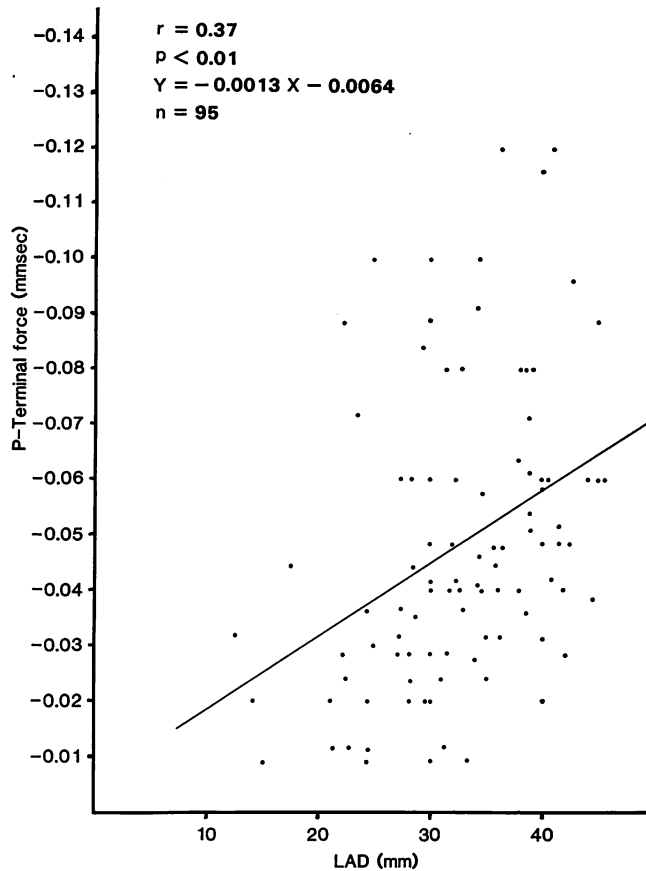


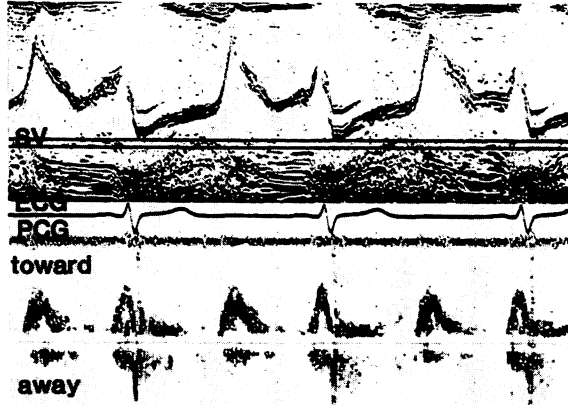
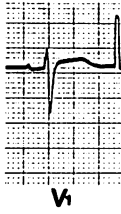
Fig. 8. Correlation between P-terminal force and left atrial dimension obtained by M-mode echocardiogram.

PDE を用いた左室拡張能評価は、最近数多く報告されている^{16~18)}。竹村ら¹⁷⁾は肥大型心筋症における左室拡張障害にさいして、PDE 波形における R 波減高、DT-R 延長および A/R 増大をみている。すなわち、左室拡張障害例では急速流入期における房室間血流速度が減少し、それを代償するべく急速流入期における能動的拡張時間の延長がおこると考えられている。また、急速流入期における房室間血流が減少している場合には、心房収縮速度は増大し、さらに心房収縮時間の延長がおこり、急速流入期における房室間血流の減少を代償するものと考えられている。今回、我々が

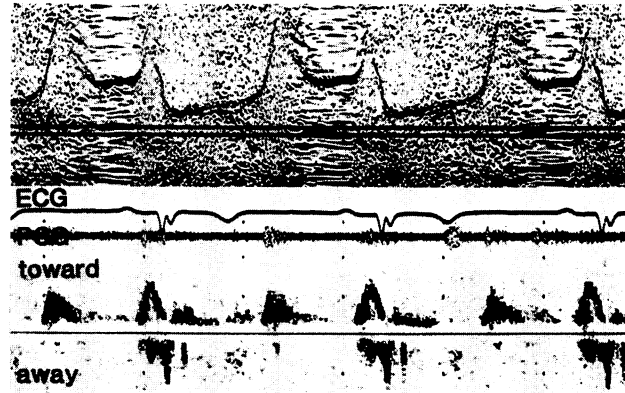
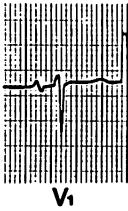
検討した虚血性心疾患、高血圧ならびに心筋疾患などの症例においても、V₁ 誘導の P-terminal force が -0.04 mmsec をこえている場合には、急速流入期における房室間血流量は減少し、心房収縮期においてこれを代償する房室間血流量の増大が生じていると考えられた。

DiBianco¹⁴⁾や Forfang ら¹⁵⁾の報告では、V₁ 誘導の P-terminal force は肺動脈楔入圧や左室拡張終期圧と有意な相関関係にあることが示されている。本研究においても、P-terminal force は急速流入速度や心房収縮速度、およびこれらの比と良好な相関関係を認めることができた。これらの

1. 53yrs. female



2. 55yrs. female



3. 57yrs. female

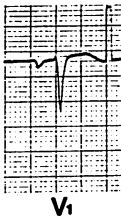


Fig. 9. Pulsed Doppler echocardiograms in three patients with old myocardial infarction.

Case 1: Patient in the negative group.

Case 2: Patient in the intermediate group.

Case 3: Patient in the positive group.

SV=sampling volume; ECG=electrocardiogram; PCG=phonocardiogram.

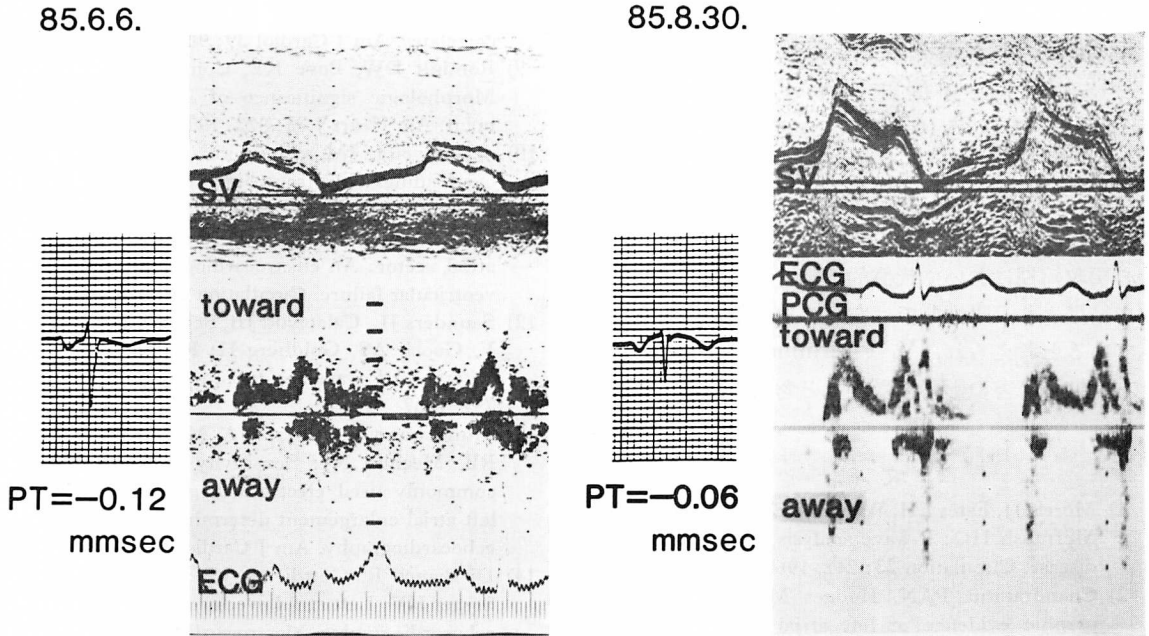


Fig. 10. Changes in left ventricular inflow velocity patterns obtained by pulsed Doppler echocardiograms and P-terminal force before (left panel) and after coronary artery bypass graft (right panel) in a patient with unstable angina (63 years old man).

Abbreviations are the same as in the preceding figures.

ことより、虚血性心疾患や高血圧などの例ではV₁誘導のP-terminal forceに影響を及ぼす一つの因子として、左室の拡張障害が存在すると考えられた。PDEによる左室流入路から得られる急速流入波と心房収縮波は、正常人においても年齢によって影響を受けると言われている¹⁹⁾。すなわち、加齢とともに急速流入速度は低下し、心房収縮速度は高値を示してくる。PDEによる左室流入路から得られる急速流入波と心房収縮波が、単に左室の拡張障害の程度のみを反映しているか否かは今後の検討に待たなければならないが、PT陽性群および陰性群を同年齢および同疾患群間で比較した場合に、PT陽性群において認められた急速流入速度の低下と心房収縮速度の増加は、左室の拡張障害を反映していると思われた。

要 約

超音波パルス・ドップラー法の左室流入波形を用い、V₁ P-terminal force (V₁-PT) と左室拡張動態、左房収縮動態との関係について評価した。対象は陳旧性心筋梗塞 54 例、高血圧 56 例、狭心症 48 例、拡張型心筋症 19 例、その他の疾患 16 例であり、僧帽弁疾患は除外した。対象を以下の三群に分類した。陽性群；V₁-PT ≤ -0.04 mmsec, 中間群；0 > V₁-PT > -0.04 mmsec, 陰性群；V₁-PT ≥ 0 mmsec。

1. 陽性群では他群と比較して、急速流入波の最大流速(R)が低値を示し、減速時間は延長、加速度および減速度は低値を示した。

2. 陽性群では他群と比較して、心房収縮波の最大流速(A)は低値を示し、心房収縮時間の延長を認めた。

3. 陽性群の A/R は他群と比較し高値を示した。

4. 陽性群と中間群の V_1 -PT は A/R ($r=0.83$, $p<0.01$), R ($r=-0.58$, $p<0.01$) および A ($r=0.48$, $p<0.01$) とそれぞれ有意な相関を示した。

陽性群では急速流入期の流入血流量は減少し、心房収縮期において代償の増加を認めた。これらの結果より、陽性群では左室の拡張能が障害されていると考えられ、 V_1 P-terminal force の値は左室拡張障害の影響を受けると考えられた。

文 献

- 1) Morris JJ, Estes EH, Whalen RE, Thompson HK, McIntosh HD: P-wave analysis in valvular heart disease. *Circulation* **23**: 242, 1964
- 2) Chandraratna PAN, Hodges M: Electrocardiographic evidence of left atrial hypertension in acute myocardial infarction. *Circulation* **47**: 493, 1973
- 3) Heikkilä J, Hugenholtz PG, Tabakin BS: Prediction of left heart filling pressure and its sequential change in acute myocardial infarction from the terminal force of the P wave. *Br Heart J* **35**: 142, 1973
- 4) Termini BA, Lee YC: Echocardiographic and electrocardiographic criteria for diagnosing left atrial enlargement. *South Med J* **68**: 161, 1975
- 5) Chirife R, Feitosa GS, Frankl WS: Electrocardiographic detection of left atrial enlargement: Correlation of P wave with left atrial dimension by echocardiography. *Br Heart J* **37**: 1281, 1975
- 6) Waggoner AD, Adyanthaya AV, Quinones MA, Alexander JK: Left atrial enlargement: Echocardiographic assessment of electrocardiographic criteria. *Circulation* **54**: 553, 1976
- 7) Probst P, Hunter J, Gamble O, Cohn K: Investigation of atrial aberration as a cause of altered P wave contour. *Am Heart J* **86**: 516, 1973
- 8) Josephson ME, Kastor JA, Morganroth J: Electrocardiographic left atrial enlargement: Electrocardiographic and hemodynamic correlates. *Am J Cardiol* **39**: 967, 1977
- 9) Romhilt DW, Bove KE, Conradi S, Scott RC: Morphologic significance of left atrial involvement. *Am Heart J* **83**: 322, 1972
- 10) de Oliveira JM, Zimmerman HA: Auricular overloads: Electrocardiographic analysis of 193 cases. *Am J Cardiol* **3**: 453, 1959
- 11) Sutnick AL, Soloff LA: Posterior rotation of the atrial vector: An electrocardiographic sign of left ventricular failure. *Circulation* **26**: 913, 1962
- 12) Saunders JL, Calatayud JB, Schulz KJ, Maranhao V, Gooch AS, Goldberg H: Evaluation of ECG criteria for P wave abnormalities. *Am Heart J* **74**: 757, 1967
- 13) Munuswamy K, Alpert MA, Martin RH, Whiting RB, Mechlin NJ: Sensitivity and specificity of commonly used electrocardiographic criteria for left atrial enlargement determination by M-mode echocardiography. *Am J Cardiol* **53**: 829, 1984
- 14) Di Bianco R, Gottdiener JS, Fletcher RD, Pipberger HV: Left atrial overload: A hemodynamic, echocardiographic, electrocardiographic and vectorcardiographic study. *Am Heart J* **98**: 478, 1979
- 15) Forfang K, Stake G: P wave terminal force and persisting ST elevations in chronic ischemic heart disease. *Am Heart J* **92**: 297, 1976
- 16) 松尾裕英, 北島 頭, 浅生雅人, 寺尾祐輔, 三嶋正芳, 千田彰一, 島津 敬, 田内 潤, 阿部 裕: 左室流入血流パターンからみた高血圧症, 肥大型心筋症心筋梗塞における左室拡張機能に関する検討. *J Cardiogr* **10**: 697, 1980
- 17) 竹村晴光, 大木 崇, 村尾明之, 福田信夫, 浅井幹夫, 大島千寿子, 沢田誠三, 仁木敏晴, 森 博愛: 超音波パルス・ドップラー法による肥大型心筋症の左室流入路および流出路血流動態の検討. *J Cardiogr* **11**: 125, 1981
- 18) 浅井幹夫, 大木 崇, 竹村晴光, 村尾明之, 福田信夫, 大島千寿子, 仁木敏晴, 森 博愛: 肥厚部位から分類した肥大型心筋症各型の左室流入血流パターンについて. *日超医講演論文集* **38**: 289, 1981
- 19) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Owa M, Nakasone I, Sakakibara H, Nimura Y: Augmentation of atrial contribution to left ventricular inflow with aging as assessed by intracardiac Doppler flowmetry. *Am J Cardiol* **53**: 586, 1984