

側副血行を供給する右冠動脈の血流動態：ドップラーカテーテル流速計による経皮的冠動脈形成術前後での検討

Coronary flow dynamics in the right coronary artery providing collateral circulation : Comparison before and after successful angioplasty with a Doppler catheter

根岸 耕二*
 半田俊之介
 石川 士郎
 岩永 史郎
 朝倉 靖
 和井内由充子
 阿部 純久
 谷 正人

Koji NEGISHI*
 Shunnosuke HANDA
 Shiro ISHIKAWA
 Shiro IWANAGA
 Yasushi ASAKURA
 Yumiko WAINAI
 Sumihisa ABE
 Masato TANI

Summary

Coronary blood flow dynamics were investigated in 9 patients with isolated coronary artery disease of the left anterior descending artery (LAD) with good collateral flow (grade 2 or 3 of Rentrop's classification) from the right coronary artery (RCA) and 20 patients with normal coronary arteries as controls. The coronary flow velocity (V_s : systolic peak, V_d : diastolic peak, V_m : mean) was measured with a Doppler catheter and the diameter (D) by the edge detection method in the proximal portion of the RCA. V_s/V_d was calculated. The areas under the velocity curve during systole (\int_s) and diastole (\int_d) were measured to obtain the ratio (\int_s/\int_d). Peak to resting velocity ratio (PRVR) was obtained as an index of coronary flow reserve, using intracoronary injections of 6 ml contrast medium or 8-12 mg papaverine. These parameters before percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA), after PTCA, and in control subjects were compared. The collaterals disappeared angiographically immediately after successful PTCA. D (before PTCA: 3.2 ± 0.1 mm, after PTCA: 3.3 ± 0.1 mm, controls: 3.2 ± 0.1 mm) and V_s did not vary between before and after PTCA and in control subjects (NS). The values of V_d , V_m decreased and V_s/V_d and \int_s/\int_d increased after PTCA to the values in the controls. PRVR obtained with contrast medium and papaverine also increased.

慶應義塾大学医学部 呼吸循環器内科
 東京都新宿区信濃町 35 (〒160)
 *(現) 横浜市立市民病院 循環器科
 横浜市保土ヶ谷区岡沢町 56 (〒240)

Cardiopulmonary Division, Keio University School of Medicine, Shinano-machi 35, Shinjuku-ku, Tokyo 160
 *(present) Department of Cardiology, Yokohama Municipal Citizen's Hospital, Okazawa-cho 56, Hodogaya-ku, Yokohama 240

Received for publication April 9, 1992; accepted January 29, 1993 (Ref. No. 39-66)

PTCA caused the disappearance of the collaterals from the RCA to the LAD, decreased coronary flow, and restoration of coronary flow reserve in the right coronary artery.

Key words

Coronary flow

Coronary collateral

Doppler velocimeter (coronary angioplasty)

はじめに

側副血行は jeopardized area の虚血に対し保護的に働き, 冠閉塞時の心機能障害を緩和する¹⁾. 十分に発達した側副血行は, 安静時には虚血を防止し, 心機能を正常に保ちうると報告されている²⁾. 和井内ら³⁾は, 末梢に側副血行が供給されている症例では, 供給されていない症例に比べて, 狭窄枝の冠血流予備能が同程度であっても運動耐容能が高いことを報告した. すなわち側副血行は jeopardized area の安静時の機能保持に役立つだけでなく, 狭窄による冠血流予備能の低下をある程度まで代償すると考えられる.

側副血行を供給している冠動脈の血流動態に関しては, 十分な検討がなされていない. われわれは側副血行の受容血管に対して冠動脈形成術 (percutaneous transluminal coronary angioplasty: PTCA) を施行し, その前後で供給血管の冠血流速度波形と冠血流予備能をカテーテル先端型ドップラー流速計 (ドップラーカテーテル) を用いて記録した. PTCA 前後の値の変化から側副血行の存在が, その供給血管の血流動態に及ぼす影響を検討した.

対象と方法

対 象

冠動脈造影上, 右冠動脈から左前下行枝に至る側副血行を認めた左前下行枝の一枝病変例で PTCA を施行した. PTCA 後に造影上側副血行が消失した 9 症例 (男 7 例, 女 2 例) を対象とした. 年齢は 50-73 歳で, 平均 62 歳であった. 側副血行の程度は Rentrop の分類⁴⁾で 4 例が 2 度, 5 例が 3 度であった.

対照として冠狭窄のない健常例 20 例 (男 18 例,

女 2 例) を用いた. 対照群の年齢は 42-70 歳で, 平均 52 歳であった.

方 法

大腿動脈から挿入したガイディングカテーテルを通じて右冠動脈内にドップラーカテーテルを挿入し, AHA 分類の 1 または 2 番にカテーテル先端を留置した. コントロン製の画像解析装置 Mipron を用いて edge detection 法により流速計測部の冠動脈径を PTCA の前後で求めた. 冠血流速度の測定には Millar 製の MIKRO-TIP Doppler Catheter (Model DC-101) と Velocimeter (Model MDV-20) を用い, 繰り返し周期 62.5 kHz のゼロクロス法で測定した⁵⁾. 15 Hz の高音遮断フィルターを通した冠血流速度波形を大動脈圧波形と同時に, 横河ビューレットパッカード製カテラボシステム (8890 B) に 50 mm/sec で記録した. 心電図の R 波と大動脈圧波形の dicrotic notch により心周期を収縮期と拡張期に分割した. 安静時の冠血流速度波形より収縮期最大血流速度 (peak systolic flow velocity: Vs), 拡張期最大血流速度 (peak diastolic flow velocity: Vd) を求め, 両者の比 Vs/Vd を算出した. 収縮期と拡張期の血流速度波形下の面積を, それぞれ Js (systolic time velocity integral), Jd (diastolic time velocity integral) とし, 両者の比 Js/Jd を求めた (Fig. 1). 続いて非イオン性の造影剤イオパミドール 6 ml⁶⁾ または papaverine hydrochloride 8-12 mg⁸⁾ を冠動脈内に注入した後の最大平均血流速度を計測し, 安静時平均血流速度 (mean flow velocity: Vm) との比 (peak to resting velocity ratio: PRVR) を求め, 冠血流予備能の指標とした.

各指標を PTCA 直前および拡張成功から 15 分後に血行動態が安定した状態で記録し, 両者の値を比較検討した. また対照群の各指標と比較検討し

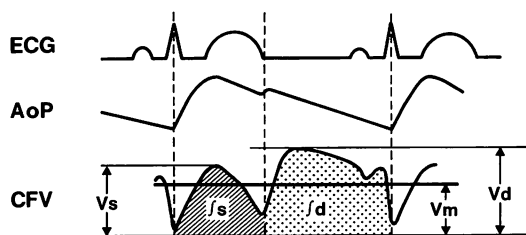


Fig. 1. Scheme of coronary blood flow velocity curve and the indexes measured in this study.

ECG=electrocardiogram; AoP=aortic pressure; CFV=coronary flow velocity; Vs=peak systolic flow velocity; Vd=peak diastolic flow velocity; Vm=mean flow velocity; Js=systolic time velocity integral; Jd=diastolic time velocity integral.

た。

統計解析

データはすべて平均値±標準誤差で示した。成績の比較検討は Student's *t*-test (paired または non-paired) を用いた。p<0.05 をもって有意差とした。

結 果

PTCA 前後の血行動態

PTCA の前後、および対照群の間で大動脈収縮期圧、同拡張期圧および心拍数に有意差を認めなかった (Table 1)。

冠血流速波形と安静時血流速

対照群の代表例 2 例の血流速波形を示した (Fig. 2)。波形は収縮期、拡張期にはほぼ同等のピークを有し二峰性であった。

Fig. 3 に PTCA 施行群の代表例の血流速波形を示した。上段は PTCA 前、下段は PTCA 後である。右の症例 (73 歳, 男) では、PTCA 前に比べて後で拡張期成分が減少した結果、平均血流速の減少と相対的な収縮期成分の増加 (Vs/Vd, Js/Jd の増加) を認めた。左の症例 (69 歳, 男) では、PTCA 後に収縮期と拡張期がほぼ同等の波形となった。

Table 2 に対照群の右冠動脈血流速における各指標の値を示した。

PTCA 前後の安静時血流速を Fig. 4 に示した。

Table 1. Aortic pressure and heart rate

	AoSP (mmHg)	AoDP (mmHg)	HR (bpm)
Control group	112±6	69±4	63±2
Before PTCA	102±5	59±3	61±4
After PTCA	100±6	60±4	63±4

There were no significant differences in aortic pressure and heart rate between the 3 groups.

mean ± SE.

AoSP=aortic systolic pressure; AoDP=aortic diastolic pressure; HR=heart rate.

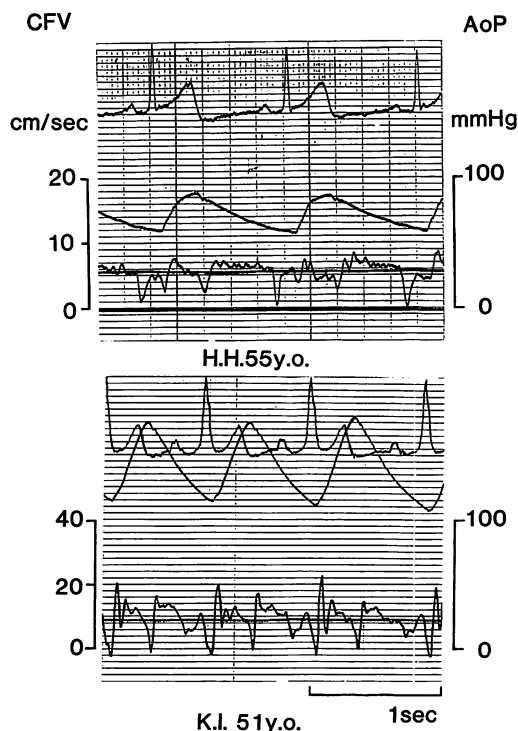


Fig. 2. Phasic pattern in the blood flow velocity of the right coronary artery of the controls.

ECG, aortic pressure (mmHg) and coronary blood flow velocity (cm/sec) of 2 representative cases are shown. Vs and Vd are almost equal.

Abbreviations as in Fig. 1.

グラフの両横には平均値および標準誤差の幅を示した。Vs は PTCA 前後で有意な変化をせず (前: 12.4 ± 2.5, 後: 9.5 ± 0.9 cm/sec), 対照群の値 (7.5 ±

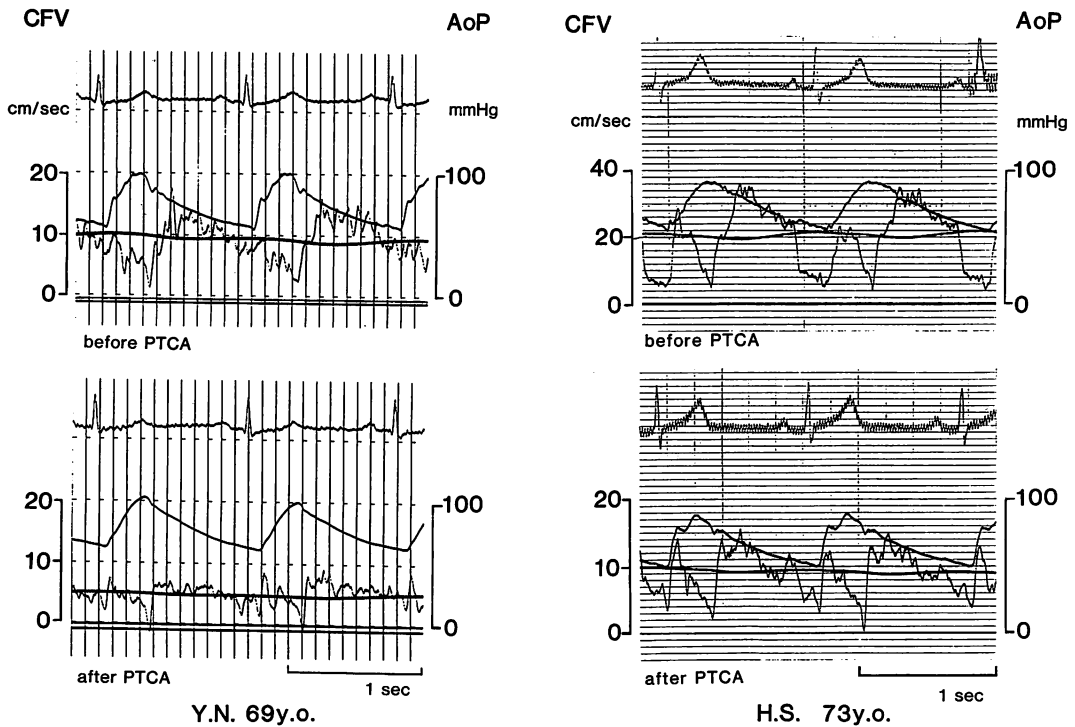


Fig. 3. Changes in phasic pattern in blood flow velocity of the right coronary artery before and after angioplasty.

ECG, aortic pressure (mmHg) and coronary blood flow velocity (cm/sec) before (upper) and after (lower) PTCA in 2 representative patients are shown. In both patients, mean flow velocity decreased and systolic flow velocity increased (increase in V_s/V_d and I_s/I_d) relative to diastolic flow velocity after angioplasty.

Abbreviations as in Fig. 1.

Table 2. Parameters from coronary blood flow velocity curves in the control group

	V_s (cm/sec)	V_d (cm/sec)	V_m (cm/sec)	V_s/V_d	I_s/I_d
Control group	7.5 ± 0.7	8.7 ± 1.0	5.8 ± 2.7	0.89 ± 0.07	0.47 ± 0.04

Abbreviations as in Fig. 1.

0.7 cm/sec)とも差がなかった。Vdは 21.3 ± 2.9 から 10.8 ± 0.7 cm/sec ($p < 0.01$) に、Vmは 12.6 ± 1.9 から 6.4 ± 0.5 cm/sec ($p < 0.01$) にそれぞれ減少した。PTCA前のVd, Vmは対照群の値 ($8.7 \pm 1.0, 5.8 \pm 2.7$ cm/sec) に比していずれも高値 (それぞれ $p < 0.01$) であったが、PTCA後には差がなくなった。

V_s/V_d (Fig. 5 左) は 0.57 ± 0.05 から 0.89 ± 0.07 に、 I_s/I_d (Fig. 5 右) は 0.37 ± 0.04 から 0.50 ± 0.05 へと、

PTCA後に冠血流の収縮期成分が拡張期成分に対して相対的に増加した (それぞれ $p < 0.01$)。PTCA前の $V_s/V_d, I_s/I_d$ は対照群の値に比して低値 (それぞれ $p < 0.01$) であったが、PTCA後には差がなくなった。

冠血流予備能

対照群のPRVRは造影剤で 2.80 ± 0.15 , papaverineで 3.75 ± 0.19 だった。Fig. 6にPTCA施行前後

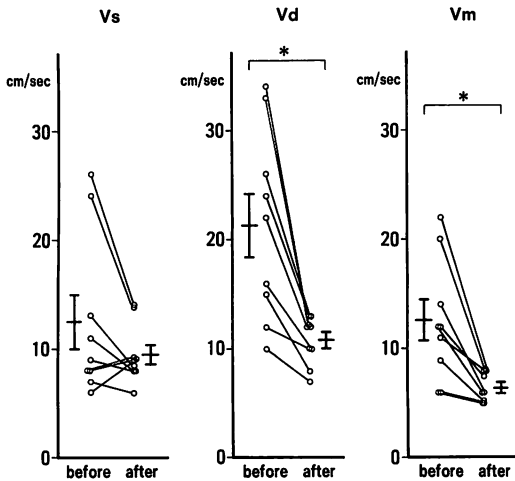


Fig. 4. Flow velocity in the right coronary artery before and after angioplasty.

Vs did not change significantly. Vd and Vm significantly decreased after angioplasty.

* $p < 0.01$.

Abbreviations as in Fig. 1.

における PRVR の値を示した。PTCA 成功後に造影剤による PRVR は 2.12 ± 0.14 から 2.89 ± 0.17 ($p < 0.01$) に、papaverine による PRVR は 2.65 ± 0.18 から 3.52 ± 0.22 ($p < 0.01$) に、それぞれ増加した。PTCA 前の PRVR は対照群に比して低値(おのおの $p < 0.01$)であったが、PTCA 後には増加し差がなくなった。

冠動脈径

右冠動脈の径は PTCA 前で 3.2 ± 0.1 mm, PTCA 後で 3.3 ± 0.1 mm と変化しなかった。対照群の径 3.2 ± 0.1 mm とも差がなかった。

考 按

強い狭窄病変を有し側副血行を受容している冠動脈に PTCA を施行して順行血流を回復させれば、側副血行は減少もしくは消失する。本研究でも PTCA で十分な拡張が得られた症例では、直後より右冠動脈から左前下行枝への側副血行路は造影されなくなった。PTCA 前後の右冠動脈の径は変化しなかった。PTCA 後に右冠動脈平均血流速

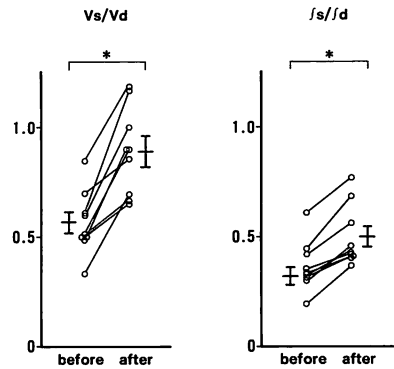


Fig. 5. Parameters of the systolic to diastolic flow ratio in the right coronary artery.

Vs/Vd and {s}/d were significantly decreased after angioplasty.

* $p < 0.01$.

Abbreviations as in Fig. 1.

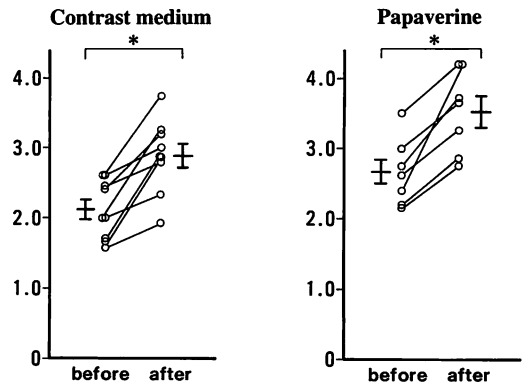


Fig. 6. PRVR in the right coronary artery before and after angioplasty.

Peak to resting velocity ratio (PRVR) indicated by contrast medium or papaverine significantly increased after angioplasty.

* $p < 0.01$.

(Vm)が減少したことは、単位時間当たりの右冠動脈血流量が減少したことを意味する。側副血行路を介して左前下行枝領域を灌流していた血流が不要になったためと考えられた。

健康人の左前下行枝血流速波形は二峰性のピークを有し拡張期優位の波形であり、右冠動脈血流速波形は今回の対照群でみられたように、収縮期

と拡張期にはほぼ同等のピークを有し二峰性であることが報告されている^{5,9)}。左前下行枝で得られる血流速波形は左室心筋のみを灌流する血流による。右冠動脈はその解剖学的特徴から左右両心室の心筋を灌流し、血流速波形は右室自由壁灌流成分と左室灌流成分の合成波形となる。また両成分の比率は症例により異なる。今回の症例のように右冠動脈から左前下行枝へ側副血行が存在する場合には、左室灌流成分が増加するため、右冠動脈の血流速波形は拡張期優位の左冠動脈血流速波形に近づいていたと考えられる。

左前下行枝に対する PTCA 後は側副血行が不要となったため右冠動脈での血流速波形は収縮期成分が相対的に増加し、本来の波形を回復したとするのが合理的である。しかし、とくに造影遅延を伴い左前下行枝が描出されるような症例では、側副血行路を介して左室心筋を灌流するさいに、血流の位相が遅れることが予測される。このような場合には前述の説明は不適當であろう。

今回の症例の内訳は、側副血行路として中隔枝のみが造影された4例と中隔枝以外に表在冠動脈(心尖部の吻合, 円錐枝, 右室枝など)も造影された5例であった。中隔枝の冠血流速波形の分析では、順行血流は拡張期のみにもみられ、左前下行枝に比べいっそう拡張期優位の血流速波形を示すことが報告されている¹⁰⁾。すなわち PTCA 後に右冠動脈血流速の収縮期成分が相対的に増加した機序として、PTCA 前に混じっていた中隔枝を介する側副血行の影響が消失したことが考えられた。実際に PTCA 前後の fs/d の増加度 (PTCA 後の fs/d から PTCA 前の fs/d を引いた値) を算出すると、中隔枝のみを主な側副血行路とする4例のほうが他の5例と比べて大きな値を示した ($0.18 \pm 0.02, 0.10 \pm 0.02, p < 0.05$)。PTCA 後の Vs/Vd , fs/d の値が対照群の右冠動脈の成績と差がなくなったのは、上記の2つの機序、すなわち側副血行の消失による左室灌流成分の減少と中隔枝を側副血行路とした場合の同枝のよりいっそう拡張期優位な成分の除去のいずれか、もしくは両方が関与したと考えら

れる。

PTCA 後に右冠動脈の PRVR 値は増加した。Schaper ら¹¹⁾は右冠動脈、左回旋枝を結紮した慢性犬で、側副血行の供給血管である左前下行枝の冠血流予備能が減少していることを報告した。このモデルでは左前下行枝1本で心臓全体を灌流しているため、安静時の冠血流量がすでに伝達血管である表在冠動脈の容量限界近くまで達してしまい、adenosine 投与時に表在血管の容量限界が冠血流予備能を規定してしまうことを想定した。

本研究で PTCA 前の冠血流予備能が伝達血管の容量限界に規定されているとすれば、papaverine で2.65倍の PRVR が得られていることから、安静時血流量の2.65倍が伝達血管の容量限界と考えられる。したがって PTCA 前に造影剤で2.12倍の PRVR しか得られなかったのは、この機序に起因したのではなく、造影剤注入刺激に対する冠抵抗血管系の拡張予備能が減少していたためと考えられた。PTCA 前の右冠動脈の PRVR が造影剤、papaverine のいずれによっても低値であったのは、その灌流域に側副血行が灌流する冠血流予備能の少ない jeopardized area を含んでいたためと推測された。実際に側副血行が消失した PTCA 後の PRVR は対照群の成績と差がなくなった。冠血流予備能に影響を与える大動脈収縮期圧、拡張期圧および心拍数には PTCA 前後で変化がなかったことから、右冠動脈自体の冠血流予備能は保持されていたことが示された。

結 語

造影上、右冠動脈から左前下行枝に側副血行を認めた一枝病変例の9例と健常者20例を対象とした。側副血行の受容血管である左前下行枝に PTCA を施行し、その前後で供給血管である右冠動脈の血流動態の変化をドップラーカテーテルを用いて検討した。

PTCA の成功により側副血行が造影されなくなった右冠動脈では、以下の冠血流動態の変化がみられた。

1. 冠動脈径は変化しなかった。
2. 拡張期血流速, 平均血流速が減少した。
3. 相対的に収縮期血流速成分は増加し右冠動脈に固有の血流速波形を回復した。
4. PTCA 前に減少していた冠血流予備能は正常値まで回復した。

要 約

冠動脈間の側副血行の存在が, その供給血管の血流動態に与える影響を検討した。造影上右冠動脈から左前下行枝に Rentrop 分類 2 度以上の側副血行 (2 度 4 例, 3 度 5 例) がみられ, 左前下行枝の PTCA 成功後にこの側副血行が消失した 9 症例を対象とした。対照として冠狭窄がない健常例 20 例を用いた。右冠動脈近位部の冠動脈径をコントロール製の画像解析装置 (Mipron) を用いて edge detection 法により求めた。同部に留置したドップラーカテーテルで収縮期, 拡張期の最大血流速 (V_s , V_d), 平均血流速 (V_m) を記録した。 V_s と V_d の比 (V_s/V_d) および収縮期, 拡張期の血流速波形下の面積の比 $\int s/d$ を求めた。右冠動脈の冠血流予備能の指標として, 造影剤 6 ml または papaverine 8–12 mg を冠動脈内注入前後の V_m の比 PRVR を用いた。各指標を PTCA 前後で, また対照群の値とも比較検討し, 次の結果を得た。

1. 右冠動脈径は変化せず (前: 3.2 ± 0.1 , 後: 3.3 ± 0.1 mm, 平均土標準誤差), 対照群の値 3.2 ± 0.1 mm とも差がなかった。
2. V_s は有意には変化せず, 対照群とも差がなかった。 V_d は 21.3 ± 2.9 から 10.8 ± 0.7 cm/sec に, V_m は 12.6 ± 1.9 から 6.4 ± 0.5 cm/sec に減少し (それぞれ $p < 0.01$), 対照群の 8.7 ± 1.0 , 5.8 ± 2.7 cm/sec と差がなくなった。 V_s/V_d は 0.57 ± 0.05 から 0.89 ± 0.07 に, $\int s/d$ は 0.37 ± 0.04 から 0.50 ± 0.05 に増加 (それぞれ $p < 0.01$) し, 対照群の 0.89 ± 0.07 , 0.47 ± 0.04 と差がなくなった。
3. 造影剤あるいは papaverine による PRVR はそれぞれ 2.12 ± 0.14 から 2.89 ± 0.17 , 2.65 ± 0.18 から 3.52 ± 0.22 と増加 (それぞれ $p < 0.01$) し, 対照

群の 2.80 ± 0.15 , 3.75 ± 0.19 と差がなくなった。

PTCA 前の右冠動脈では左前下行枝に側副血行を供給するため拡張期血流速が増加し, 冠血流予備能は消費されていた。側副血行の消失により拡張期血流成分が減少し, 右冠動脈固有の血流速波形を回復した。同時に低値であった冠血流予備能も正常範囲に戻った。

文 献

- 1) Williams DO, Amsterdam EA, Millar RR, Mason DT: Functional significance of coronary collateral vessels in patients with acute myocardial infarction: Relation to pump performance, cardiogenic shock and survival. *Am J Cardiol* 37: 345–351, 1976
- 2) Frye R, Gurah GM, Chesebro JH, Ritman EL: Complete occlusion of the left main coronary artery and the importance of coronary collateral circulation. *Mayo Clinic Proc* 52: 742–745, 1977
- 3) 和井内由充子, 半田俊之介, 根岸耕二, 石川士郎, 岩永史郎, 鈴木雅裕, 吉川 勉, 阿部純久, 谷 正人: 狭心症患者の運動耐容能と側副血行: 冠血流予備能を指標として。呼吸と循環 40: 77–81, 1992
- 4) Rentrop KP, Cohen M, Blanke H, Phillips RA: Changes in collateral channel filling immediately after controlled coronary artery occlusion by an angioplasty balloon in human subjects. *J Am Coll Cardiol* 5: 587–592, 1985
- 5) Sibley DH, Millar HD, Hartley CJ, Whitlow PL: Subselective measurement of coronary blood flow velocity using a steerable Doppler catheter. *J Am Coll Cardiol* 8: 1332–1340, 1986
- 6) Bassan M, Ganz W, Marcus HS, Swan HJC: The effect of intracoronary injection of contrast medium upon coronary blood flow. *Circulation* 51: 442–445, 1975
- 7) 半田俊之介, 和井内由充子, 谷 正人, 阿部純久, 吉川 勉, 根岸耕二, 朝倉 靖, 石川士郎: 安定労作狭心症患者の運動耐容能規定因子: 冠動脈病変と冠血流予備能。呼吸と循環 40: 917–923, 1991
- 8) Wilson RF, White CW: Intracoronary papaverine: An ideal coronary vasodilator for studies of coronary circulation in conscious humans. *Circulation* 73: 441–451, 1986
- 9) 根岸耕二, 半田俊之介, 朝倉 靖, 岩永史郎, 石川士郎, 和井内由充子, 阿部純久, 谷 正人: 肥大型心筋症の冠血流: ドップラーカテーテル流速計を用いた検討。呼吸と循環 39: 1021–1027, 1991
- 10) Chilian WM, Marcus ML: Phasic coronary blood flow velocity in intramural and epicardial coronary arteries.

根岸, 半田, 石川, ほか

Circ Res **50** : 775-781, 1982

11) Schaper W, Wusten B : Collateral circulation. *in* The

Pathophysiology of Myocardial Perfusion (ed by Schaper W). Elsevier, Amsterdam, 1979, pp 415-470