

経皮的冠動脈形成術
(PTCA) の左室収縮予備能
に及ぼす効果: 等尺性負荷
パルス・ドップラー法, 断層
心エコー図法による検討

Evaluation of left ven-
tricular systolic function
reserve before and after
percutaneous translumi-
nal coronary angioplasty
by isometric exercise
Doppler and two-dimen-
sional echocardiography

今村 吉彦

Yoshihiko IMAMURA

Summary

Left ventricular systolic function reserve (LVSFR) was assessed by isometric exercise Doppler and two-dimensional echocardiography before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA) in 28 patients with coronary artery disease.

Pulsed Doppler echocardiograms were obtained from the sample volume which was placed just below the aortic valve in the apical long-axis view. Three parameters, including peak velocity (PV), acceleration time (AT), and mean acceleration (ACC), were measured before and at the end of 2 min-handgrip exercise. The area reduction rate (AR) was calculated from the two-dimensional echocardiograms at the level of the papillary muscle in the short-axis view obtained at rest and at the end of exercise. Percent changes of these 4 parameters (%PV, %AT, %ACC, %AR) from at rest to the end of exercise were also calculated before and after PTCA.

No significant changes were detected in PV, AT, ACC and AR at rest, before and after PTCA. Percent changes of PV, ACC, and AR increased significantly ($p < 0.01$), while those of AT decreased significantly after PTCA ($p < 0.01$).

Our method proved to be useful for assessing LVSFR in coronary artery disease and the findings obtained using this method suggested that LVSFR can be alleviated by successful PTCA.

Key words

Percutaneous transluminal coronary angioplasty
Doppler echocardiography

Left ventricular systolic function

Isometric exercise

東邦大学医学部大橋病院 第三内科
東京都目黒区大橋 2-17-6 (〒153)

The Third Department of Internal Medicine, Toho
University, Ohashi Hospital, Ohashi 2-17-6, Meguro-
ku, Tokyo 153

Received for publication September 1, 1990; accepted December 14, 1990 (Ref. No. 37-5)

はじめに

経皮的冠動脈形成術 (PTCA) は、1977 年 Grüntzig が臨床応用に成功して以来¹⁾, 広く普及し、それとともに、その左室機能に及ぼす効果を各種検査法で評価した報告がみられる。

上田ら²⁾は、陳旧性心筋梗塞例に PTCA を施行し、慢性期に左室の壁運動が改善することを左室造影より検討し、鈴木ら³⁾は、PTCA により左室拡張能が改善することをパルス・ドップラー法を用いて明らかにした。

しかし、PTCA 後の比較的早期の心予備能を収縮能の面から評価した報告は少ない。したがって、我々はこの時期の等尺性負荷による左室血流速度と左室形態の変化から、その非観血的評価を試みた。

対象および方法

対象は冠動脈造影で 75% 以上の有意狭窄を有する陳旧性心筋梗塞患者で、待機的 PTCA により病変の 20% 以上の拡張、または残存狭窄 25% 以下の改善が得られた 28 例 (一枝病変 14 例, 多枝病変 14 例) である。患者の平均年齢は 58 ± 9 歳である (Table 1)。PTCA は、AHA 分類で RCA #1, 2, LAD #6, 7, LCX #11, 12, 13 に施行し、多枝病変例は culprit lesion 一枝に行なった例である。

等尺性負荷は、握力計を用いた handgrip exercise により、あらかじめ測定した最大握力の 50% を 2 分間持続することによって行なった。

心尖部左室長軸断層面にて大動脈弁直下に sample volume をおき、パルス・ドップラー法を用い、角度補正した左室駆出血流波形を記録した。心エコー図記録装置は東芝製 SSH 65A または 160A で、超音波周波数は 2.5 MHz, パルス繰り返し周波数 4 KHz, 紙送り速度は毎秒 50 mm または 100 mm で、fast Fourier transform (FFT) によりスペクトル表示されたドップラー波形を記録した。得られた血流波形から Fig. 1 のごとく

Table 1. Patients' profile

Cases (number):	28 (male: 24, female: 4)
Age (yrs):	37~77 (mean: 58 ± 9)
One vessel disease (1VD):	14 cases (mean: 56 ± 9 yrs)
	LAD 8 cases
	LCX 3 cases
	RCA 3 cases
Multi-vessel disease (MVD):	14 cases (mean: 61 ± 9 yrs)
	LAD+LCX 3 cases
	LAD+RCA 1 cases
	LCX+RCA 5 cases
	3VD 5 cases

LAD=left anterior descending artery; LCX=left circumflex artery; RCA=right coronary artery.

最大血流速度 (peak velocity: PV), 加速時間 (acceleration time: AT) を連続 5 心拍測定して平均値を算出し、さらに PV / AT (mean acceleration: ACC) を求めた。心エコー図記録は安静時および負荷 2 分時に行ない、同時に収縮期血圧 (systolic blood pressure: SBP), 拡張期血圧 (diastolic blood pressure: DBP), 心拍数 (heart rate: HR) を測定した。

パルス・ドップラー法施行後、血圧、脈拍の安静時レベルまでの回復を待って、胸骨左縁から断層心エコー図法により乳頭筋レベルの短軸像を描出し、明瞭に描出し得た 18 例 (一枝病変 10 例, 多枝病変 8 例) に対し、再度前述と同様の等尺性負荷を行ない、安静時、負荷中の乳頭筋レベルの短軸像をビデオに録画し、再生像より安静時および負荷 2 分時で、Fig. 2 に示すごとく、面積縮小率 (rate of area reduction: AR) を求め、連続 3 心拍の平均値を算出した。

さらに安静時の PV, AT, ACC, AR に対する負荷 2 分時の各変化率 (%PV, %AT, %ACC, %AR) を、PTCA 前後で比較検討した (Table 2)。以上の検査は PTCA 施行前日と施行 3~5 日後に行なった。

有意差検定には paired Student's t-test を用

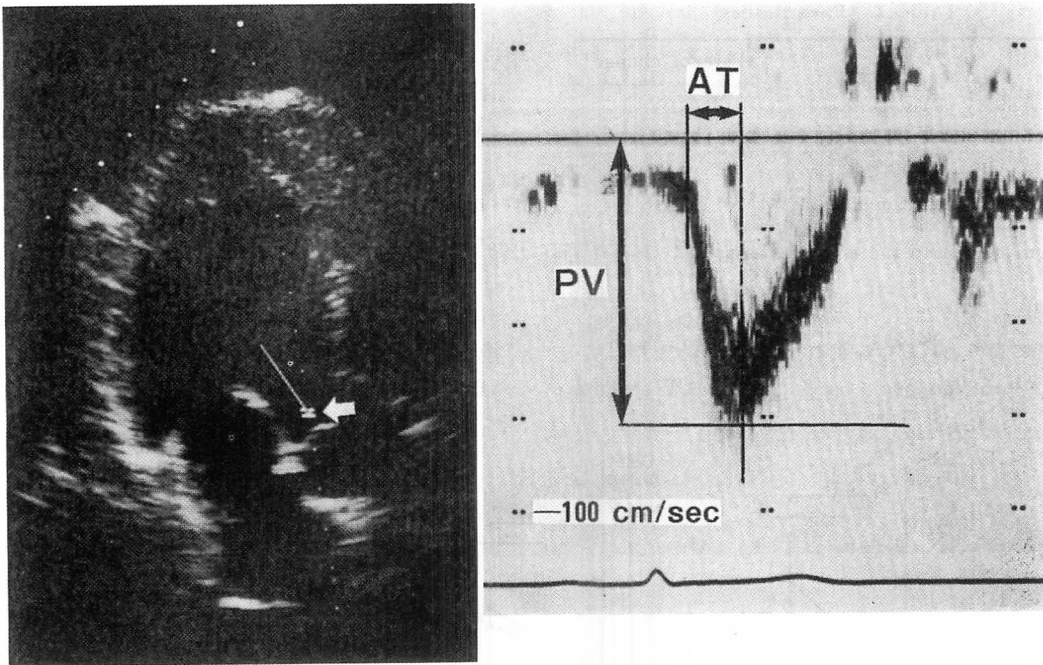
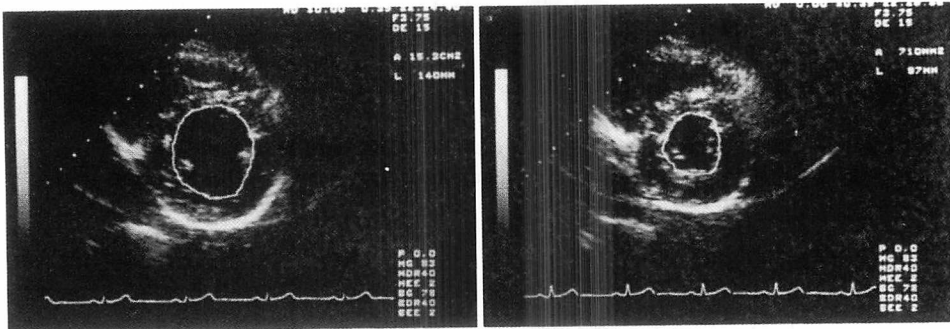


Fig. 1. Measurement of left ventricular ejection flow velocity.
Arrow indicates sample volume.



End-diastole
Area = 15.3 cm²

End-systole
Area = 7.1 cm²

$$AR = \frac{\text{end-diastolic area} - \text{end-systolic area}}{\text{end-diastolic area}} = 0.54$$

Fig. 2. Measurement of the area reduction rate (AR).

い、危険率 0.05 以下を有意とした。

成績

1. 血圧と心拍数

等尺性負荷により SBP, DBP, HR は全例にお

いて有意に上昇した。それらの安静時および負荷時の値は、PTCA 前後で有意差はなかった (Fig. 3).

2. PV, AT, ACC

安静時の各指標は、PTCA 前後において有意

Table 2. Parameters

	Percent change*
Peak velocity (PV)	%PV
Acceleration time (AT)	%AT
Mean acceleration (ACC)	%ACC
Rate of area reduction (AR)	%AR

* from at rest to the end of exercise.

差を認めなかった。

負荷により、PTCA 前の PV は 96.0 ± 14.2 から 92.1 ± 13.8 cm/sec へ有意に減少、AT は 86.2

± 11.1 から 90.7 ± 10.3 msec へ有意に増加、ACC は $1,129.2 \pm 205.1$ から $1,028.1 \pm 196.6$ cm/sec² へ有意に減少した。それに対し、PTCA 後には、PV は 94.0 ± 14.7 から 97.4 ± 17.1 cm/sec へ有意に増加、AT は 87.0 ± 9.5 から 85.4 ± 10.9 msec へ減少、ACC は $1,089.7 \pm 186.9$ から $1,157.1 \pm 246.1$ cm/sec² へ有意に増加した (Fig. 4)。

3. %PV, %AT, %ACC

%PV は PTCA 前 $-3.9 \pm 5.7\%$ から PTCA 後 $3.8 \pm 9.3\%$ へ有意に増加、%AT は PTCA 前 $6.0 \pm 10.2\%$ から PTCA 後 $-1.7 \pm 7.4\%$ へ有意

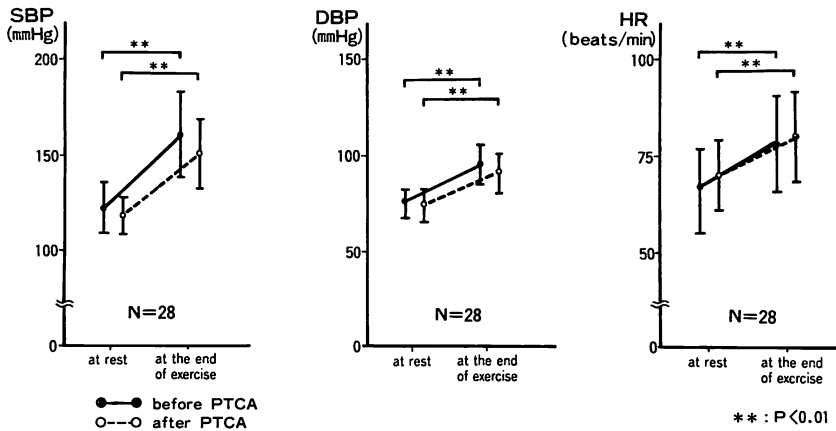


Fig. 3. Effects of isometric exercise on SBP, DBP and HR.

SBP=systolic blood pressure; DBP=diastolic blood pressure; HR=heart rate.

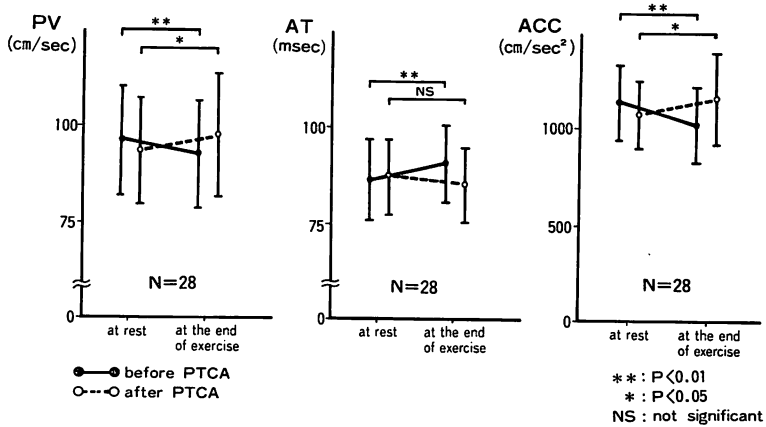


Fig. 4. Changes of PV, AT and ACC from at rest to the end of exercise before and after PTCA.

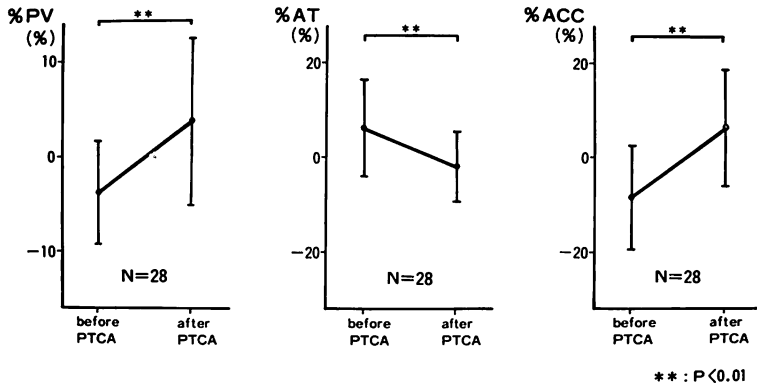


Fig. 5. Percent changes of PV, AT and ACC before and after PTCA.

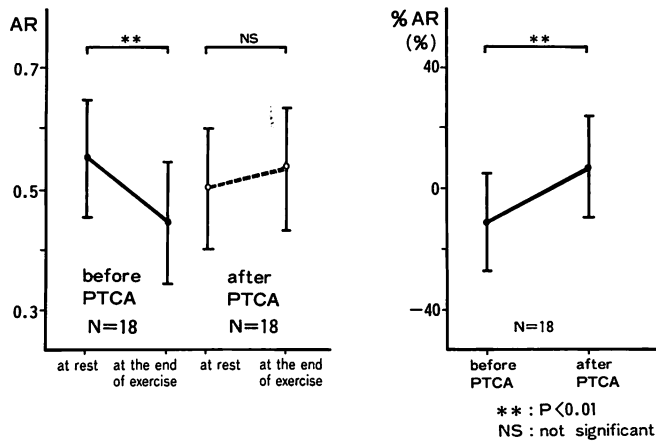


Fig. 6. Changes of AR and percent changes of AR before and after PTCA.

に減少, %ACC は PTCA 前 $-8.3 \pm 11.9\%$ から PTCA 後 $6.2 \pm 12.6\%$ へ有意に増加した (Fig. 5).

4. AR, %AR

安静時の AR は, PTCA 前後において有意差を認めなかった。

負荷により, PTCA 前の AR は, 0.55 ± 0.1 から 0.47 ± 0.1 へ有意に減少したのに対し, PTCA 後は, 0.50 ± 0.1 から 0.53 ± 0.1 へ増加した。%AR は PTCA 前は $-12.0 \pm 16.4\%$ であったが, PTCA 後は $6.5 \pm 17.6\%$ へ有意に増加した (Fig. 6).

5. 冠動脈病変の相違による比較

パルス・ドップラー法より得られた %PV と断層心エコー図法より得られた %AR について, PTCA 前後での変化を, 一枝病変群と多枝病変群について検討した。一枝病変群では, PTCA により %PV は $-3.5 \pm 5.2\%$ から $6.1 \pm 6.7\%$ へ, %AR は $-11.0 \pm 18.5\%$ から $10.4 \pm 13.6\%$ へ有意に増加したのに対し, 多枝病変群では, %PV は $-4.2 \pm 6.2\%$ から $1.5 \pm 10.9\%$ へ, %AR は $-13.3 \pm 13.2\%$ から $1.6 \pm 20.6\%$ へと増加傾向は認められたが, 有意差はなく, 改善度は一枝病変群に比して低かった (Fig. 7).

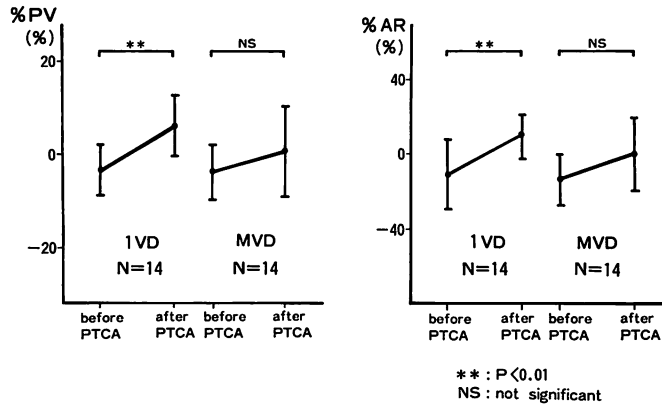


Fig. 7. Percent changes of PV and AR before and after PTCA in 1VD and MVD groups. 1VD=1-vessel disease; MVD=2- or 3-vessel disease.

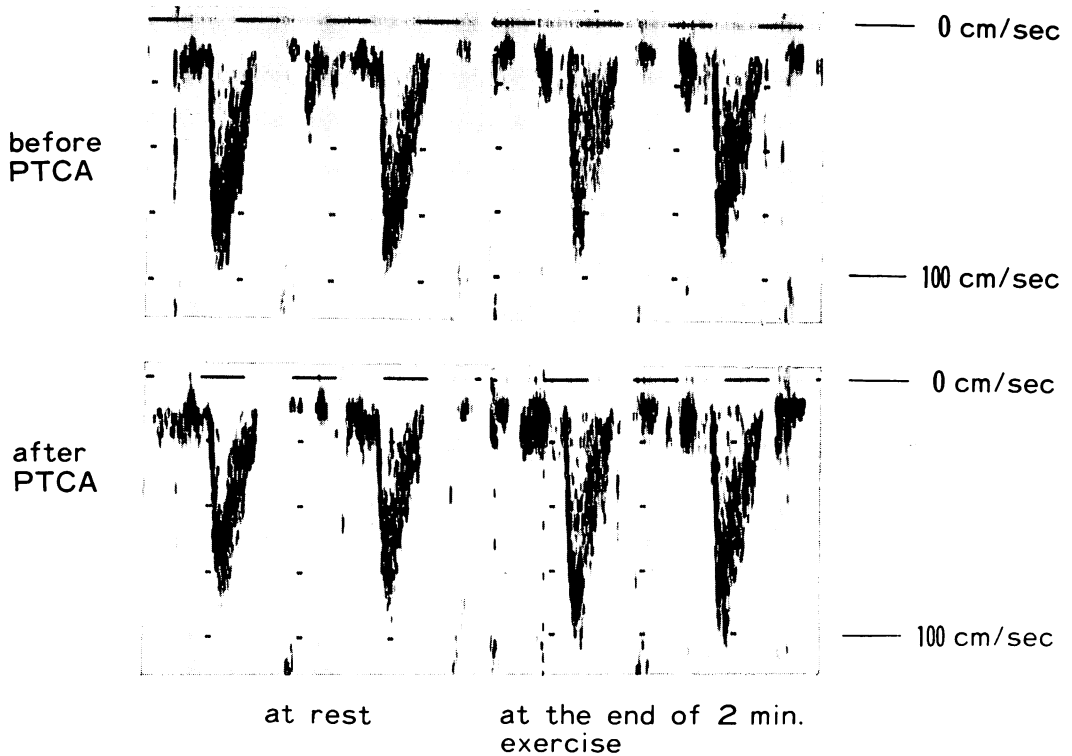


Fig. 8. Pulsed Doppler recordings of the left ventricular ejection flow in a 58-year-old man who underwent successful PTCA of the LAD. PV increased markedly during handgrip exercise after PTCA.

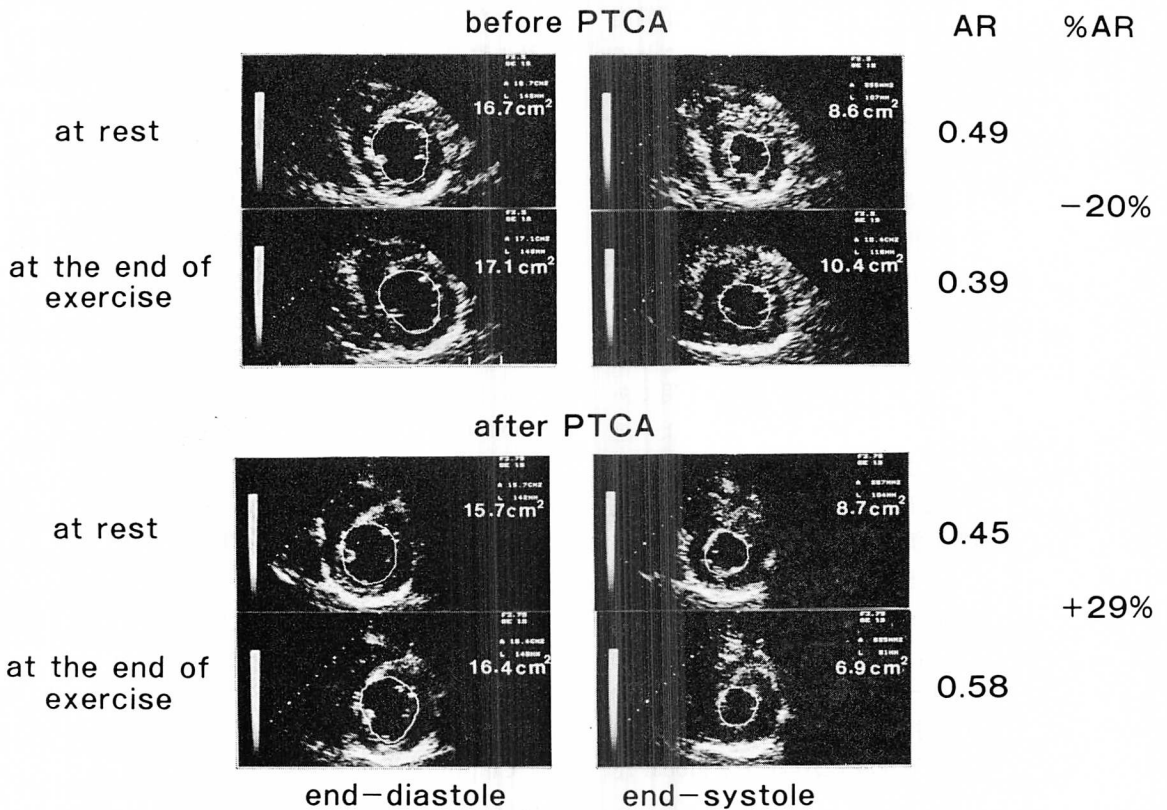


Fig. 9. Two-dimensional exercise echocardiograms of short-axis view in a patient with 1VD before and after PTCA.

Percent change of AR increased after PTCA.
1VD=1-vessel disease.

Fig. 8 は 58 歳男性で、LAD 一枝に PTCA を行なった症例のドップラー波形である。安静時および負荷 2 分時の左室駆出血流波形で、PTCA 前では負荷により PV の減少が認められるのに対し、PTCA 後は PV の増加が認められた。また左室短軸断層図から得られた AR は、PTCA 前には負荷により減少したが、PTCA 後は増加し、%AR も増加した (Fig. 9)。

考 按

虚血性心疾患患者の心機能は、安静時には正常でも、心予備力の低下があるため、その評価には各種負荷試験が用いられている。運動負荷試験

は、主として階段昇降、トレッドミル、エルゴメーターなどによる等張運動が用いられるが、日常動作の一部である等尺運動は、安全で簡単に施行でき、反復検査も容易なことから、各種疾患の心機能予備能評価に利用されている。この方法は等張運動と比べると、心拍数、心拍出量の増加は中等度であるが、血圧が著しく上昇し、左室へ急性後負荷を与えるとされている⁴⁻⁶⁾。

虚血性心疾患患者に対して等尺運動である handgrip exercise を行ない、左室造影や M モード心エコー図法による左心機能を検討した研究では、左室駆出率や 1 回拍出量の低下、左室拡張末期径の増大が認められている⁶⁻⁹⁾。しかし壁運動

異常の出現が予想される虚血性心疾患の心予備能を、Mモード心エコー図のみで評価することには問題があり、近年、断層心エコー図法による壁運動評価が試みられている^{10,11)}。Moynihanらや水谷らは、乳頭筋レベルにおける左室短軸像での断面面積変化率が左室壁の異常運動を定量的に評価する上に適した指標であるとしており^{12,13)}、本研究においても、これを左室機能を反映した収縮能の評価指標とした。

また大動脈起始部の最大血流速度や加速度が、左室収縮能を評価する指標の一つとして有用であることは、観血のおよび非観血の検査法により証明されており¹⁴⁻¹⁶⁾、さらに等張運動負荷試験に際し、従来から連続波ドップラー法を用い、胸骨上窩から上行大動脈血流を測定して虚血性心疾患の運動予備能を評価する報告は少なくない¹⁷⁻²¹⁾。

本研究ではパルス・ドップラー法による左室駆出血流速を用いたが、この方法は、心筋梗塞による左室のジオメトリーの変化を受け難く、深さ方向での距離分解能を持っているため、負荷中も同位置での安定した血流速波形が得られ、globalな左心機能を評価する上で特に有用であると考えられた。また、角度補正、ゼロシフトを用いたため、aliasingをおこした症例は1例もなかった。

指標の一つとした mean acceleration (PV/AT = ACC) は、PV と AT から求めた平均加速度であり、最大加速度ではないため、その絶対値は真の収縮能を表わしているとは言いが、簡便に求められ、また負荷によるその変化は収縮能の変化を反映しているものと考えられる。我々は以前、健常例では handgrip exercise により %PV、%ACC は増加するのに対し、陳旧性心筋梗塞例ではいずれも低下し、これらの指標は左室収縮能の評価に有用であることを報告した²³⁾。

PTCA は十分な冠血流を再開させることにより虚血性心疾患の一治療法として確立されており、心機能に良好な影響を及ぼすと考えられているが、PTCA 後の心機能回復の時期についてはまだ定説がない。Prestiらの断層心エコー図法を

用いた検討では、PTCA 施行6日後に局所壁運動の改善が得られたと報告している²⁴⁾。本研究では、PTCA 施行前日と施行3~5日後の比較的早い時期に handgrip exercise を行ない、左室収縮予備能が PTCA 施行後早期より改善しているか否かも検討した。本研究の成績では、安静時は PTCA 前後の各指標に有意差を認めなかった。これはこれらの症例における心筋虚血が、安静時の心機能に及ぼす影響がほとんどないと考えられる待機的 PTCA の症例におけるものであったためと考えられる。しかし、これらの症例に handgrip exercise を施行すると、PTCA 前では PV、ACC、AR のいずれもが低下し、AT は延長した。それに対して PTCA 後では PV、ACC、AR のいずれもが増加し、AT は短縮傾向を示した。また PV、ACC、AR の変化率は PTCA 前後で有意に増加し、AT の変化率は有意に低下した。これは、PTCA による虚血部位の冠血流の改善が、収縮予備能の改善をもたらしたためと考えられた。

Culprit lesion 一枝に対してのみ PTCA を施行した多枝病変群に比し、一枝病変群の各指標の改善度が高かったことは、完全血行再建例では、PTCA 後の比較的早期(3~5日)から心予備能の改善が期待できることを示していると考えられる。

また、ドップラー法により求めた PV、AT、ACC と断層心エコー図法により求めた AR との各相関は $r=0.40$ 前後と低く、特に多枝病変群で不一致例が多かった。これは、左室の一横断壁面の動きと、心収縮の総和が集約される流出部血流の状態とが、必ずしも同一の状態を示すものではないことを示唆するものであり、本研究の結果からは、左室流出路における PV と ACC は総体的な収縮能を反映し、左室横断面における AR はむしろ局所の収縮能を表わすと考えるのが妥当かもしれない。本研究における AR は乳頭筋レベルでの変化をみており、虚血領域の広い多枝病変例では、それ以外の部位の変化は、AR によってはあ

まり表現されていないと考えられる。しかしながら、いずれの指標も、各指標についてみると global な左心機能を反映しており、その変化から、負荷に対する心予備能を臨床的に評価するには有用であろうと考えられる。

要 約

陳旧性心筋梗塞 28 例に等尺性負荷を施行し、経皮的冠動脈形成術 (PTCA) が左室収縮予備能に及ぼす効果を、パルス・ドップラー法、断層心エコー図法を用いて評価した。

左室流出路におけるパルス・ドップラー波形から、左室駆出血流最大速度 (PV)、加速時間 (AT)、平均加速度 (ACC) を、また乳頭筋レベルの左室短軸断層図より面積縮小率 (AR) を、いずれも安静時および等尺性負荷 2 分後に計測した。さらにこれら諸指標の負荷による変化率 (%PV, %AT, %ACC, %AR) を算出し、PTCA 前後で比較検討した。

安静時におけるこれら 4 指標は PTCA 前後で有意な差を示さなかったが、それらの変化率のうち、%PV, %ACC, %AR は PTCA 後に有意に増加し、%AT は逆に有意に減少した。

等尺性負荷による左室駆出血流波形の分析と左室短軸断面面積縮小率の変化についての評価は、PTCA の左室収縮予備能に及ぼす効果判定に有用であり、特に一枝病変例では、多枝病変例に比し、比較的早期より左室収縮予備能の改善が示唆された。

謝 辞

稿を終るにあたり、御指導、御校閲を賜った町井 潔教授、平井寛則講師に深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) Grüntzig A, Senning A, Siegenthaler WE: Non-operative dilatation of coronary artery stenosis: Percutaneous transluminal coronary angioplasty. *N Engl J Med* **301**: 61, 1979
- 2) 上田欽造, 玉井秀男, 上畠 拓, 小田原健一, 山形

- 高志, 許 永勝, 浮村 聡, 本原征一郎, 芹生陽一: 冠動脈形成術 (PTCA) の心機能に及ぼす効果. *循環器科* **23**: 536-539, 1988
- 3) 鈴木真事, 榎田光夫: 経皮経管的冠動脈形成術の左室拡張能に及ぼす効果: パルス・ドップラー法による検討. *J Cardiol* **17**: 683-690, 1987
- 4) Kivowitz C, Parmley WW, Donoso R, Marcus H, Ganz W, Swan HJC: Effects of isometric exercise on cardiac performance. *Circulation* **44**: 994-1002, 1971
- 5) 渡辺 坦, 傳 隆泰, 東後千穂子, 加藤和三, 小山西太郎: 心疾患に対する Handgrip 試験の臨床応用. *心臓* **6**: 199-208, 1974
- 6) 宮沢光瑞, 本名孝夫, 池田成昭, 白土邦男, 高橋良一, 渋谷秀雄, 大谷昌平, 林 健郎, 立木 楷, 石川欽司, 香取 暎: Isometric handgrip による左室機能の評価. *心臓* **7**: 657-662, 1975
- 7) Flessas AP, Connelly GP, Handa S, Tilney CR, Kloster CK, Rimmer RH, Keefe JF, Klein MD, Ryan TJ: Effects of isometric exercise on the end-diastolic pressure, volumes, and function of the left ventricle in man. *Circulation* **53**: 839-846, 1976
- 8) Miyazawa K, Honna T, Haneda T, Arai T, Nakajima T, Miura T, Kanzazawa M, Onodera S: Cineventriculographic analysis of left ventricular dynamics during sustained handgrip exercise. *Tohoku J Exp Med* **130**: 63-70, 1980
- 9) 藤井諄一, 渡辺 坦, 久保木正夫, 加藤和三: UCG による心機能評価 (第 10 報): 心筋異常例における等尺運動負荷時の心反応の検討. *日超医講演論文集* **28**: 203-204, 1975
- 10) Mitamura H, Ogawa S, Hori S, Yamazaki H, Hamada S, Nakamura Y: Two-dimensional echocardiographic analysis of wall motion abnormalities during handgrip exercise in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* **48**: 711-719, 1981
- 11) Ferrara N, Leosco D, Abete P, Longobardi G, Ilardi C, Caprio L, Vigorto C, Rengo F: Use of isometric exercise in diagnosis of critical coronary artery stenosis: A two-dimensional echocardiographic study. *J Cardiovasc Ultrasonogr* **6**: 207-211, 1987
- 12) Moynihan PF, Parisi AF, Feldman CL: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography: 1. Analysis of methods. *Circulation* **63**: 752-760, 1981
- 13) 水谷泰樹, 中野佐上, 岩瀬敬紀, 佐本哲男, 藤浪隆夫: 運動負荷心エコー図による心予備能の評価: 虚血性心疾患と健常例との対比. *J Cardiogr* **12**: 83-

- 92, 1982
- 14) Chung DCW, Chamberlain JH, Seed GFL: The effect of haemodynamic changes on maximum blood flow acceleration at the aortic root in the anaesthetized, open-chest dog. *Cardiovasc Res* **8**: 362-372, 1974
 - 15) Jewitt D, Gabe I, Mills C, Maurer B, Thomas M, Shillingford J: Aortic velocity and acceleration measurements in the assessment of coronary heart disease. *Eur J Cardiol* **1**: 299-305, 1974
 - 16) Sabbah HN, Khaja F, Brymer JF, MacFarland TM, Albert DE, Snyder JE, Goldstein S, Stein PD: Noninvasive evaluation of left ventricular performance based on peak aortic blood acceleration measured with a continuous-wave Doppler velocity meter. *Circulation* **74**: 323-329, 1986
 - 17) Daley PJ, Sagar KB, Wann LS: Doppler echocardiographic measurement of flow velocity in the ascending aorta during supine and upright exercise. *Br Heart J* **54**: 562-567, 1985
 - 18) Gardin JM, Kozlowski J, Dabestani A, Murphy M, Kusnick C, Allfie A, Russell D, Henry WL: Studies of Doppler aortic flow velocity during supine bicycle exercise. *Am J Cardiol* **57**: 327-332, 1986
 - 19) Mehta N, Bennett ED, Mannering D, Dawkins K, Ward DE: Usefulness of noninvasive Doppler measurement of ascending aortic blood velocity and acceleration in detecting impairment of the left ventricular functional response to exercise three weeks after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* **58**: 879-884, 1986
 - 20) Harrison MR, Smith MD, Friedman BJ, De-Maria AN: Uses and limitations of exercise Doppler echocardiography in the diagnosis of ischemic heart disease. *J Am Coll Cardiol* **10**: 809-817, 1987
 - 21) Daley PJ, Sagar KB, Collier BD, Kalbfleisch J, Wann LS: Detection of exercise induced changes in left ventricular performance by Doppler echocardiography. *Br Heart J* **58**: 447-454, 1987
 - 22) 川添康郎, 鄭 忠和, 川滝正光, 島袋国定, 生野博久, 木佐貫彰, 尾辻 豊, 有川清猛, 鹿島友義: 運動負荷連続波ドップラー心エコー図法による虚血性心疾患の運動予備能の評価. *J Cardiol* **17**: 445-454, 1987
 - 23) 今村吉彦, 石井一徳, 盛田俊介, 相川 丞, 徳山淳, 原田昌彦, 矢野仁雄, 鈴木真事, 西沢茂樹, 平井寛則, 町井 潔: 虚血性心疾患の左室収縮予備能に及ぼす等尺性負荷の影響: パルスドップラー法による検討. *J Cardiol* **19** (Suppl XX): 326, 1989 (abstr)
 - 24) Presti CF, Gentile R, Armstrong WF, Ryan T, Dillon JC, Feigenbaum H: Improvement in regional wall motion after percutaneous transluminal coronary angioplasty during acute myocardial infarction: Utility of two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* **115**: 1149-1155, 1988