

## 冠動脈形成術前後における冠動脈血流速と冠血流予備能の検討: 経胸壁心エコー図法とドップラーガイドワイヤー法の比較

## Evaluation of Coronary Flow Velocity and Coronary Flow Reserve Before and After Coronary Angioplasty Using Transthoracic Doppler Echocardiography and Doppler Guide Wire

進藤 敦史  
小牧 宏一  
斎藤 穎  
谷川 直  
矢嶋 純二  
知久 正明  
清水 智雄  
笠巻 祐二  
高橋 義和  
本江 純子  
小沢友紀雄  
上松瀬勝男

Atsushi SHINDO, MD  
Koichi KOMAKI, MD  
Satoshi SAITO, MD, FJCC  
Naoshi TANIGAWA, MD, FJCC  
Junji YAJIMA, MD  
Masaaki CHIKU, MD  
Tomoo SHIMIZU, MD  
Yuji KASAMAKI, MD  
Yoshikazu TAKAHASHI, MD  
Junko HONYE, MD, FJCC  
Yukio OZAWA, MD, FJCC  
Katsuo KANMATSUSE, MD, FJCC

### Abstract

Evaluation of left anterior descending coronary (LAD) blood flow before and after coronary angioplasty was carried out non-invasively by ultrasonic Doppler echocardiography with a newly developed digital, high-frequency, high-resolution transthoracic ultrasonic Doppler flowmeter and a 7.5MHz probe. The results were compared with those obtained using an intracoronary Doppler guide wire.

Sixteen patients, 12 males and 4 females (mean age  $57 \pm 14$  years) with old myocardial infarction (8 patients) and angina pectoris (8 patients) were studied. Coronary flow reserve was compared following intravenous administration of adenosine triphosphate in 12 patients. The LAD blood flow was detected in 15 of 16 patients. There was a significant increase in the diastolic peak velocity from  $22.2 \pm 10.6$  to  $29.4 \pm 14.6$  cm/sec (mean  $\pm$  SD) and the coronary flow reserve from  $1.8 \pm 0.3$  to  $2.8 \pm 0.6$  (mean  $\pm$  SD). There was a good correlation between the data obtained using transthoracic flow measurement and intracoronary flow measurement ( $r = 0.61$ ,  $p < 0.05$ ).

LAD blood flow can be easily detected parasternally using a digital, high frequency, high-resolution ultrasonic Doppler flowmeter. This method may be applicable for judging the efficacy of coronary angioplasty by measuring coronary flow reserve and for observing the clinical course of the patient non-invasively.

J Cardiol 1999; 34(6): 301-307

### Key Words

- Coronary artery disease
- Coronary circulation (coronary flow reserve)
- Echocardiography (transthoracic)
- Interventional cardiology
- Doppler ultrasound

日本大学医学部 第二内科: 〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町30-1

The Second Department of Internal Medicine, Nihon University School of Medicine, Tokyo

Address for reprints: SHINDO A, MD, The Second Department of Internal Medicine, Nihon University School of Medicine, Oyaguchikami-cho 30-1, Itabashi-ku, Tokyo 173-8610

Manuscript received March 12, 1999; revised July 26, 1999; accepted September 7, 1999

## はじめに

近年、新しく開発された超音波診断装置は、高周波の超音波の応用とコンピューター技術の進歩により、体表面からは従来判別困難であった微小血管や、流速の遅い血流信号の検出が可能となった<sup>1-4)</sup>。今回我々は、これらの機能を持つ超音波装置を用いて、冠動脈形成術施行例を対象として冠動脈血流速を経胸壁にて非侵襲的に測定し、冠動脈病変の新たな情報を得ることが可能か、ドップラーガイドワイヤー法による冠動脈血流速と比較検討した。

## 対象と方法

### 1. 対象

対象は当院入院患者で冠動脈造影上、左前下行枝近位部に75%以上の有意狭窄を認め、冠動脈形成術が予定された虚血性心疾患患者16例(男性12例, 女性4例, 平均年齢 $57 \pm 14$ 歳; 陳旧性心筋梗塞8例, 狭心症8例)のうち、冠動脈形成術前に経胸壁心エコー図法により左前下行枝血流の層流パターンを確認できた15例である。確認できなかった1例は検討から除外した。

### 2. 方法

経胸壁心エコー図法は我々の方法<sup>1)</sup>に準じ、患者を左側臥位にして、左室心尖部付近の心表面上を走行する左前下行枝遠位部の血流信号をカラードップラー法により確認したのち、2mm幅のサンプルボリュームを置き冠血流速を測定した。冠動脈の同定には拡張期優位の冠血流特有のスペクトル波形を用い、層流パターンが確認できたものを検出症例とし、拡張期最大血流速を計測し、3心拍の平均を求めた。

経胸壁心エコー図法による冠血流速計測の問題点と有用性を検討する目的で、アデノシン三リン酸(adenosine triphosphate: ATP)を用いた冠血流予備能測定を16例中の12例で試みた。この12例は冠動脈形成術時にドップラーガイドワイヤー法を施行した症例であり、経胸壁心エコー図法は冠動脈形成術の前日および翌日に測定した。冠血流予備能は、ATP(0.15 mg/kg/min)を2分間で静注投与し、負荷前後の拡張期最大血流速の比率から冠血流予備能を算出した。ドップラーガイドワイヤー法による左前下行枝の

血流測定は、病変遠位部にガイドワイヤーを留置し、冠動脈形成術前後で平均最大血流速を自動計測し、経胸壁心エコー図法と同様にATP投与による冠血流予備能を測定した。

装置は、経胸壁心エコー図法ではAcuson製Sequoia C256, 探触子は3.5-7MHzを使用し、ドップラーガイドワイヤー法ではCardiometrics製Flowire<sup>®</sup>およびFlomap<sup>®</sup>を使用した。

統計処理は対応のある有意差検定にはWilcoxonの符号順位検定を使用し、相関関係はBartlettの検定、Fisherの $r$ の $z$ 変換により求めた。

## 結 果

### 1. 検出率

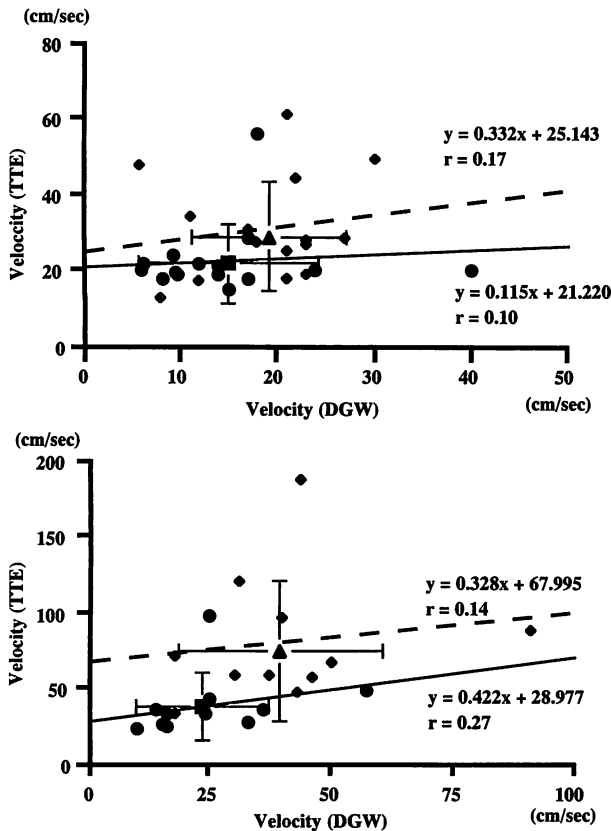
経胸壁心エコー図法による左前下行枝血流の検出率は、16例中15例(93.8%)であった。冠動脈形成術前に左前下行枝血流が検出された症例は、冠動脈形成術後もすべて左前下行枝血流が検出された。

### 2. 左前下行枝血流速の比較 (Fig. 1)

冠動脈形成術前後の左前下行枝血流速変化の検討においては、経胸壁心エコー図法による拡張期最大血流速は、 $22.2 \pm 10.6$ から $29.4 \pm 14.6$  cm/sec(平均 $\pm$ SD)へ32%の有意な増加が認められた( $p < 0.05$ )。同方法によるATP投与時の拡張期最大血流速は $38.9 \pm 22.5$ から $75.1 \pm 46.6$  cm/secへ有意に93%増加した( $p < 0.01$ )。またドップラーガイドワイヤー法での平均最大血流速は、 $14.9 \pm 9.2$ から $19.0 \pm 8.0$  cm/sec(平均 $\pm$ SD)へ28%の増加があったが、統計上の有意差は認められなかった。同方法によるATP投与時の平均最大血流速は、 $23.1 \pm 13.7$ から $39.1 \pm 20.9$  cm/secへ有意に69%増加した( $p < 0.05$ )。経胸壁心エコー図法による拡張期最大血流速値とドップラーガイドワイヤー法による平均最大血流速値との間に相関関係はみられなかった。

### 3. 冠血流予備能の比較

冠動脈形成術により、冠血流予備能は経胸壁心エコー図法において、 $1.8 \pm 0.3$ から $2.8 \pm 0.6$ (平均 $\pm$ SD)へ有意に56%増加した( $p < 0.01$ )。ドップラーガイドワイヤー法においては $1.6 \pm 0.5$ から $2.1 \pm 0.6$ (平均 $\pm$ SD)へ有意に31%増加した( $p < 0.05$ ; Fig. 2)。冠動脈



**Fig. 1 Changes in coronary flow velocity before and after intervention**

*Upper:* Baseline. Diastolic peak velocity was significantly increased from  $22.2 \pm 10.6$  to  $29.4 \pm 14.6$  cm/sec (mean  $\pm$  SD;  $p < 0.05$ ), and average peak velocity was increased from  $14.9 \pm 9.2$  to  $19.0 \pm 8.0$  cm/sec.

*Lower:* After intravenous adenosine triphosphate administration. Diastolic peak velocity was significantly increased from  $38.9 \pm 22.5$  to  $75.1 \pm 46.6$  cm/sec (mean  $\pm$  SD;  $p < 0.01$ ). Average peak velocity was also significantly increased from  $23.1 \pm 13.7$  to  $39.1 \pm 20.9$  cm/sec ( $p < 0.05$ ). No significant correlation was observed between transthoracic echocardiography and Doppler guide wire.

Before intervention: ● data, ■ mean  $\pm$  SD, and solid line. After intervention: ◆ data, ▲ mean  $\pm$  SD, and broken line.

TTE = transthoracic echocardiography; DGW = Doppler guide wire.

形成術前後の冠血流予備能値をすべて用いて、経胸壁心エコー図法とドップラーガイドワイヤー法との相関関係を調べたところ、 $r = 0.61$ ,  $p < 0.05$ の緩やかな正の相関が認められた (Fig. 3)。経胸壁心エコー図による冠動脈形成術前後の実記録を Fig. 4 に示すが、ともに ATP 投与により左前下行枝血流速は増大を認め

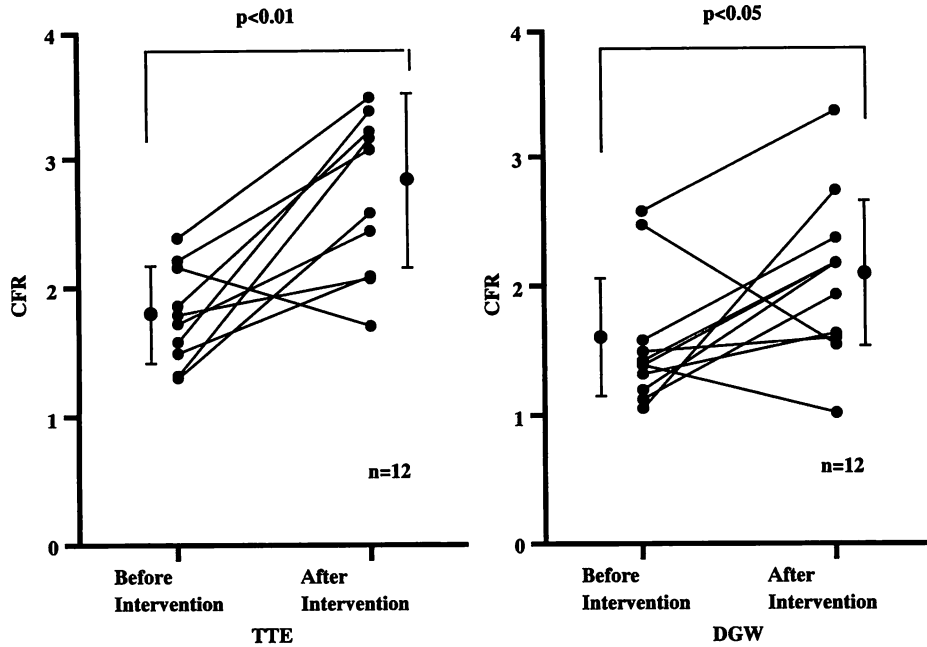
た。カラー Doppler 画像でも冠動脈は鮮明に描出されている。

### 考 察

冠動脈の近位部病変に対する超音波診断法には、超音波画像分解能の進歩<sup>5-7)</sup>、経食道断層心エコー図法やカラー Doppler 法の応用<sup>8-11)</sup> などにより発展がみられた。しかし冠動脈病変の有無を臨床的に評価し、実際に臨床応用できる症例は極めて少ない<sup>12)</sup>。近年開発された高周波高分解能デジタル超音波 Doppler 法により、経胸壁から左前下行枝血流や心筋内血流が高率に検出可能になった<sup>1-5)</sup>。一方、カテーテルインターベンション治療の進歩とともに、ガイドワイヤー先端に探触子を装着した Doppler ガイドワイヤー法による冠動脈血流の研究が活発に行われるようになった<sup>13-16)</sup>。しかし侵襲的な検査法であり、短時間で反復して施行することは難しい。我々は、新しく開発された超音波装置を用いて経胸壁心エコー図法により冠動脈血流を検出し、Doppler ガイドワイヤー法による血流速と比較しその有用性を検討した。

経胸壁心エコー図法による左前下行枝遠位部血流の検出率は、今回の検討では 93.8% であった。これは Yagi ら<sup>2)</sup> の報告に比べると、検出率がわずかに高いが、対象症例および装置の違いによるものと考えられた。Hozumi ら<sup>3)</sup> の報告では 94% とほぼ同率で検出されている。今回の検討において冠動脈形成術後も左前下行枝血流は同様に検出されたが、長期的に追跡可能かどうかはさらなる検討が必要である。一方、心周期における冠動脈拡張期血流の検出は容易であるが、収縮期血流の検出率は低く Hozumi ら<sup>3)</sup> も 17% の検出にとどまり、我々の研究においても 3 例 (18.8%) に観察されたのみであった。しかしながら、冠動脈血流は拡張期優位であり、拡張期血流のみの観察でも臨床的に経胸壁心エコー図法による左前下行枝血流測定は有用と考えられる。

経胸壁心エコー図法による冠血流速の拡張期最大血流速と Doppler ガイドワイヤー法による平均最大血流速値の間に有意な相関関係はみられなかった。これは同時測定を行っていないためであろう。Doppler ガイドワイヤー法においても冠血流速は血圧、心拍数により変化するものであり、経胸壁心エコー図法、Doppler ガイドワイヤー法の計 4 回の測定条件がす

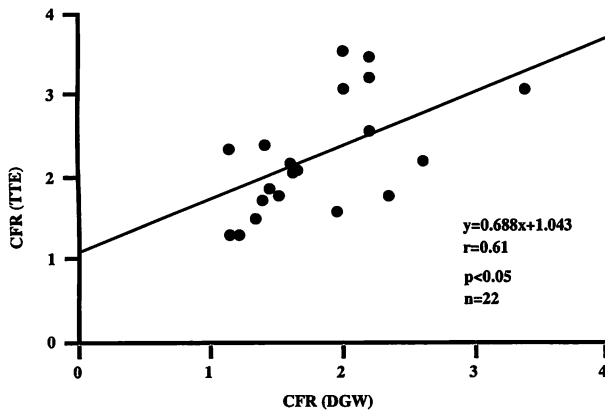


**Fig. 2 Changes in coronary flow reserve before and after intervention**

*Left:* Coronary flow reserve was significantly increased by transthoracic echocardiography from  $1.8 \pm 0.3$  to  $2.8 \pm 0.6$  (mean  $\pm$  SD;  $p < 0.01$ ).

*Right:* Coronary flow reserve was significantly increased also by Doppler guide wire from  $1.6 \pm 0.5$  to  $2.1 \pm 0.6$  ( $p < 0.05$ ).

CFR = coronary flow reserve. Other abbreviations as in Fig. 1.



**Fig. 3 Correlation between coronary flow reserve using transthoracic echocardiography and Doppler guide wire in patients with ischemic heart disease**

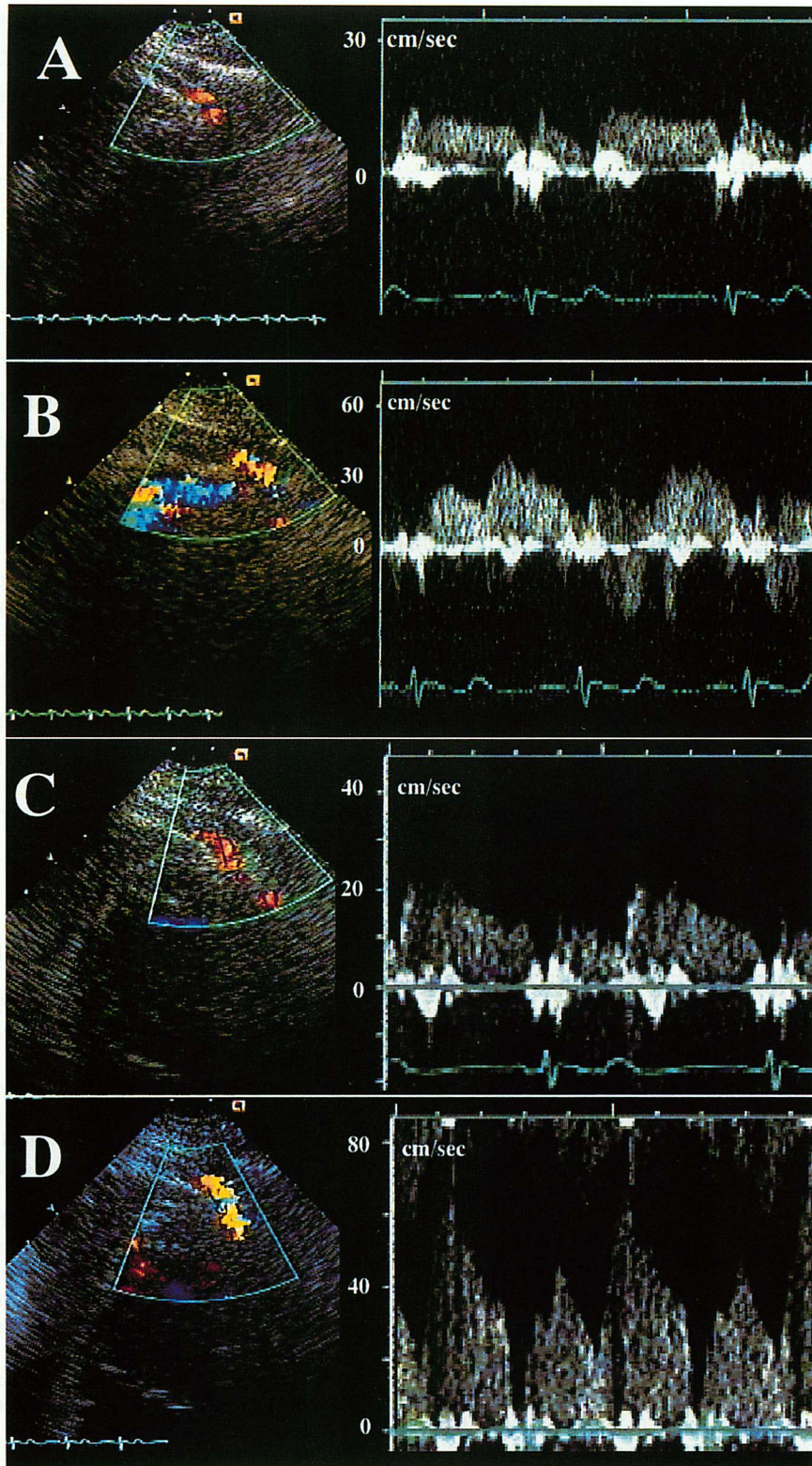
There was a good correlation between transthoracic echocardiography and Doppler guide wire;  $r = 0.61$ ,  $p < 0.05$ .

Abbreviations as in Figs. 1, 2.

べて異なることが挙げられる。今後の検討課題である。

今回、冠血流予備能の測定を経胸壁から行い、ドップラーガイドワイヤー法と有意な相関を得た。冠血流予備能の改善の程度は、経胸壁心エコー図法による冠血流予備能のほうがドップラーガイドワイヤー法による冠血流予備能よりも大きな値を示した。これは測定する部位の相違もその一因として考えられるが、冠血流予備能は冠動脈形成術直後には改善せず、経過とともに改善すると報告<sup>13,14)</sup>されていることから、今回の検討では冠動脈形成術後、経胸壁心エコー図法による測定がほぼ24時間後に実施されたことが、冠血流予備能において大きな改善が得られた理由として考えられる。

今回、経胸壁心エコー図法では拡張期最大血流速度を使用した。現在の装置では平均血流速度の手動計算は煩雑であり、とくに負荷前後の検討などでは困難なことが多い。この点については、今後、平均血流速度の自動測定のソフトの導入が望まれる。



**Fig. 4** Color Doppler images and Doppler spectral traces of the left anterior descending coronary flow velocity pattern by transthoracic echocardiography in a 65-year-old man

A, B: Before intervention, (A) baseline and (B) after intravenous adenosine triphosphate administration.

C, D: After intervention, (C) baseline and (D) after intravenous adenosine triphosphate administration.

経胸壁心エコー図法による冠血流予備能の測定は、冠動脈形成術の効果判定、経過観察にも有用であると思われた。

## 結 語

高周波高分解能デジタル超音波ドップラー法によ

り、経胸壁から冠動脈左前下行枝の血流速と冠血流予備能の評価が可能であった。また、冠血流予備能をドップラーガイドワイヤー法と経胸壁心エコー図法により比較すると良好な相関が得られ、冠動脈形成術の効果判定、経過観察にも有用であると考えられた。

## 要 約

新しく開発された高周波高分解能デジタル超音波ドップラー装置と7.5MHzの探触子を用いた経胸壁ドップラー心エコー図法により、虚血性心疾患患者16例(男性12例, 女性4例, 平均年齢57±14歳; 陳旧性心筋梗塞8例, 狭心症8例)を対象に、冠動脈形成術前後で冠動脈左前下行枝血流の評価を非侵襲的に行い、ドップラーガイドワイヤー法と比較検討した。さらに12症例では、アデノシン三リン酸を投与し冠血流予備能について比較した。左前下行枝血流検出率は、16例中15例であった。冠動脈形成術施行後の拡張期最大血流速は22.2±10.6から29.4±14.6 cm/sec(平均±SD), 冠血流予備能は1.8±0.3から2.8±0.6(平均±SD)と有意な増加が認められた。ドップラーガイドワイヤー法による冠血流予備能との間には、良好な正の相関が認められた( $r=0.61$ ,  $p<0.05$ )。

高周波高分解能デジタル超音波ドップラー装置の使用により、左前下行枝血流の検出が容易となり、アデノシン三リン酸投与による冠血流予備能測定は、冠動脈形成術の効果判定、経過観察に有用と考えられた。

*J Cardiol* 1999; 34(6): 301-307

## 文 献

- 1) Tanigawa N, Shindo A, Chiku M, Moriuchi M, Saito S, Ozawa Y, Kanmatsuse K: Use of transthoracic Doppler echocardiography to measure intramyocardial coronary flow in patients with left ventricular hypertrophy. *J Med Ultrasonics* 1997; **24**: 1019-1024 (in Jpn with Eng abstr)
- 2) Yagi T, Yoshida K, Hozumi T, Akasaka T, Takagi T, Kaji S, Kawamoto T, Kawai J, Morioka S, Yoshikawa J: Transthoracic digital color Doppler assessment of the left anterior descending coronary artery and intramyocardial blood flow. *J Cardiol* 1997; **30**: 9-12 (in Jpn with Eng abstr)
- 3) Hozumi T, Yoshida K, Ogata Y, Akasaka T, Asami Y, Takagi T, Morioka S: Noninvasive assessment of significant left anterior descending coronary artery stenosis by coronary flow velocity reserve with transthoracic color Doppler echocardiography. *Circulation* 1998; **97**: 1557-1562
- 4) 穂積健之, 吉田 清, 赤阪隆史, 緒方裕美子, 浅海嘉夫, 高木 力, 加地修一郎, 川元隆弘, 八木登志員, 盛岡茂文: 冠動脈有意狭窄診断における経胸壁カラードプラ法による冠予備能測定の有用性. *超音波医* 1997; **24**: 1440 (abstr)
- 5) Fusejima K: Noninvasive measurement of coronary artery blood flow using combined two-dimensional and Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1987; **10**: 1024-1031
- 6) 山形 昇, 中村隆志, 成原理佳, 東 秋弘, 松室明義, 杉原洋樹, 河野義雄, 勝目 紘, 中川雅夫, 国重 宏: カラードプラ法による左冠動脈中隔枝血流の検出. *呼吸と循環* 1993; **41**: 165-170
- 7) 皆越真一: 高周波探触子を用いた犬ならびにヒト心筋内冠血流の描出. *超音波医* 1996; **23** (Suppl II): 13 (abstr)
- 8) Zehetgruber M, Porenta G, Mundigler G, Mortl D, Binder T, Christ G, Probst P, Baumgartner H, Maurer G, Siostrzonek P: Transesophageal versus intracoronary Doppler measurements for calculation of coronary flow reserve. *Cardiovasc Res* 1997; **36**: 21-27
- 9) Gadallah S, Thaker KB, Kawanishi D, Mehra A, Lau S, Rashtian M, Chandraratna AN: Comparison of intracoronary Doppler guide wire and transesophageal echocardiography in measurement of flow velocity and coronary flow reserve in the left anterior descending coronary artery. *Am Heart J* 1998; **135**: 38-42
- 10) Taams MA, Gussenhoven EJ, Cornel JH, The SH, Roelandt JR, Lancée CT, v d Brand M: Detection of left coronary artery stenosis by transesophageal echocardiography. *Eur Heart J* 1988; **9**: 1162-1166
- 11) Yoshida K, Yoshikawa J, Hozumi T, Yamaura Y, Akasaka T, Fukaya T, Kato H: Detection of left main coronary artery stenosis by transesophageal color Doppler and two-dimensional echocardiography. *Circulation* 1990; **81**: 1271-1276
- 12) Toyoda Y, Ishii S, Satani O, Nakamura N, Ueno Y,

- Shiotani M, Nishio I: Location of stenosis in the proximal left anterior descending coronary artery in a case of angina pectoris diagnosed by transthoracic Doppler echocardiography. *J Med Ultrasonics* 1998; **25**: 863-867 (in Jpn with Eng abstr)
- 13) Wilson RF, Johnson MR, Marcus ML, Aylward PE, Skorton DJ, Collins S, White CW: The effect of coronary angioplasty on coronary flow reserve. *Circulation* 1988; **77**: 873-885
- 14) 中村正人, 西田隆寛, 当間弘子, 満尾和寿, 酒谷秀雄, 秋山達朗, 小林延行, 山下一弘, 宇井克人, 鈴木真事, 出川敏行, 平井寛則, 矢吹 壮, 山口 徹: 冠動脈インターベンションにおける超音波内視鏡の役割, 経皮的冠動脈形成術における冠血流測定の意義: Doppler flow guide wire (Flowire®) による検討. *Jpn J Intervent Cardiol* 1994; **9**: 129-136
- 15) Doucette JW, Corl PD, Payne HM, Flynn AE, Goto M, Nassi M, Segal J: Validation of a Doppler guide wire for intravascular measurement of coronary artery flow velocity. *Circulation* 1992; **85**: 1899-1911
- 16) Segal J, Kern MJ, Scott NA, King SB III, Doucette JW, Heuser RR, Ofili E, Siegel R: Alterations of phasic coronary artery flow velocity in humans during percutaneous coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1992; **20**: 276-286