

PTCA 治療後の運動耐容能

Exercise tolerance in patients after successful percutaneous transluminal coronary angioplasty

津本 定也
中川 泰洋
朝隈 進
成瀬 均
小正 尚裕
大柳 光正
立石 順
安富 栄生
藤谷 和大
岩崎 忠昭

Sadaya TSUMOTO
Yasuhiro NAKAGAWA
Susumu ASAKUMA
Hitoshi NARUSE
Naohiro KOMASA
Mitsumasa OHYANAGI
Jun TATEISHI
Nagao YASUTOMI
Kazuhiro FUJITANI
Tadaaki IWASAKI

Summary

In 32 patients with successful percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA), we performed treadmill exercise tests (TMET) before and about one month after PTCA to assess the correlation between the improvement in coronary artery lesions and exercise tolerance. Either the Bruce protocol (B: n=12) or the modified Bruce protocol (MB: n=20) was used; with the latter being applied to patients whose cardiac function seemed depressed. In 15 patients, oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) was measured by analyzing the expired gases, 13 patients underwent exercise thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy before and after PTCA, whose results were compared with those of TMET.

In both B and MB protocols, the treadmill walking time was significantly prolonged after PTCA, compared to that before PTCA (B: 7.4 ± 1.3 vs 9.5 ± 1.9 , MB: 11.4 ± 3.5 vs 12.7 ± 3.5 min). Heart rates (HR) and rate pressure products (RPP) were significantly increased after PTCA in both protocols (HR B: 139 ± 18 vs 154 ± 17 , MB: 121 ± 20 vs 137 ± 19 bpm, RPP B: $26,500 \pm 5,600$ vs $30,300 \pm 6,700$, MB: $19,400 \pm 6,200$ vs $22,700 \pm 6,600$ mmHg·bpm), however, systolic blood pressure did not change significantly after PTCA in either protocol. While there was a significant improvement in $\dot{V}O_2$ after PTCA (21.6 ± 6.3 vs 25.7 ± 4.2 ml/kg/min), the O_2 -pulse remained unchanged. Thallium-201 myocardial scintigraphy revealed improvement of myocardial perfusion in 8 of the 13 cases examined.

兵庫医科大学 第一内科
西宮市武庫川町 1-1 (〒663)

The First Department of Internal Medicine, Hyogo
College of Medicine, Mukogawa-cho 1-1, Nishino-
miya 663

Received for publication January 29, 1990; accepted May 7, 1990 (Ref. No. 35-121B)

The improvement in exercise tolerance was reflected in the prolonged exercise time and increased heart rate at the end-point. Although the difference was not statistically significant, improvement in patients assigned to the modified Bruce protocol tended to be less than in those assigned to the Bruce protocol. This suggested that patients with poor walking ability or low cardiac function tended to show less amelioration in exercise tolerance.

In conclusion, patients with successful PTCA showed improvement in their exercise tolerance, thus, treadmill exercise test can be useful for evaluating PTCA treatment.

Key words

Percutaneous transluminal coronary angioplasty

Exercise test

Oxygen consumption

目 的

経皮経管的冠動脈形成術 (PTCA) は, Grüntzig¹⁾ が 1977 年にヒトの冠動脈狭窄に応用して以来, 広く世界に普及し, 虚血性心疾患の非手術的冠動脈再建術として重要な役割を果たしている. PTCA が成功すれば冠狭窄の程度が減じ, 狭窄部の流量低下は改善し, またその機能的効果として, 狭心症の軽減を含め, 運動耐容能や運動負荷試験における虚血が改善されると報告されている²⁻⁷⁾. 一方, 循環器疾患の分野における運動負荷試験の目的は, 主として虚血性心疾患の診断にあったが, 近年では呼気ガスを分析して最大酸素摂取量を求めることにより, 心機能, 運動能力の評価, 運動処方決定なども行なわれるようになってきた⁸⁾. 今回 PTCA による器質的冠動脈病変の拡張が虚血心筋に及ぼす臨床的な治療効果や, 心機能に対する効果を評価する目的で, PTCA 前後で treadmill 運動負荷試験および thallium-201 運動負荷心筋シンチグラフィーを施行し, PTCA の有効性を検討した.

対象と方法

1. 対 象

対象は 1984 年 7 月から 1987 年 9 月までに待機的に PTCA を行なって成功し, PTCA 前後で treadmill 運動負荷試験を施行し得た 32 例である. 年齢は 42 歳から 72 歳, 平均 59.5 ± 8.8 歳, 性別は男性 29 例, 女性 3 例, その病型は心筋梗塞後狭心症 26 例, 労作性狭心症 6 例で, 標的冠動

脈数別にみると, 一枝病変 24 例, 二枝病変 8 例である. なお二枝病変例は二枝ともに PTCA を行なって拡張に成功したものである. PTCA の成功は施行時に狭窄が実測値で 30% 以上改善したものとした.

2. 方 法

運動負荷は treadmill による多段階負荷でプロトコルを Bruce 法 (12 例) および修正 Bruce 法 (20 例) を用いた. Bruce 法の平均年齢は 54.7 ± 7.3 歳, 修正 Bruce 法のそれは 62.2 ± 8.4 歳と, 後者で高齢となっている. Bruce 法の対象者は比較的脚力や心機能の保たれているもの, 修正 Bruce 法の対象者は, 脚力や心機能の低下が疑われるものとし, 70 歳以上は全例修正 Bruce 法に, 60 歳台については, 上記の脚力や心機能評価に従い, いずれかの方法を用いた. 60 歳未満の例は原則として Bruce 法で行なったが, 一部, 病型や多枝病変例で重症な例については修正 Bruce 法で施行した (Table 1). Treadmill 運動負荷試験は, PTCA 前としては PTCA 施行前日から 7 日前的までの期間に行ない, PTCA 後として術後 4~6 週目に施行した. この運動負荷試験では, 負荷前 12~24 時間, 無投薬とした. 負荷中止理由は胸痛や脚倦怠感などの症状, ST 水平低下 2 mm 以上, 重症不整脈出現, 収縮期血圧上昇不良時等である. 測定項目は運動耐容時間, 負荷終了時の心拍数, 収縮期血圧, rate pressure product で, 1986 年 9 月以後の 15 症例については, 負荷と同時に質量分析機を用い, 酸素摂取量, 炭酸ガス排出量を測定した. また 13 例については PTCA 前後

Table 1. Clinical characteristics of the study subjects

	Mean age (yrs)	Age distribution (yrs)	No.	Disease type		Number of target lesions	
Bruce protocol (n=12)	54.7±7.3	40~49	3	Effort angina	4 (33.3%)	1 vessel	10 (83.3%)
		50~59	5				
		60~69	4	OMI+AP	8 (66.7%)	2 vessels	2 (16.7%)
		70~	0				
Modified-Bruce protocol (n=20)	62.2±8.4	40~49	3	Effort angina	2 (10.0%)	1 vessel	14 (70.0%)
		50~59	4				
		60~69	9	OMI+AP	18 (90.0%)	2 vessels	6 (30.0%)
		70~	4				

AP=angina pectoris; OMI=old myocardial infarction.

で thallium-201 運動負荷心筋シンチグラフィを施行した。

成 績

Bruce 法での運動耐容時間は、PTCA 前 7.4±1.3 分、PTCA 後には 9.5±1.9 分と有意に延長し ($p<0.01$)、負荷終了時の心拍数は、前値 138.6±18.2 bpm、PTCA 後には 153.5±17.3 bpm と有意に増加した ($p<0.01$)。負荷終了時の収縮期血圧は PTCA 前後で 191.8±35.7 mmHg と 198.4±41.9 mmHg で、有意差はみられなかった。しかし rate pressure product は、PTCA 前後で 26,486±5,576 から 30,349±6,709 へと有意に増加した ($p<0.05$)。負荷前安静時の心拍数、収縮期血圧は PTCA 前後で有意差はなかった (Table 2)。

修正 Bruce 法では、運動耐容時間は PTCA 前後で 11.4±3.5 分と 12.7±3.5 分と、後者で有意に延長し ($p<0.05$)、負荷終了時の心拍数も 121.3±19.9 bpm から 136.5±19.4 bpm と有意に増加した ($p<0.01$)。負荷終了時の収縮期血圧は PTCA 前 (158.2±38.4 mmHg) と PTCA 後 (165.2±38.3 mmHg) で有意差は認められなかったが、負荷終了時の rate pressure product はそれぞれ 19,385±6,235、22,719±6,551 で有意に増加した ($p<0.05$)。負荷前安静時の心拍数、収縮

期血圧は PTCA 前後で有意差はなかった (Table 3)。

負荷終了時の酸素摂取量は PTCA 前が 1,357±411 ml/min、PTCA 後は 1,605±253 ml/min と有意に増加し ($p<0.01$)、体重当りの酸素摂取量も 21.6±6.3 ml/kg/min から 25.7±4.2 ml/kg/min と有意に増加したが ($p<0.01$)、 O_2 -pulse ($\dot{V}O_2/HR$) は 10.3 から 10.0 と変動を示さなかった (Table 4)。

運動負荷中止理由として PTCA 前では、胸痛 14 例、脚倦怠感 7 例、心電図変化 5 例であったのが、PTCA 後では胸痛 1 例、脚倦怠感 21 例、心電図変化 3 例と、負荷終了時の自覚症状の改善が認められた。

Thallium-201 運動負荷心筋シンチグラフィにおいても、13 例中 8 例に灌流の改善を認めた。この 13 例ではすべて、PTCA 施行後から thallium-201 運動負荷心筋シンチグラフィまで、胸痛等の症状や心電図変化を認めていない。PTCA 前後でシンチグラム上変化のみられなかった 5 例中、後に再狭窄を起こし、大動脈-冠状動脈バイパス術を施行したのは 2 例、他の 3 例は特に症状等なく、内科的に経過観察されている。

症例提示

症例：69 歳、男性、心筋梗塞後狭心症

左冠動脈の seg. 6, seg. 11 にそれぞれ 90% の

Table 2. Comparison of parameters between pre-PTCA and post-PTCA in the Bruce protocol group

	Bruce protocol						
	Exercise time (min)	HR (beats/min)		Systolic BP (mmHg)		RPP	
		Rest	End point	Rest	End point	Rest	End point
Pre-PTCA	7.4±1.3	79 ±15.8	138.6±18.2	125.2±19.9	191.8±35.7	9,883±2,425	26,486±5,576
Post-PTCA	9.5±1.9**	84.5± 9.5	153.5±17.3*	122.0±21.4	198.4±41.9	103,61±2,471	30,349±6,709**

Values are mean±SD. RPP=rate pressure product.
 * =p<0.01 vs pre-PTCA value; ** =p<0.05 vs pre-PTCA value.

Table 3. Comparison of parameters between pre-PTCA and post-PTCA in the modified Bruce protocol group

	Modified Bruce protocol						
	Exercise time (min)	HR (beats/min)		Systolic BP (mmHg)		RPP	
		Rest	End point	Rest	End point	Rest	End point
Pre-PTCA	11.4±3.5	76.6±10.2	121.3±19.9	118.8±27.4	158.2±38.4	9,068±2,230	19,385±6,235
Post-PTCA	12.7±3.5**	81.4±11.9	136.5±19.4*	120.3±21.6	165.2±38.3	9,826±2,468	22,719±6,551**

Values are mean±SD. RPP=rate pressure product.
 * =p<0.01 vs pre-PTCA value; ** p<0.05 vs pre-PTCA value.

Table 4. Comparison of oxygen consumption between pre-PTCA and post-PTCA

	$\dot{V}O_2$ (ml/min)	$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	$\dot{V}O_2$ -pulse
Pre-PTCA	1,357±411	21.6±6.3	10.3±2.5
Post-PTCA	1,605±253*	25.7±4.2*	10.0±2.4

Values are mean±SD.
 * =p<0.01 vs pre-PTCA value.

狭窄, 右冠動脈には有意狭窄なし. 左室造影上 seg. 3, seg. 6 に dyskinesis, seg. 2 に akinesis, また大動脈造影で1度の大動脈弁閉鎖不全を認めた. PTCA にて seg. 6, seg. 11 の狭窄はそれぞれ 25% に改善 (Fig. 1). PTCA 2日前の treadmill 運動耐容試験のプロトコールは Bruce 法で, 運動耐容時間 6 分, 負荷中止理由は胸痛出現. 負荷終了時の心拍数 125 bpm, 血圧 172/87 mmHg, rate pressure product 21,500, 酸素摂取量

1,140 ml/min, 体重あたりの酸素摂取量 16.8 ml/kg/min であった. PTCA 後 21 日目の運動耐容時間 7 分 12 秒, 負荷中止理由は脚倦怠感. 負荷終了時の心拍数 151 bpm, 血圧 240/76 mmHg, rate pressure product 36,240, 酸素摂取量 1,051 ml/min, 体重当りの酸素摂取量 25.8 ml/kg/min で, PTCA 前に比べて改善がみられた (Fig. 2). Thallium-201 運動耐容心筋シンチグラフィは, PTCA 前で運動耐容直後心尖部に欠損像, 前壁部に灌流低下, 運動耐容 3 時間後前壁部に再分布を認めた. PTCA 後, 運動耐容直後のイメージで前壁部灌流の改善をみた. 運動耐容 3 時間後では運動耐容直後同様, 前壁部灌流は改善されたままであった (Fig. 3).

考 按

PTCA は虚血性心疾患における非手術的血行

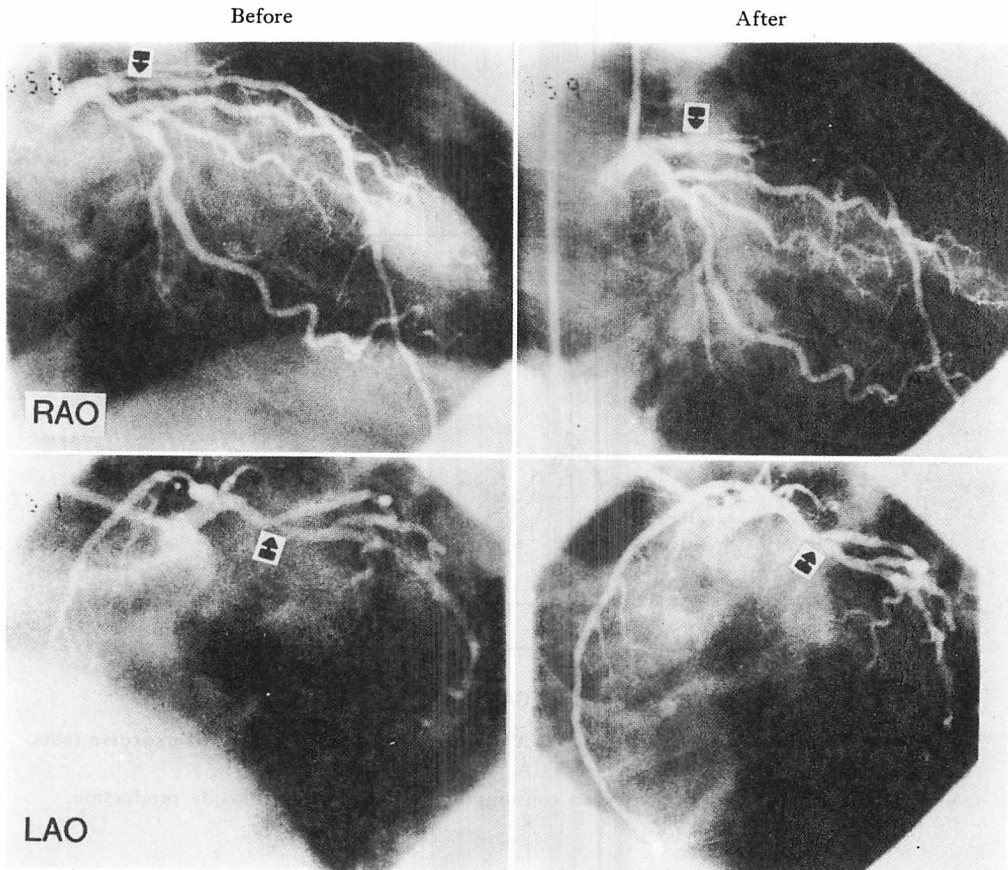


Fig. 1. Coronary angiograms showing the changes in the left coronary artery after PTCA. RAO=right anterior oblique projection; LAO=left anterior oblique projection.

再建術として確立された手法である。本報ではこの PTCA の臨床的効果、心機能に及ぼす影響について、運動負荷試験を用いて定量的な評価を試みた。その結果、treadmill 運動負荷試験における Bruce 法および修正 Bruce 法両方法において、PTCA 後、運動耐容時間、負荷終了時の心拍数、rate pressure product、および酸素摂取量の改善を認めた。PTCA 後におけるこれらの指標の上昇は冠血流量の増大を示唆している。

最近、運動負荷試験に併用される呼気ガス分析は、従来の指標よりも、心機能、運動能力の評価、運動処方にも有用である⁶⁾。個人の有酸素能力は、通常、最大酸素摂取量により評価され、その

再現性の良好なことから、運動耐容能評価に有用である。しかし虚血性心疾患患者に最大負荷を行なうことは危険であり、また虚血性心疾患発症前の有酸素能力を調べるのではなく、発症後の運動能力や、PTCA による治療効果を調べるのが本検討での目的である。そこで今回の検討では、運動負荷終了時の酸素摂取量から運動耐容能、心機能の評価を試みた。中野ら⁷⁾の報告によると、PTCA 後 1 週以内では、運動耐容時間、rate pressure product は PTCA 前に比し改善されたが、酸素摂取量は PTCA 前後に有意差はなく、これは 3 カ月後に初めて有意な改善を認めるといふ。しかし我々の検討では、PTCA 後 6~4 週間での運動

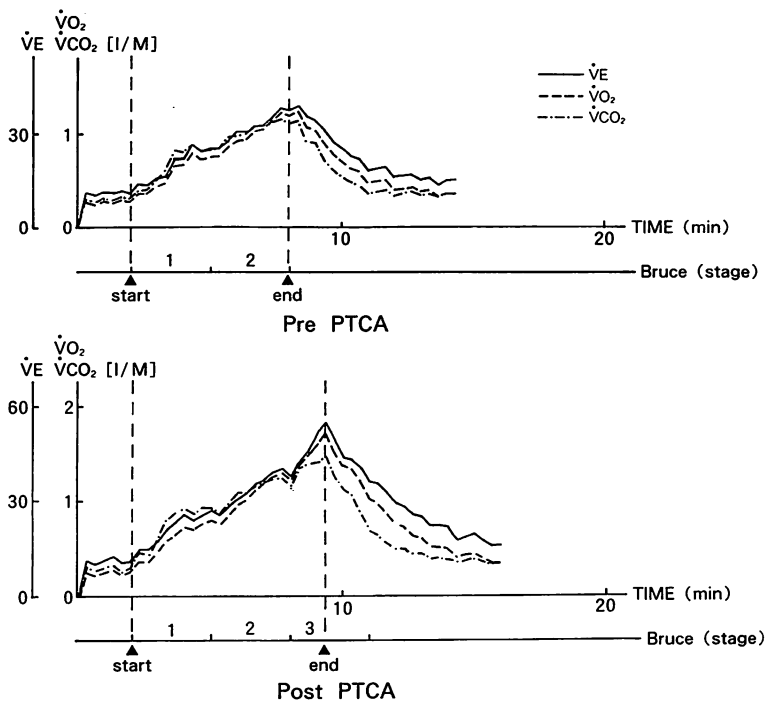


Fig. 2. Representative recordings of $\dot{V}E$, $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ during treadmill exercise tests.
 Exercise time and $\dot{V}O_2$ increased after PTCA.
 $\dot{V}E$ =ventilatory volume; $\dot{V}O_2$ =oxygen consumption; $\dot{V}CO_2$ =carbon dioxide production.

負荷試験で有意な改善を認め、また PTCA 後に rate pressure product の上昇を認めている。この上昇は、運動負荷終了時の収縮期血圧に変化がないことより、心拍数の増加が反映されたものとみなし得る。また PTCA 前後で O_2 -pulse の変化はみられなかった。Kent ら⁴⁾の報告によると、PTCA が成功した場合、それ以前に行なった運動負荷前後の駆出率に有意差がなくても、PTCA 後 14 日目には駆出率の有意な改善を認めたとしており、また PTCA 前後での比較でも運動負荷後の駆出率に有意な改善を認めた。今回の我々の成功例でみられた PTCA 後 3~4 週後の運動耐容能の改善は、Kent らのいう心機能の改善よりも、むしろ負荷終末点の延長や心拍数増加によるところが大きいと考えられる。

シンチグラム上の改善は 13 例中 8 例のみで、

改善のみられなかった 5 例のうち 2 例では、早期の再狭窄という可能性が示唆されている。Man-yari ら⁹⁾はシンチグラム上、PTCA 後早期の改善が認められなくても、6~9 カ月後に改善例が増加すると報告しているが、本報告ではシンチグラフィと treadmill 運動負荷試験とはほぼ同時期に施行されており、長期にわたるシンチグラム成績は不明である。したがって改善のみられなかった症例では、stunned または hibernating myocardium (気絶または冬眠心筋)の可能性も否定はできない。

Treadmill 運動負荷試験を施行するにあたり、本研究では対象者により Bruce 法、修正 Bruce 法のいずれかを行なった。両者とも運動耐容時間、負荷終了時心拍数、rate pressure product の有意な改善を認めたが、両方法では運動負荷に対する

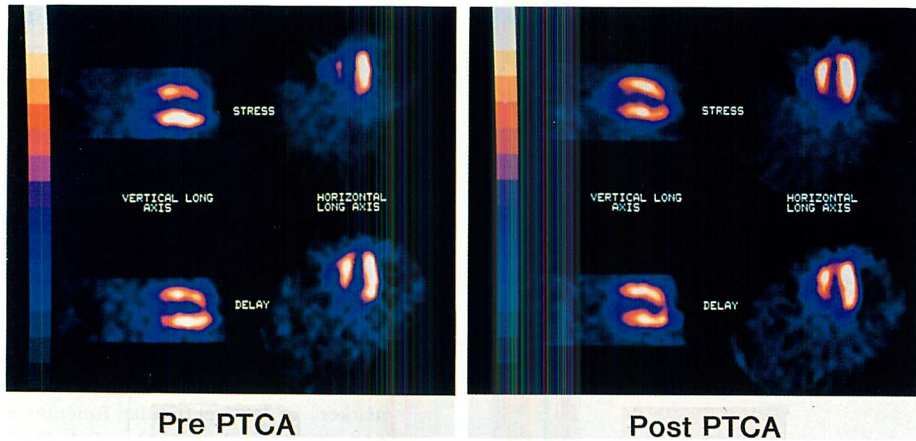


Fig. 3. Thallium-201 scintigrams showing the improved myocardial perfusion in the anterior wall after PTCA.

反応の違いがあった。

結果としては修正 Bruce 法を行なった患者の方が、Bruce 法を行なった患者群よりも、PTCA による改善程度が低い傾向にあった。この原因としては、修正 Bruce 法施行例の方が Bruce 法のそれよりも平均年齢が高いこと、前者に病型や病変からみて重症者が多く含まれていたこと、すでに脚力の低下している例が含まれていたことなどが考えられる。実際、脚力や心機能の低下例で運動負荷試験を行なうと、PTCA 後の改善の程度が低くなる傾向が認められている。

以上より、今回我々が行なった PTCA 成功例に対する treadmill 運動負荷試験において、術後、運動耐容能の改善を認めており、したがってこの方法は治療効果の判定に有用と考えられた。またこの改善は負荷終末点の延長、心拍数の増加によるところが大きかった。また修正 Bruce 法施行例では運動耐容能の改善の程度が低い傾向にあり、したがって脚力や心機能の低下例では、PTCA が成功しても、運動耐容能改善の程度が低くなる傾向を示したものと考えられた。

要 約

PTCA による冠動脈病変の改善が運動耐容能

にいかに関与するかを、PTCA 成功 32 例で、術前および 3 ないし 4 週後の treadmill 運動負荷試験により検討した。PTCA 前後で負荷法には Bruce 法または修正 Bruce 法を用いた。15 例では呼気ガス分析により負荷終了時の酸素摂取量を測定し、また 13 例に thallium-201 運動負荷心筋シンチグラフィーを施行した。

Bruce 法施行例での運動耐容時間は PTCA により 7.4 ± 1.3 分から 9.5 ± 1.9 分に延長し、負荷終了時の心拍数は 138.6 ± 18.2 bpm から 153.5 ± 17.3 bpm に増加した。負荷終了時の収縮期血圧は不変、同じく rate pressure product は $26,486 \pm 5,576$ から $30,349 \pm 6,709$ に増加した。修正 Bruce 法施行例での運動耐容時間は同じく 11.4 ± 3.5 分から 12.7 ± 3.5 分に延長し、負荷終了時の心拍数は 121.3 ± 19.9 bpm から 136.5 ± 19.4 bpm に増加、負荷終了時の収縮期血圧は PTCA 前後で不変であった。また負荷終了時の rate pressure product は $19,385 \pm 6,235$ から $22,719 \pm 6,551$ に増加した。負荷終了時の酸素摂取量は PTCA 前の 21.6 ± 6.3 ml/kg/min から術後 25.7 ± 4.2 ml/kg/min に増加した。しかし O_2 -pulse は PTCA 前後で変化しなかった。Thallium-201 運動負荷心筋シンチグラフィーでは、PTCA 前後で 13 例

中 8 例に改善を認めた。

以上より, 今回我々が行なった PTCA 成功例に対する術前後の treadmill 運動負荷試験は, 治療効果の判定に有用と考えられた。またこの際の運動耐容能の改善は, 負荷終末点の延長と心拍数増加によるところが大であった。修正 Bruce 法施行例の方が Bruce 法施行例よりも PTCA による運動耐容能改善の程度が低い傾向にあったが, これは脚力や心機能の低下例では, PTCA による運動耐容能改善の程度が低くなることを意味した。

文 献

- 1) Grüntzig AR, Senning A, Siegenthaler WE: Non-operative dilatation of coronary artery stenosis. *N Engl J Med* **301**: 61-68, 1979
- 2) Hirzel HO, Nuesch K, Gruentzig AR, Luetolf UM: Short-and long-term changes in myocardial perfusion after percutaneous transluminal coronary angioplasty assessed by thallium-201 exercise scintigraphy. *Circulation* **63**: 1001-1007, 1981
- 3) Scholl JM, Chaitman BR, David PR, Dupras G, Brevers G, Val PG, Crepeau J, Lesperance J, Bourassa G: Exercise electrocardiography and myocardial scintigraphy in the serial evaluation of the results of percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Circulation* **66**: 380-390, 1982
- 4) Kent KM, Bobert RO, Rosing DR, Ewels CJ, Lipson LC, McIntosh CL, Bacharach S, Green M, Epstein SE: Improved myocardial function during exercise after successful percutaneous transluminal coronary angioplasty. *N Engl J Med* **306**: 441-446, 1982
- 5) Lewis JF, Verani MS, Poliner LR, Lewis JM, Raizner AE: Effects of transluminal coronary angioplasty on left ventricular systolic and diastolic function at rest and during exercise. *Am Heart J* **109**: 792-798, 1985
- 6) Liu P, Kiess MC, Strauss HW, Boucher CA, Block PC, Okada RD: Comparison of ejection fraction and pulmonary blood volume ratio as markers of left ventricular function change after coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* **8**: 511-516, 1986
- 7) Nakano H, Yabe Y, Ohsawa H, Miyairi M, Igarashi M, Amemiya H, Yamashita T, Morishita T: Estimation of effect of dilatation in patients undergone successful transluminal coronary angioplasty in terms of treadmill exercise testing. *Coronary* **3**: 209-219, 1986 (in Japanese)
- 8) 外畑 巖, 近藤照夫, 加藤林也, 村松博文, 都築実紀: 運動負荷試験における呼気ガス分析の意義. *クリニカ* **10**: 101-106, 1983
- 9) Manyari DE, Knudtson M, Kloiber R, Roth D: Sequential thallium-201 myocardial perfusion studies after successful percutaneous transluminal coronary artery angioplasty: Delayed resolution of exercise-induced scintigraphic abnormalities. *Circulation* **77**: 86-95, 1988