

コンベックス型探触子を用いたリニア型高感度ドップラー断層による内胸動脈グラフト血流の評価

Visualization of internal mammary artery bypass graft flow using a linear color flow mapping system with a convex type transducer

許 俊鋭
松村 誠
高本 真一
横手 祐二
尾本 良三

Shunei KYO
Makoto MATSUMURA
Shinichi TAKAMOTO
Yuji YOKOTE
Ryozo OMOTO

Summary

To evaluate noninvasively the patency of aortocoronary bypass grafts using the left internal mammary artery (LIMAG), color flow mapping Doppler echocardiography was performed in 23 consecutive patients. There were 22 males and one female. The average number of involved coronary arteries per patient was 2.5 ± 0.6 . The average number of bypassed graft anastomoses was 2.7 ± 0.9 , including 22 isolated LIMAG and one sequential LIMAG. The color flow mapping system used was a linear type 2-D Doppler system (Aloka SSD350) with a convex type transducer. Clear color flow visualization of LIMAG flow was obtained in nine of the 23 patients (39%) studied, with an average peak diastolic velocity of 22.5 ± 8.7 cm/sec and an average systolic peak velocity of 12.6 ± 5.7 cm/sec. The coronary angiograms of eight patients were obtained within two weeks after the echocardiographic examinations which demonstrated good graft patency in all LIMAG. Color flow visualization of LIMAG was obtained in four of the eight patients (50%).

Although the detection rate was limited, LIMAG flow could be clearly visualized in nearly half the cases studied with stable reproducibility from the transcatheter echo window. Thus, this technique can be a useful diagnostic means for long-term follow-up of LIMAG and for investigating coronary circulation in the future.

Key words

Two-dimensional Doppler Bypass graft flow Aorto-coronary bypass Internal mammary artery
Linear array Doppler-echo system

埼玉医科大学 第一外科
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷 38 (〒350-04)

The First Department of Surgery, Saitama Medical School, Morohongo 38, Moroyama-machi, Iruma-gun, Saitama 350-04

Received for publication February 17, 1988; accepted April 7, 1988 (Ref. No. 35-11B)

緒 言

ドップラー断層法の開発により, 心臓の超音波診断は, 心内構造異常の発見のほか, 心内短絡血流, 逆流血流, 狭窄血流などの診断評価を加え, 飛躍的な進歩をとげた. このことは, 従来, 心血管造影を含み, 心臓病診断の gold standard と考えられてきた心臓カテーテル検査のかなりの部分が, 無侵襲的な超音波検査法により, 代替可能となったことを意味している. しかし今日の心臓血管外科手術に不可欠な冠動脈血流情報に関しては, ドップラー断層を含む超音波診断法は現時点では全く不十分であり, 冠動脈造影を省略するには至っていない. 冠動脈の解剖学的形態を心エコー図により評価する試みは, Weyman ら¹⁾に始まり, Yoshikawa ら²⁾, Hiraishi ら³⁾による川崎病の冠動脈病変の観察や, Sahn ら⁴⁾による術中心エコー図による冠動脈病変の詳細な評価などが報告されてきた. 冠動脈血流に関しては, 連続波ドップラーを用い, Pisko-Dubiensky ら⁵⁾が大伏在静脈グラフト血流を観察し, また Gould ら⁶⁾や Diebold ら⁷⁾はパルス・ドップラーを用い, 大伏在静脈グラフト血流をかなり高い確率で検出してきた. 伏島ら⁸⁾はパルス・ドップラー法により冠動脈血流を体表から観察し, Kajiya ら⁹⁾は術中に 20 MHz パルス・ドップラーを用い, 詳細な冠動脈血流波形の分析を行っている. ドップラー断層による冠動脈血流の観察は鈴木ら¹⁰⁾の術中観察が最初であり, 我々も, 開心術中や経食道法によるドップラー断層により, 冠動脈血流映像が高い確率で得られることを示してきた¹¹⁻¹³⁾.

しかしこれまで体表からの標準アプローチによるドップラー断層では, 成人症例の冠動脈血流を明瞭に映像化することは非常に困難であり, ルーチン検査とはなり得なかった. その困難性の大部分は, 冠動脈のサイズが小さいのに比し, これが心拍動とともに大きく動くことにあった¹⁴⁾. すなわち心室壁や冠動脈壁の動きに由来するいわゆる wall motion ghost signal と, 冠動脈血流 signal

を分離して検出することの困難性にあると考えられる. 今回, 臨床的な冠動脈血流評価法として, ドップラー断層がルーチン検査となり得るか否かを検討する目的で, コンベックス型探触子とリニア型高感度ドップラー断層を用い, 比較的走行が安定し, かつ心拍動の影響を受けにくい左前下行枝にバイパスした左内胸動脈グラフト血流の描出を試みた.

方 法

左前下行枝に内胸動脈グラフトを用いた冠動脈バイパス手術例 23 例を対象とした (Table 1). 男女比は 22:1, 平均年齢は 57.8 ± 7.4 歳 (44~70 歳) である. 平均冠動脈病変数は 2.6 ± 0.6 本, 平均冠動脈バイパス数は 2.7 ± 0.9 本であった. 内胸動脈バイパスグラフトは全例左前下行枝にバイパスされ, 1 例では第一対角枝へ sequential でさらにバイパスした (Table 2). 使用した超音波装置はリニア型ドップラー断層装置アロカ SSD 350 で, トランスデューサーは 5 MHz のコンベックスタイプのものを用いた. この探触子の表面は湾

Table 1. Types of ischemic heart disease and numbers of bypass grafts anastomosed in 23 consecutive patients

1 vessel disease	2
2 vessels disease	5
3 vessels disease	15
Left main disease	2

Table 2. Types of grafts of the affected coronary arteries

	Right coronary	Left anterior descending	Left circumflex	Total
IMA	0	24*	0	24
SVG	14	8	16**	38

Sequential bypass was performed in one case of internal mammary artery graft (IMAG)*, and two cases of saphenous vein graft (SVG)**.

曲して、皮膚との良好な接触面を保ちつつ、比較的自由に超音波入射角を変えられることから、皮膚に平行して走行する内胸動脈グラフトなどの血流観察に優れている。

内胸動脈グラフト血流は、胸骨左縁第2～第4肋間で、皮膚より3cm前後の深さで、胸骨に平行して走行する2mm程度の太さの血管内に捕らえることができる。通常、内胸動脈グラフト血流のFFTパルス・ドップラー波形は、主として拡張期に流れる血流という特徴を持っていて、条件のよい症例では、左前下行枝への吻合部近傍まで追っていくことが可能であった (Fig. 1)。

結 果

23例の内胸動脈グラフトバイパス症例中、9例(39%)で内胸動脈グラフトのカラー血流映像が得られた。それら9例の拡張期平均最高血流速度は 22.5 ± 8.7 cm/sec、一方、6例にみられた収縮期最高血流速度は平均 12.6 ± 5.7 cm/secであった。術後の冠動脈造影を8例に施行したが、内胸動脈グラフトはすべて開存していた。そのうち4例(50%)は、ドップラー断層によるカラー血流映像が得られた。

症 例 例 示

症例 1: S.Y., 57歳, 男子

3枝バイパス症例であるが、バイパスは左前下行枝(#7)に内胸動脈グラフト、その第一対角枝(#9)および右冠動脈(#3)に大伏在静脈バイパスが置かれている。内胸動脈グラフト血流の検出は胸骨左縁第2～第4肋間で、皮膚より3cm前後の深さで、胸骨に平行して走行する2mm程度の太さの血管内に捕えられた (Fig. 1)。FFTパルス・ドップラー波形は、主として拡張期に流れる冠動脈血流という特徴を持っていた (Fig. 2左)。同じ症例の第一対角枝(#9)に置かれた大伏在静脈グラフト血流は、内胸動脈バイパスグラフト血流と同様に、拡張期に優位となる冠動脈血流波形の特徴を示したが、先に示した内胸動脈グラフトに

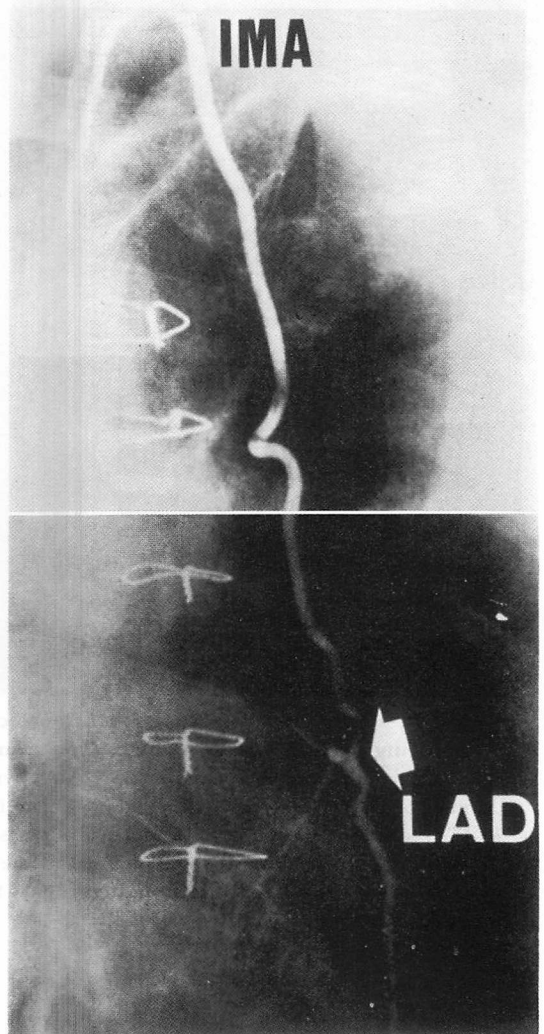


Fig. 1. Postoperative angiograms of a left internal mammary artery graft.

The internal mammary artery (IMA) graft parallels the left side of the sternum. Therefore, this graft can easily be detected from the second to fourth left intercostal echo windows using the standard parasternal view.

脈比較して、血管のサイズは3倍の太さを持っていた。この血管が大伏在静脈グラフトであることは、中枢の上行大動脈との吻合部を観察することで確認でき、内胸動脈グラフトの同定よりも容易

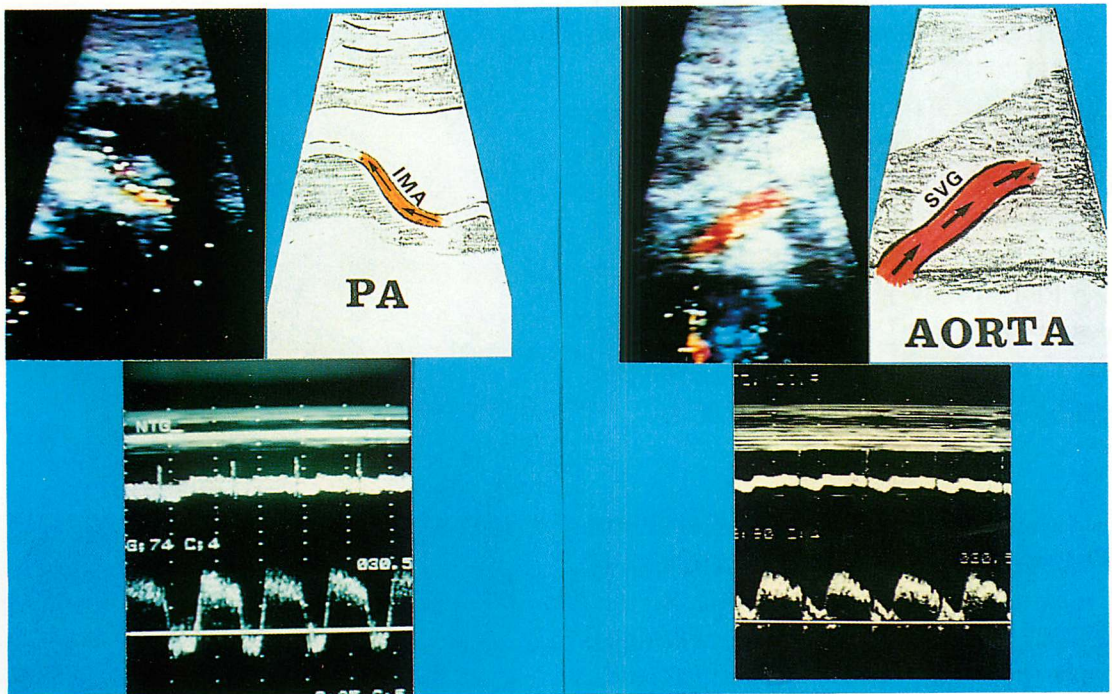


Fig. 2. Color flow visualization of aortocoronary bypass graft flow by a linear color flow mapping system with a convex type transducer. (Case 1, S.Y., 57-year-old man).

The left internal mammary artery (IMA) bypass graft is anastomosed to the left anterior descending (LAD #7) coronary artery, and the flow is clearly visualized in the left parasternal view from the second intercostal echo window with a diastolic peak velocity of 27 cm/sec (left). The saphenous vein graft (SVG) which is anastomosed to the first diagonal branch of the LAD (#9), and its flow is clearly visualized in the left parasternal view from the third intercostal echo window with a diastolic peak velocity of 15 cm/sec (right).

であった (Fig. 2 右).

症例 2: K.S., 47 歳, 男子

Fig. 3 は 3 枝バイパス 症例の 術後 18 日目に, 薬物投与あるいは運動負荷を与えた際に得られた内胸動脈グラフト血流のドップラー断層, ならびにパルスドップラー記録である. カラー血流映像では, 負荷をかけ血流速度が速くなると血流映像は明るくなり, 観察はいっそう容易になった. 右上のドップラー断層像 (HG) はハンドグリップによる運動負荷時のものである. 中央右 (NTG) はニトログリセリン負荷, 下の 2 図はハンドグリップ (HG) および自転車による運動負荷 (EX) の

効果を見たものである. FFT によりこれら負荷時の血流速度を測定すると, 薬物や運動負荷により, いずれも血流速度は増加した. これら負荷時の血流速度変化のパターンからも, 観察下の血管が内胸動脈バイパスグラフトであることが示唆されている. また本症例では 24 時間以内に行われた冠動脈造影で, 内胸動脈グラフトの良好な開存が証明された. このように内胸動脈バイパスグラフトの場合, 観察している血管が確実に内胸動脈であることを直接証明することは困難で, いくつかの傍証を固めていくことが重要である.

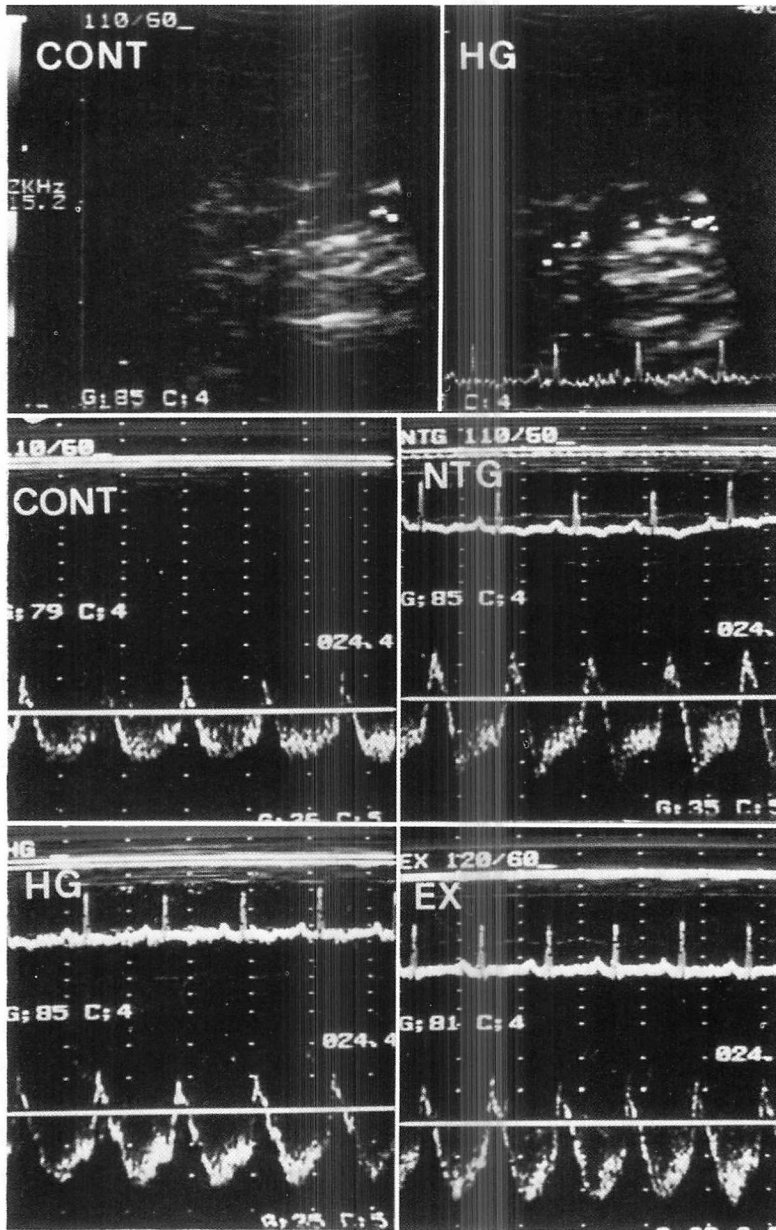


Fig. 3. Color flow visualization of aortocoronary bypass graft flow and changes in the flow velocity during drug administration and exercise tests (Case 2, K.S., 47-year-old man).

The diastolic peak velocity and the shape of coronary bypass graft flow pattern of IMA graft are markedly changed by drug administration and exercise. The diastolic peak velocity at rest (CONT: control) is 16 cm/sec, and it is accelerated to 24 cm/sec by nitroglycerine (NTG) administration, to 23 cm/sec by handgrip test (HG) and to 23 cm/sec by exercise test (EX) using a bicycle.

考 按

わが国においても、食生活の西欧化と人口の高齢化に伴い、虚血性心疾患は飛躍的に増加し、したがって冠動脈バイパス手術は心臓外科における最も重要な領域の一つとなってきた。これら冠動脈バイパス手術患者の予後はバイパスグラフト開存に大きく左右されるが、近年、多枝バイパス症例や再手術症例が増加したことと、術後5年以上の経過観察で、急速に大伏在静脈グラフトの閉塞率が高まることが知られ、長期開存率の高い内胸動脈グラフトが、しばしば用いられるようになってきた¹⁵⁾。従来、これらのバイパスグラフトにおける開存の有無を確実に評価するには、侵襲的な冠動脈造影を行う以外有効な検査手段はなかった。しかし冠動脈造影により経時的にバイパスグラフトの開存をチェックすることは、患者の肉体的負担や、検査に要する費用を考慮した場合、困難である。

心エコー図はドップラーエコー図法の導入により、循環器領域の非侵襲的診断法として飛躍的な進歩を遂げ、先天性心疾患や後天性弁膜症の一部は、心臓カテーテル検査を省略して手術が行われるようになってきた¹⁶⁾。しかし冠動脈病変に関しては、術中応用^{4,9,11)}や経食道法^{12,13,17)}によってようやく臨床検査となり得る解像力が獲得されてきたばかりで、体表からの標準アプローチによる冠動脈や冠動脈バイパスグラフトの検出にはなお大きな困難がある。大伏在静脈グラフト血流に関しては、Pisko-Dubiensky ら⁵⁾が連続波ドップラーを用い、また Gould ら⁶⁾や Diebold ら⁷⁾がパルスドップラーを用いて、高い確率でその検出が可能なことを報告しているが、我々の検討では、検出率は極めて低かった¹⁸⁾。さらに内胸動脈は native な冠動脈と同様、径 2 mm とかなり細く、そのサイズは現存の超音波断層装置の解像力の限界に近く、これまで体表からの標準的なアプローチにより評価した報告はない。しかし、走行が複雑な冠動脈と異なり、内胸動脈グラフトは走行が

一定しており、比較的浅い位置を胸骨縁に沿って真っ直ぐに走行することから、高い周波数の探触子による観察可能範囲にある。しかも吻合部に近い部分を除き、心拍動に伴う動きもないことから、native な冠動脈よりもはるかに観察し易いと考えられる。さらにその血流は大伏在静脈グラフト血流に比べ速度が早いために、ドップラーシフトが大きく、その血流映像はドップラー断層では逆に得易いものと考えられる¹⁸⁾。

今回用いたリニア型ドップラー断層装置は、フェイズドアレイ型ドップラー断層に比べ、空間解像力は優れていると考えられるが、それでも内胸動脈バイパスグラフトの解剖学的構造を明瞭に捕えることは困難であった。検査手順としては、最初から内胸動脈バイパスグラフトのカラー血流映像を描出すべく努力することが、短時間に効率よく検出するコツであった。今回の検討でも、一度観察できた症例では経時的にかなり安定した血流映像が得られ、自転車による運動負荷検査でも記録可能であった¹⁹⁾。

内胸動脈グラフトは左前下行枝領域における最も重要な冠動脈に対し、長期にわたる良好な血流供給を目的として用いられ、その開存は患者の予後にとってきわめて重要である¹⁵⁾。本法による内胸動脈グラフト血流検出率はなお 40~50% と高くはないが、一度検出された症例では経時的に極めて安定した再現性が得られていることから、侵襲的な冠動脈造影以外に、その開存を確認する手段のない今時点では、有力な無侵襲的診断法と考えられる。繰り返し容易に内胸動脈バイパスグラフト開存が確認でき、さらに各種薬剤や運動負荷の冠動脈血流に及ぼす効果を詳細に検討できるようになったことは、冠動脈バイパス手術手術後の長期患者管理にとり、今後、極めて効果的な情報を与えてくれるものと期待される。

結 論

コンベックス型探触子およびリニア型ドップラー断層を用いて、23例中9例(39.1%)に内胸動

脈バイパスグラフトのカラー血流映像を得ることが出来た。本法は冠動脈バイパス手術症例の経過観察、冠動脈血流の循環生理の研究に、今後有力な方法と成りうることが示唆された。

要 約

内胸動脈バイパスグラフトの開存を無侵襲的に評価する目的で、連続 23 例の冠動脈バイパス手術症例 (男 22 例, 女 1 例) にドップラー断層検査を施行した。対象とした症例の冠動脈病変数は平均 2.6 ± 0.6 枝で、平均冠動脈バイパスグラフト数は 2.7 ± 0.9 本であった。22 例では内胸動脈バイパスグラフトは isolated bypass graft として用いられ、1 例では sequential bypass graft として用いられた。使用したドップラー断層装置はリニア型 (Aloka SSD 350) で、コンベックス型の探触子を用いた。

内胸動脈バイパスグラフトのカラー血流映像は 23 例中 9 例 (39%) において極めて明瞭に描出され、そのグラフト血流の心拡張期平均流速は 22.5 ± 8.7 cm/sec、心収縮期平均流速は 12.6 ± 5.7 cm/sec であった。8 例における 2 週間以内の冠動脈造影では良好なグラフト開存が確認されたが、ドップラー断層では 8 例中の 4 例 (50%) に明瞭なカラー血流映像が得られた。

サイズが小さいため、従来の断層心エコーガイド下のパルス・ドップラーあるいは連続波ドップラー法では著しく検出が困難であった内胸動脈バイパスグラフトも、カラー血流映像を得ることにより、極めて容易に観察できることが明らかになった。

本法は何胸動脈バイパスグラフトの長期経過観察、また冠動脈の循環生理の研究に、将来極めて有力な診断法となり得ると考えられた。

文 献

- 1) Weyman WE, Feigenbaum H, Dillon JC, Johnston KW, Eggleton R: Noninvasive visualization of the left main coronary artery by cross-sectional echocardiography. *Circulation* **54**: 169-174, 1976
- 2) Yoshikawa J, Yanagihara K, Owaki T, Kato H, Takagi Y, Okumachi F, Fukaya T, Tomita Y, Baba K: Cross-sectional echocardiographic diagnosis of coronary artery aneurysms in patients with the mucocutaneous lymph node syndrome. *Circulation* **59**: 133-139, 1979
- 3) Hiraishi S, Yashiro K, Kusano S: Noninvasive visualization of coronary arterial aneurysms in infants and young children with mucocutaneous lymph node syndrome with two dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* **43**: 1225-1233, 1979
- 4) Sahn DJ, Barratt-Boyes BG, Graham K, Kerr A, Roche A, Copeland JB, Mammana R, Temkin LP, Glenn W: Ultrasonic imaging of the coronary arteries in open-chest humans: Evaluation of coronary atherosclerotic lesions during cardiac surgery. *Circulation* **66**: 1034-1044, 1982
- 5) Pisko-Dubiensky ZA, Baird RJ, Wilson DR: Non-invasive assessment of aorta-coronary saphenous vein bypass graft patency using directional Doppler. *Circulation* **51** (Suppl II): I-188-I-196, 1975
- 6) Gould KL, Mozersky DJ, Hokanson DE, Baker DW, Kennedy JW, Summer DS, Strandness ED Jr: A non-invasive technic for determining patency of saphenous vein coronary bypass grafts. *Circulation* **46**: 595-600, 1972
- 7) Diebold B, Theroux P, Bourassa MG, Peronneau P, Guernonprez J: Non-invasive assessment of aortocoronary bypass graft patency using pulsed Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* **43**: 10-16, 1979
- 8) 伏島堅二, 高原善治, 須藤義夫, 村山博和, 増田義昭, 稲垣義明: 冠血流と心筋血流計測: Pulsed Doppler 法. *呼吸と循環* **36**: 707, 1988
- 9) Kajiya F, Ogasawara Y, Tsujioka K, Nakai M, Goto M, Wada Y, Tadaoka S, Matsuoka S, Mito K, Fujiwara T: Evaluation of human coronary blood flow with an 80 channel 20 MHz pulsed Doppler velocimeter and zero-cross and Fourier transform methods during cardiac surgery. *Circulation* **74** (Suppl III): III-53-III-60, 1986
- 10) 鈴木 茂, 堀越茂樹, 小机敏昭, 佐々木達海, 宮沢総介, 益子健男, 古川 仁, 江本秀斗, 辛島賢二, 新井達太: 冠動脈外科における術中超音波検査法の有用性. *日外会誌* **86** (臨時増刊号): 443, 1985
- 11) Kyo S, Adachi H, Takamoto S, Matsumura M, Yokote Y, Omoto R: Intraoperative evaluation of the effects of coronary revascularization by color flow mapping 2-D Doppler echocardiography

許, 松村, 高本, ほか

- thermocardiography. *J Am Coll Cardiol* **7**: 150A, 1986 (abstr)
- 12) 許 俊鋭, 高本真一, 松村 誠, 横手祐二, 尾本良三: 経食道ドプラ断層法による冠動脈血流の映像化. *J Cardiogr* **16**: 831-840, 1986
- 13) 許 俊鋭, 高本真一, 朝野晴彦, 横手祐二, 尾本良三: 経食道ドプラ断層による非侵襲的冠動脈血流の評価: IABP 拡張期 augmentation 効果の検討. *人工臓器* **16**: 153-156, 1987
- 14) 立石 修, 岡村哲夫, 古幡 博, 瀬尾育式, 飯沼一浩: 血管追跡型パルスドプラ血流計を用いた冠動脈拡張期圧流量関係の検討. *Jpn J Med Ultra* **14** (Suppl II): 81-82, 1987
- 15) Lytle BW, Loop FD, Cosgrove DM, Ratliff NB, Easley K, Taylor PC: Long-term (5 to 12 years) serial studies of internal mammary artery and saphenous vein coronary bypass grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg* **89**: 248-258, 1985
- 16) Kyo S, Takamoto S, Takanawa E, Matsumura M, Yokote Y, Omoto R: Does color flow mapping Doppler echocardiography allow the catheterization laboratory to be bypassed in surgery of congenital heart disease. *In* Roelandt J. ed: *Color Doppler Flow Imaging and Other Advances in Doppler Echocardiography*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 1986, pp 107-121
- 17) Kyo S, Takamoto S, Matsumura M, Asano H, Yokote Y, Motoyama T, Omoto R: Immediate and early postoperative evaluation of results of cardiac surgery by transesophageal two-dimensional Doppler echocardiography. *Circulation* **76** (Suppl V): 113-121, 1987
- 18) 許 俊鋭, 松村 誠, 高本真一, 横手祐二, 尾本良三: リニア型高感度ドプラ断層による冠動脈バイパスグラフト血流の評価. *Jpn J Med Ultra* **14** (Suppl II): 77-78, 1987
- 19) 松村 誠, 許 俊鋭, 高本真一, 横手祐二, 尾本良三: 超音波ドプラ法による内胸動脈——冠動脈バイパス血流動態の検討: 冠動脈, 内胸動脈との比較. *Jpn J Med Ultra* **14** (Suppl II): 79-80, 1987