

等尺性握力負荷超音波ド  
プラー法を用いた冠動脈バ  
イパス術後の局所心筋障害  
と心機能の評価

Regional myocardial  
perfusion and function  
after coronary bypass  
surgery: Evaluation us-  
ing handgrip exercise  
Doppler echocardio-  
graphy

松村 誠  
許 俊鋭  
横手 祐二  
尾本 良三

Makoto MATSUMURA  
Shunei KYO  
Yuji YOKOTE  
Ryozo OMOTO

**Summary**

To evaluate myocardial perfusion and function of the interventricular septum after coronary artery bypass surgery, 29 patients with internal mammary artery grafts (IMAG) were examined using handgrip exercise Doppler echocardiography. IMAG flow was measured by color flow Doppler. Septal excursion and percent thickening of the interventricular septum during systole were measured as indicators of regional left ventricular function by M-mode echocardiography. Myocardial perfusion was estimated by thallium-201 exercise myocardial scintigraphy using a treadmill.

1. At rest, there were no significant correlations between IMAG flow and septal excursion and percent thickening or myocardial perfusion.

2. After the isometric handgrip exercise test, IMAG flow increased  $20.0 \pm 3.9\%$  from at rest, and the percentage of change in IMAG flow correlated significantly with changes in septal excursion ( $r=0.63$ ) and percent thickening ( $r=0.72$ ). It was found that a response of bypass graft flow to exercise has a correlation with contractility of cardiac muscle.

3. The rate of increase in IMAG flow in patients with normal myocardial scintigraphic findings ( $31.8 \pm 6.2\%$ ) was higher than that in patients with ischemia ( $15.3 \pm 5.6\%$ ) or infarction ( $15.0 \pm 11.3\%$ ).

4. A greater increase of percent thickening was observed in patients with normal exercise myocardial scintigraphic findings.

These results suggest that the responses of the bypass graft flow to handgrip exercise may reflect viability and contractility of cardiac muscles perfused by the graft. Thus, exercise Doppler echocardiography is useful for evaluating regional myocardial perfusion and function of the interventricular septum after coronary artery bypass surgery.

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 October 20, 1989; accepted December 16, 1989 (Ref. No. 36-393)

## Key words

Coronary bypass graft flow  
Isometric handgrip exercise

Two-dimensional Doppler echocardiography

Myocardial perfusion

### はじめに

冠動脈バイパス術後患者において、バイパスグラフトの開存状態は手術の成功や長期予後を判定するのに重要であり、観血的には血管造影法によって確認され、非侵襲的には X 線 CT<sup>1,2)</sup> や心電図<sup>3-5)</sup>、核医学検査法<sup>6-8)</sup>などによって評価されている。しかし、心筋虚血や心機能の改善に対する手術効果を評価するためには、バイパスグラフトの開存性の確認だけでは不十分であり、バイパス灌流領域におけるグラフト血流と心筋虚血や心機能との関係について検討することが必要である。

今回、我々は内胸動脈-冠動脈バイパス術後症例において、超音波ドップラー心エコー図法を用いてハンドグリップ負荷に対するバイパスグラフト血流と壁運動、心筋収縮の反応性について検討し、バイパス灌流領域の心筋障害と局所心機能の評価を試みた。

### 対象と方法

対象は冠動脈バイパス術後、等尺性ハンドグリップ負荷試験を施行し、超音波ドップラー心エコー図法により、左冠動脈前下行枝に吻合した左内胸動脈バイパスグラフト血流と心室中隔壁運動の観察が可能であった 29 例である。全例、血管造影検査と運動負荷タリウム心筋シンチグラフィを行った。男性 25 人、女性 4 人で平均年齢は 59 ± 8 歳 (44~73 歳) である。手術前の冠動脈造影所見は、75% 以上の有意狭窄を有する冠動脈病変は二枝病変が 20 例 (右冠動脈 + 前下行枝: 13 例, 前下行枝 + 回旋枝: 7 例)、三枝病変が 9 例であった。冠動脈バイパス術に使用したバイパスグラフト血管は、内胸動脈 29 本、大伏在静脈 46 本の計 75 本である。内胸動脈バイパスグラフトの

吻合部位は全例、左冠動脈の前下行枝 (#7 が 17 例, #8 が 12 例) で、大伏在静脈バイパスグラフトの吻合部位は第一対角枝が 13 例、回旋枝が 17 例で右冠動脈は 16 例であった。29 例のうち、3 例は内胸動脈バイパスグラフト血流以外に、左冠動脈第一対角枝にバイパスした大伏在静脈バイパスグラフトの血流も同時に超音波ドップラー心エコー図法で観察されたが、本研究では内胸動脈バイパス血流についてのみ検討した。術後の血管造影で、右冠動脈あるいは左冠動脈回旋枝にバイパスした大伏在静脈バイパスグラフト 9 本 (6 例) に閉塞、また、左冠動脈前下行枝に吻合した内胸動脈の 1 例に 50% 狭窄を認めたが、他の症例の内胸動脈グラフトの開存状態は良好であった。負荷ドップラー検査時期は術後 2~8 週 (平均 4.2 ± 3.1 週) で、血管造影検査は術後 4 週~12 週 (平均 5.8 ± 3.8 週) に施行した。また、運動負荷心筋シンチグラフィは術後 8 週~16 週 (平均 10.3 ± 3.2 週) に行い、負荷ドップラー検査時期との差は平均 6.1 ± 3.0 週であった。

超音波ドップラー心エコー図装置にはアロカ製コンベックス・リニア型 SSD340 あるいはセクター型ドップラー断層装置 SSD870 を用い、探触子はコンベックス型では 5 および 7.5 MHz、セクター型では 5 MHz を使用した。繰り返し周波数は 1, 2, 3, 4 KHz、パルス・ドップラー法のサンプル・ボリュームの大きさは 1 mm を用いた。また、血圧は Nippon Colin 製 STBP-680 自動血圧測定器を用いて、検査中 1 分ごとに測定した。

### バイパスグラフト血流の検出法と確認

既報<sup>9)</sup>のごとく、被検者の第 2 あるいは第 3 肋間胸骨左縁より、大動脈前壁から右室流出路にかけ、カラードップラー法を用いて胸壁より深さ約 2~4 cm の領域を検索し、血管径が 2~3 mm で拡張期優位の拍動流パターンを示す内胸動脈バイ

パスグラフト血流を描出した。その後、パルス・ドップラー法を用いて、血流方向と超音波ビームのなす角度が最も小さくなる位置でサンプリングし、血流速度を記録した (Fig. 1)。また一部 (3例) の症例において、血管造影時に超音波パルス・ドップラー法を用いて、バイパスグラフト血流を確認した。Fig. 2 は心血管カテーテル検査時、内胸動脈内に直接、生理的食塩水を注入して、バイパスグラフト内血流速度の変化をドップラー法にて観察したものである。注入後、血流速度が増大するのが観察された。

心室中隔運動と局所心機能の評価法

超音波 M モード法を用いて、僧帽弁前尖と乳頭筋の間で左室側左室中隔壁の収縮期最大振幅幅と壁厚を計測し、振幅幅が +2mm 以上を normal, +1mm から -1mm を flat, -2mm 以上を paradoxical として、心室中隔壁運動を三段階に分類した<sup>10)</sup>。また、ハンドグリップ負荷前後の振幅幅 ( $\Delta$ excursion) と壁厚変化率の差 ( $\Delta$ thickening %) を求め、局所心機能の指標とした。

心筋障害の分類法

心筋障害の判定は、運動負荷タリウム心筋シンチグラムの最大運動負荷直後の初期像と3時間後の再分布像を用いて、心室中隔領域について視覚

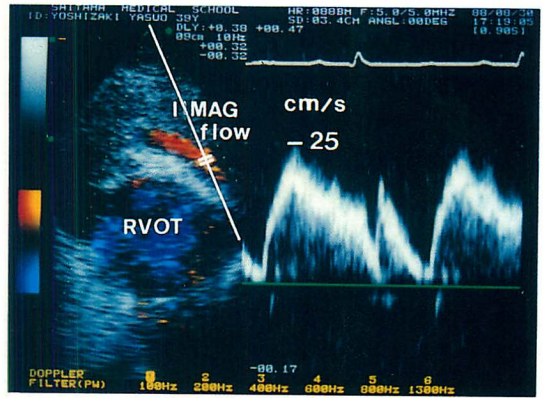


Fig. 1. Color Doppler echocardiogram demonstrating coronary artery bypass graft flow.

IMAG=internal mammary artery graft; RVOT=right ventricular outflow tract.

的に normal, ischemia, infarction の三つに分類した。すなわち、負荷後灌流障害がなく欠損像を認めないものを normal, 初期の欠損像が3時間後消失あるいは改善を示すものを ischemia, 3時間後も固定性欠損像を示すものを infarction とした。

運動負荷方法

超音波ドップラー心エコー図検査時のハンドグリップ負荷は、仰臥位にて左手の最大握力の 1/3 で3分間として二度行い、心室中隔壁運動、壁厚

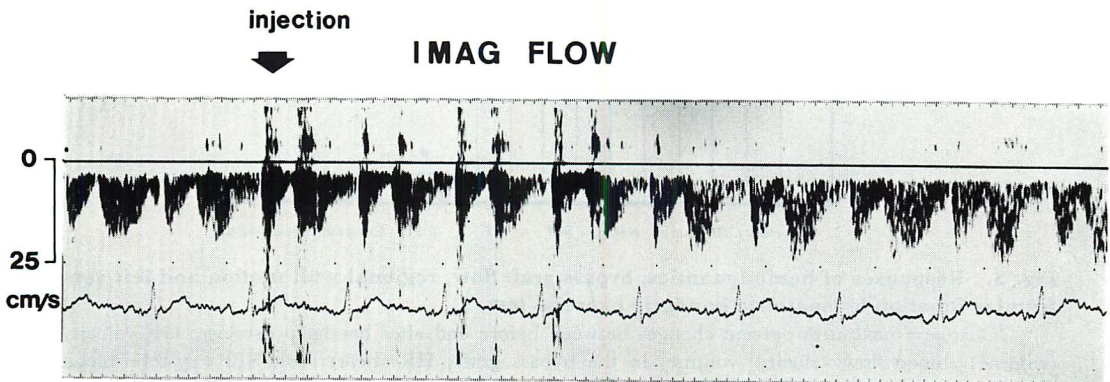


Fig. 2. Blood flow in the coronary artery bypass graft during catheterization.

Blood flow velocity in the IMAG increases immediately after injection of saline.

変化率およびバイパスグラフト血流の変化を別々に記録した。負荷タリウム心筋シンチグラム検査時の運動負荷はトレッドミルを用い、連続的多段階方式<sup>11)</sup>で行い、また、end point は症状出現、血圧、心拍数の低下、心電図上 ST の変化、不整脈の頻発あるいは最大予測心拍数の 85% に達した時点とした。

#### 計測方法, 統計処理

超音波ドップラー心エコー図法による計測と運動負荷タリウム心筋シンチグラム所見の判定は独立して行い、心室中隔壁の最大振幅幅と壁厚変化率、バイパスグラフト血流速度、血流量は連続する 5 心拍の平均値とした。また、負荷前後の比較は paired t test, 各群間の差の検定は Fisher's t test を用いて、5% 以下の危険率をもって有意とした。

## 結 果

### 1. ハンドグリップ負荷時の反応 (Fig. 3)

1. バイパスグラフト血流と血行動態の変化：  
バイパスグラフト血流はハンドグリップ負荷によって 10 例では明らかな変化 ( $\pm 10\%$  未満) を示さなかったが (Fig. 4), 他の 19 例では明らかな増加を示し (Fig. 5), 負荷後の平均血流速度と血流量は、安静時に比べ、各々  $21.4 \pm 3.9\%$  と  $21.5 \pm 3.5\%$  有意に増加した。また、収縮期血圧と心拍数も各々  $15.1 \pm 1.4\%$ ,  $8.1 \pm 1.4\%$  増加し、安静時に比べ double product は  $24.8 \pm 2.7\%$  増加した。

### 2. 心室中隔壁運動と心機能の変化：

壁運動は安静時に異常を示す例が多く (flat: 10 例, paradoxical: 8 例), 正常例は 29 例中 11 例 (38%) のみであった。ハンドグリップ負荷後、flat 群の 2 例と paradoxical 群の 1 例は改善傾

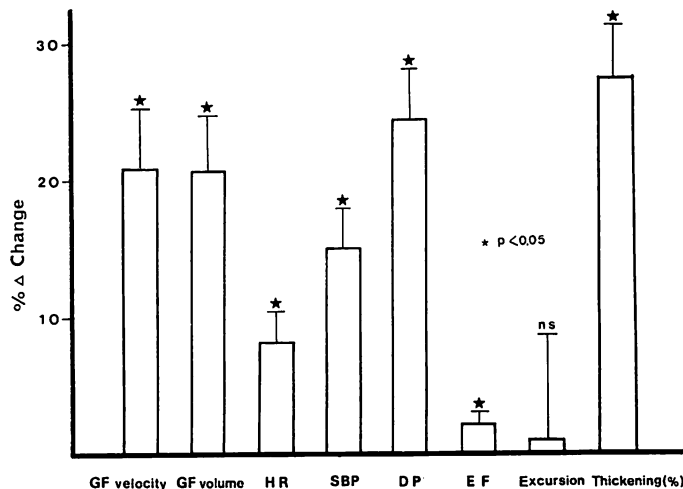


Fig. 3. Responses of hemodynamics, bypass graft flow, regional wall motion and left ventricular function to isometric handgrip exercise test.

% Δ Change = maximum percent changes between before and after handgrip exercise; GF velocity (volume) = blood flow velocity (volume) in the bypass graft; HR = heart rate; SBP = systolic blood pressure; DP = double product; EF = ejection fraction; Excursion = interventricular septal excursion; Thickening (%) = percent changes of thickness of interventricular septum during systole.

\*: probability (control versus handgrip exercise) < 0.05 by paired t test.

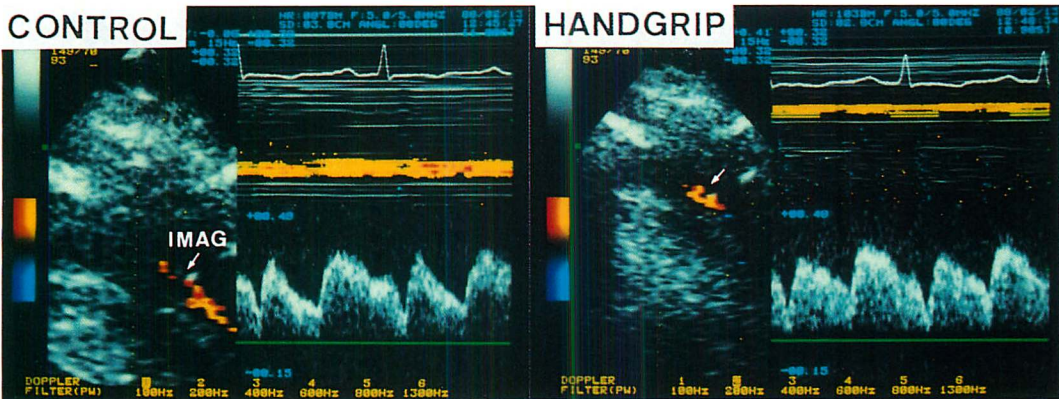


Fig. 4. Exercise Doppler echocardiogram of a patient with no significant change in bypass graft flow.

HANDGRIP = isometric handgrip exercise.



Fig. 5. Exercise Doppler echocardiogram of a patient with increased bypass graft flow.

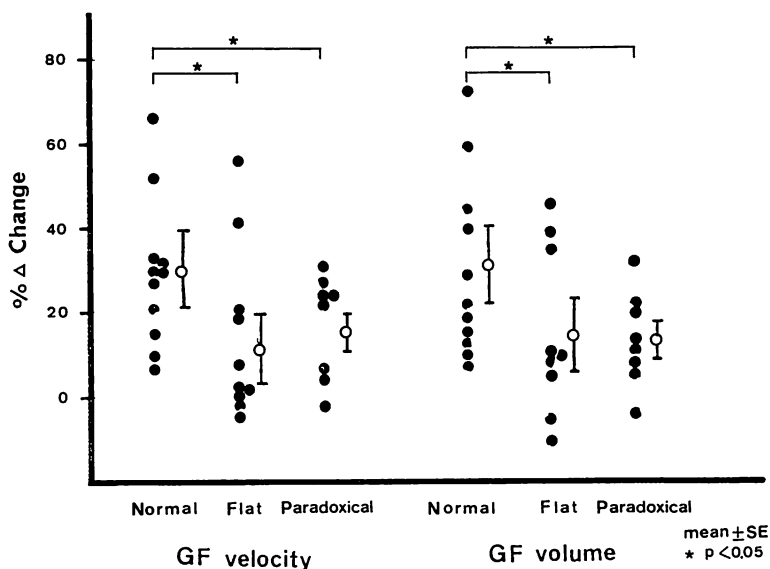
For abbreviation : see Fig. 4.

向を示したが、心室中隔壁の最大振幅幅は負荷前 ( $0.7 \pm 0.6$  mm) と負荷後 ( $0.8 \pm 0.6$  mm) で差がなく、ハンドグリップ負荷によって壁運動は有意な変化を示さなかった。しかし、左室駆出率は負荷後、 $58.9 \pm 2.1\%$  から  $61.4 \pm 2.2\%$  に、また心室中隔壁の壁厚変化率も  $23.4 \pm 1.0\%$  から  $29.6 \pm 1.6\%$  に増加し、ハンドグリップ負荷により、冠動脈バイパス術後症例の左心機能と左室中隔壁の局所心筋収縮能は有意に増大した。

## 2. バイパスグラフト血流と局所心機能の関係

安静時のバイパスグラフト血流速度と血流量

は、壁運動 normal 群、flat 群と paradoxical 群の間で有意な差はなく、また、心室中隔壁の最大振幅幅 ( $r=0.03$ ,  $r=0.08$ ) や壁厚変化率 ( $r=-0.06$ ,  $r=0.19$ ) とも明らかな相関関係を示さなかった。しかし、ハンドグリップ負荷後のバイパスグラフト血流速度と血流量の増加率は、壁運動 flat 群および paradoxical 群よりも normal 群の方が有意に高く (Fig. 6)、また平均血流速度の増加率と、最大振幅幅 ( $r=0.63$ ) および壁厚変化率の増加 ( $r=0.72$ ) は、有意な正相関関係を示した (Figs. 7A, 7B)。すなわち、ハンドグリップ負荷時、心室



**Fig. 6. Relationship between septal wall motion and responses of bypass graft flow.**

The higher percentages of increase in blood flow velocity and volume are observed in patients with normal septal wall motion.

%ΔChange=maximum percent changes between before and after handgrip exercise; GF velocity (volume)=blood flow velocity (volume) in the coronary artery bypass graft.

\* probability (normal versus flat or paradoxical) <0.05 by Fisher's t test.

中隔壁における心筋収縮の増大に基づくバイパスグラフト血流の増加傾向を認めた。

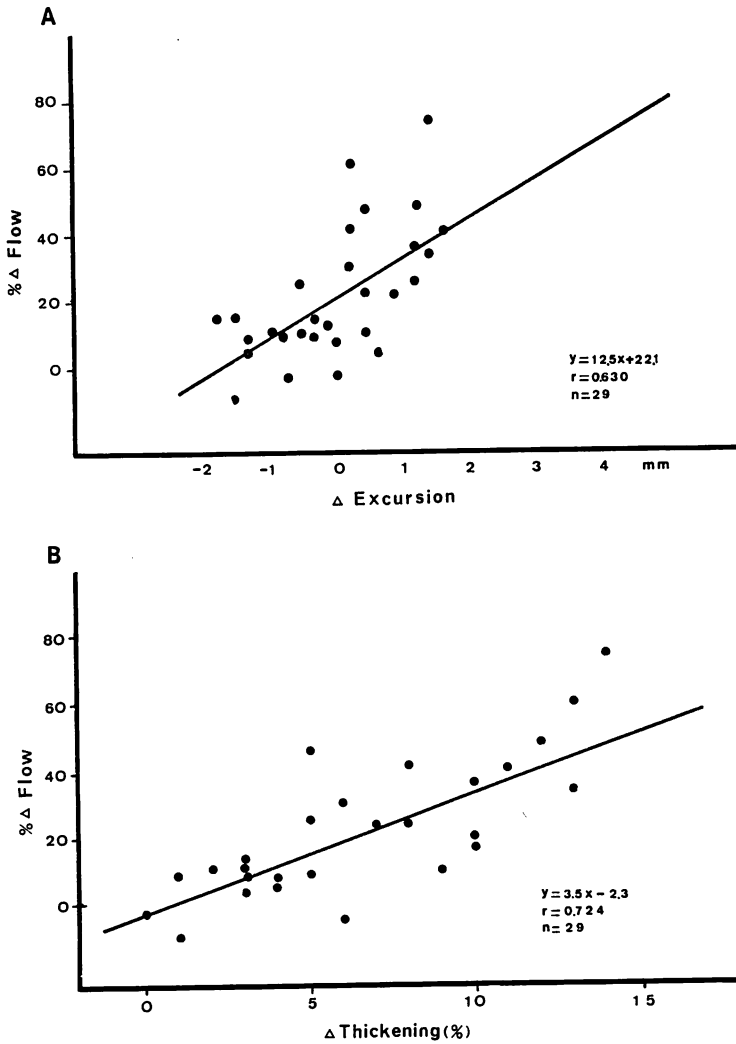
### 3. バイパスグラフト血流と局所心筋障害の関係 (Table 1)

安静時, バイパスグラフト血流速度と血流量は, 運動負荷タリウム心筋シンチグラム normal 群, ischemia 群, infarction 群の各群間で有意な差を認めなかった. 負荷後, 血流速度と血流量は infarction 群では明らかな変化を示さなかったが, normal 群と ischemia 群では有意に増加した (Figs. 8A, 8B). また, normal 群の増加率は ischemia 群, infarction 群よりも有意に高く (Fig. 9), 運動負荷に対するバイパスグラフト血流の反応性と心筋障害との間に明らかな関係を認めた.

### 4. 局所心機能と局所心筋障害の関係

心室中隔壁運動 normal 群では, 全例 (11例),

運動負荷タリウム心筋シンチグラム上 normal あるいは ischemia を示し, infarction を認めた症例はなかった. しかし, 壁運動異常群では (flat 群と paradoxical 群) 18例のうち, infarction が 7例, ischemia と normal が各々 7例と 11例あり, 壁運動異常と心筋障害の程度に明らかな関係は認められなかった (Fig. 10). 一方, 安静時の最大振幅幅や壁厚変化率は, ischemia 群や infarction 群に比較して, normal 群で高い傾向を示したが, 統計学的には各群間で有意差を認めなかった. しかし, ハンドグリップ負荷後, normal 群と ischemia 群の壁厚変化率は有意に増加し, また, その壁厚変化率の増加は ischemia 群 (6±2%) や infarction 群 (3±2%) よりも normal 群 (9±3%) の方が大きく, 局所心筋収縮能と心筋障害の間に有意な関係を認めた.



**Fig. 7. Correlations between regional myocardial function and changes of bypass graft flow.**

Percent changes of bypass graft flow correlate significantly with changes of interventricular septal excursion (A) and percent thickening (B).

%ΔFlow=maximum percent change of bypass graft flow between before and after exercise; ΔExcursion=changes of interventricular septal excursion; ΔThickening (%)=changes of percent thickening.

**考 按**

一般に、冠動脈バイパス術後の心筋灌流や心機能を評価するためには、運動負荷を用いた心電図検査、超音波検査や核医学検査などが有用と考え

られている。負荷心電図は運動能力や心筋虚血の検出<sup>3-5,7)</sup>に有用であり、また、運動負荷心筋シンチグラフィや心プール法では局所の心筋灌流や心機能の評価が可能である<sup>6-8,12)</sup>。しかし、これらの検査方法ではバイパスグラフト血流の評価は

Table 1. Responses of regional left ventricular function and coronary artery bypass graft flow to isometric handgrip exercise tests

	Normal (n=11)		Ischemia (n=11)		Infarction (n=7)	
	Control	HG	Control	HG	Control	HG
Septal excursion (mm)	2±1	3±1*	1±1	0±1	-2±1	-2±1
Septal thickening (%)	25±2	34±2*	23±2	29±3*	22±3	25±3
Max GF velocity (cm/sec)	29±4	40±5*	37±4	43±5*	36±6	41±7
Mean GF velocity (cm/sec)	14±2	19±3*	18±2	21±3*	16±2	17±2
GF volume (ml/min)	47±6	66±9*	60±6	68±6*	48±4	51±9

Normal=patients with normal findings; Ischemia=patients with redistribution; Infarction=patients with persistent defects on thallium-201 exercise myocardial scintigram; Septal excursion=interventricular septal excursion; Septal thickening (%)=percent changes of the interventricular septum thickness during systole; Max (mean) GF velocity (volume)=maximum (mean) blood flow velocity (volume) in the coronary arterial bypass graft flow; HG=isometric handgrip exercise test.

\* probability (control versus HG)<0.05 by paired t test.

不可能であり、負荷時のバイパスグラフト血流と心機能や壁運動、心筋障害との関係について検討することも困難である。一方、今回、我々が用いた超音波法は壁運動や心機能を実時間で観察することができ<sup>10,13</sup>、また、ドップラー法の併用により、他の検査法では得られないバイパスグラフト血流動態の情報も非観血的に得ることができるため<sup>9,14-16</sup>、生理的条件下で、バイパスグラフト血流と心機能、壁運動、心筋障害の関係についての検討が可能であると思われる。

#### 冠動脈バイパス術後の心機能、壁運動

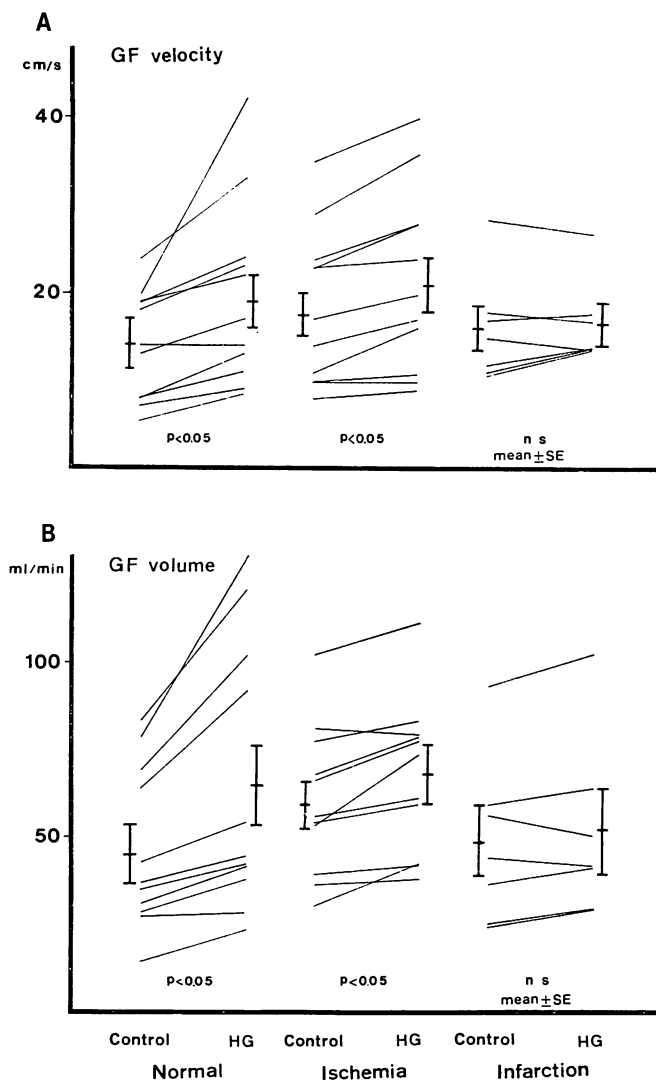
冠動脈バイパス術後の心機能は、術後早期からEFの改善を認めたとする報告<sup>17</sup>もあるが、一般に、早期は術前に比較して低下し<sup>18</sup>、その後数ヶ月してから回復あるいは増加してくる。また、壁運動も同様に、術後の経過時期とともに変化する<sup>10,18</sup>。すなわち、手術直後(1~2週)は心嚢内の血栓や浸出液による心膜と心筋の緊張関係の変化や、人工心肺中の無酸素に基づく心筋の浮腫やコンプライアンスの変化<sup>13</sup>などの影響が残るため、遠隔期に比べて壁運動異常を示す頻度は高い。Righetti<sup>10</sup>らは心エコー図法を用いて検討し、術後早期(1週)に壁運動異常は40例中26例で観察されるが、術後4ヶ月以降では35例中7例に

減じると報告している。部位別では、前壁と側壁は手術前後で明らかな変化を示すことが少なく、心室中隔は術前の壁運動異常の有無に関係なく、術後に異常を示すことが多い<sup>19</sup>。この心室中隔の壁運動異常は、一般に、心筋梗塞や心筋障害<sup>18</sup>、右室の容量負荷<sup>19</sup>、心室中隔の興奮伝導の変化<sup>20</sup>、心嚢液貯留<sup>21</sup>、心膜欠損(摘除)<sup>22</sup>時に観察されることから、冠動脈バイパス術後症例に認められる壁運動の異常に関しても、同様の機序が推測される。すなわち、術中における新しい梗塞の発生<sup>23</sup>や心膜の不完全修復、術後の心嚢液貯留などが、冠動脈バイパス術後に観察される心室中隔壁運動異常の主な原因と考えられる。今回、我々の症例では心嚢液貯留例は5例のみで、術中に明らかな心室中隔領域の梗塞の発生を認めた例は含まれていないが、術後2週から6週目の比較的早期の症例が多いことと、心膜の修復が不完全であったために、これまでの報告と同様、心室中隔の壁運動異常(29例中18例)を高率に認めた。

#### バイパスグラフト血流と局所心機能

局所冠血流と局所心筋収縮能との間に密接な関係があることは実験的によく知られているが<sup>24</sup>、冠動脈バイパス術後症例におけるグラフト血流とその灌流領域の心筋収縮能との関係については、





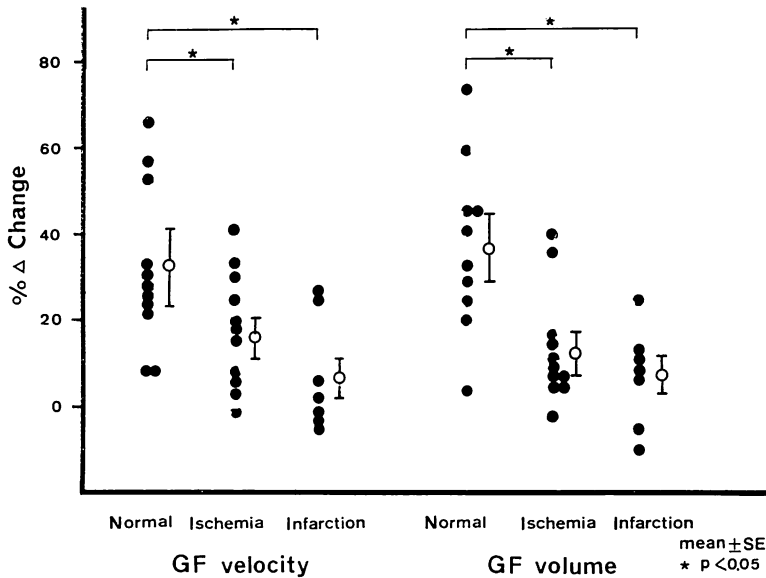
**Fig. 8. Changes of blood flow velocity and volume in coronary artery bypass graft during exercise and myocardial perfusion.**

A significant increase in blood flow velocity (A) and volume (B) is observed in patients with normal and ischemic findings on thallium-201 exercise myocardial scintigram.

GF velocity (volume)=blood flow velocity (volume) in the coronary artery bypass graft.

方法論的な制限のため、十分に検討されていない。今回、内胸動脈を用いたバイパスグラフト血流と心室中隔壁の局所心機能の関係について検討した結果では、安静時のバイパスグラフト血流速度や血流量は、壁運動異常の程度や壁厚変化率な

ど、局所心収縮能の指標と明らかな関係を示さなかった。これは前述の如く、心室中隔の壁運動が様々な要因によって修飾されていることや、心室中隔領域が必ずしも単独のバイパスグラフト血流だけで灌流されていないことによるものと思われる



**Fig. 9. Relationship between myocardial perfusion and responses of bypass graft flow.**

Higher percentages of increase in blood flow velocity and volume are observed in patients with normal findings on thallium-201 exercise myocardial scintigram.

%ΔChange = maximum percent changes from rest to handgrip exercise; GF velocity (volume) = blood flow velocity (volume) in the coronary artery bypass graft.

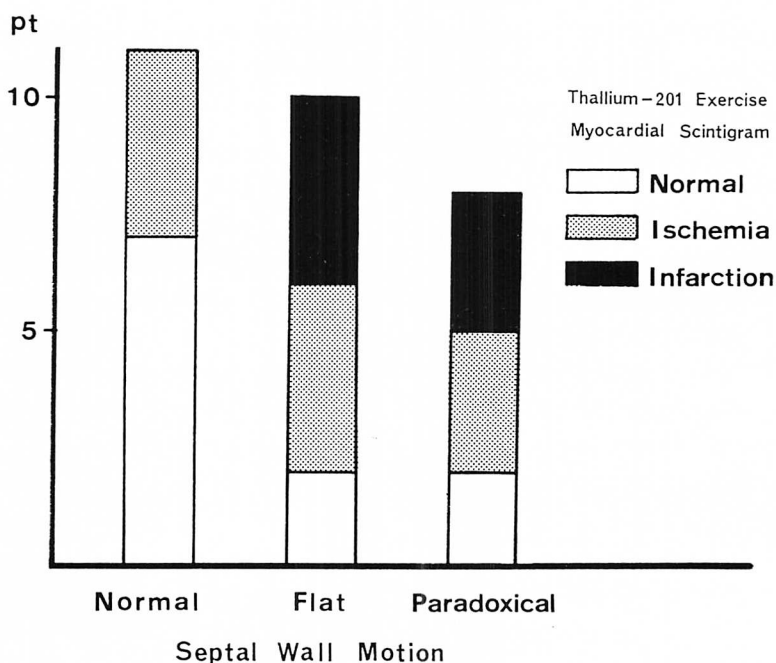
\* probability (normal versus ischemia or infarction) < 0.05 by paired t test.

る。一方、ハンドグリップ法を用いて運動を负荷した場合、バイパスグラフト血流の増加率は、心室中隔壁の収縮期最大振幅や壁厚変化率の増加と正相関を示した。この増加は负荷に対する局所の心筋の収縮性の増大を反映したものであり、バイパスグラフト血流の増加率が高いものほど、局所の心機能が良いことを示唆していると思われる。したがって、冠動脈バイパス術後症例においても、グラフト血流と局所心機能の間には密接な関係が存在するものと推測される。

#### バイパスグラフト血流と心筋障害

心筋保護の技術が進歩した最近のデータではないが、冠動脈バイパス術後はほとんどの症例において (48/58:83%) さまざまな程度の心筋傷害が存在する。Bulkley ら<sup>25)</sup>は冠動脈バイパス術後早期に死亡した 58 症例において、バイパスグラフト領域と非バイパスグラフト領域の心筋の病理

学的所見を検討している。それによると、バイパスグラフト領域の心筋の壊死は 19 例 (33%) で、非バイパスグラフト領域の心筋壊死の 3 例 (5%) よりはるかに多い。またバイパスグラフトの開存と心筋障害の有無は一致せず、バイパスグラフト開存領域でも 32% に壊死を認めている。ただし壊死のタイプは開存例と閉塞例では異なり、閉塞例が血管の完全閉塞によって起こる通常の coagulation necrosis であるのに対して、開存例は血流途絶後の再灌流、あるいは非虚血性発作によって引き起こされる独特な心筋傷害である contraction band necrosis が多いと報告している。同様に、タリウム心筋シンチグラム所見を用いた検討でも、バイパスグラフトの開存性と心筋灌流の程度とは完全には一致していない<sup>6-8)</sup>。すなわち、バイパスグラフト開存例でも安静時や運動負荷時に灌流欠損を認めることが 12% あり<sup>8)</sup>、反対にバ



**Fig. 10. Relationship between myocardial perfusion and septal wall motion.**

All patients with normal septal wall motion reveal normal or ischemic findings on thallium-201 exercise myocardial scintigram, although no significant difference between flat and paradoxical septal wall motion in myocardial perfusion is demonstrated.

Pt=number of patients.

イパスグラフト閉塞例で正常な灌流を示すことが20%ある<sup>7)</sup>。また今回、心室中隔領域でバイパスグラフト血流と心筋障害の関係について検討した結果、心筋障害の程度は安静時のバイパスグラフト血流速度、血流量と関係せず、ハンドグリップ負荷後のバイパスグラフト血流の増加率と関係していた。一般に、ハンドグリップ負荷後の冠血流量の増加は心筋の酸素消費量の増大と関係する<sup>26,27)</sup>ことから、この冠動脈バイパス術後における運動負荷後のバイパスグラフト血流の増加は、灌流領域の健全心筋の存在を意味しているものと思われる。

#### 臨床的意義

今回の結果では、安静時のバイパスグラフト血流速度は、心室中隔壁の収縮期最大振幅幅 ( $r = -0.03$ ) や壁厚変化率 ( $r = -0.06$ ) と相関せず、ま

た心室中隔壁の運動負荷タリウム心筋シンチグラム所見とも有意な関係を認めなかった。このことは超音波ドップラー心エコー図法によって前下行枝にバイパスされたバイパスグラフト血流が観察された場合、バイパスグラフトの開存性に関しては評価可能であるが、バイパス灌流領域における心筋の収縮能や灌流障害の評価に関しては、それだけでは不十分であることを意味している。すなわち、良好なバイパスグラフト血流が観察されても、必ずしもバイパス灌流領域における心機能が良いことを意味している訳ではない。しかし、ハンドグリップ負荷を行った場合、バイパスグラフト血流の変化率と心室中隔壁の収縮期最大振幅幅の変化 ( $r = 0.630$ ) や壁厚変化率の変化 ( $r = 0.724$ ) は有意な正相関を示し、また運動負荷タリウム心筋シンチグラフィ所見とも明らかな関係を認め

た。これは、バイパスグラフト血流の変化が心室中隔壁の収縮性や灌流状態の変化を反映しているとすれば、負荷後バイパスグラフト血流の増加する割合が大きい症例は、灌流領域の心筋障害が少なく、心筋収縮能が大きいことを示している。また逆に増加率の低い症例は心筋障害がより強く、心筋収縮能が低いことを示唆するものであると考えられる。

以上より、超音波ドップラー心エコー図法を用いれば、ハンドグリップ負荷時のバイパスグラフト血流の変化を鋭敏に検出することが可能であり、この方法は冠動脈バイパス術後の局所心筋障害や局所心機能を、非侵襲的に評価する上に有用であると考えられた。

## 要 約

超音波ドップラー心エコー図法を用いて運動負荷時のバイパスグラフト血流の反応性について検討し、冠動脈バイパス術後症例の局所心筋障害と局所心機能の評価を試みた。冠動脈バイパス術後、29症例にハンドグリップ負荷を施行し、負荷前後で超音波ドップラー法あるいはMモード法を用いて、左冠動脈前下行枝に吻合した内胸動脈バイパスグラフト血流と心室中隔の壁運動、壁厚変化率を測定し、運動負荷タリウム心筋シンチグラフィー所見との関係について検討した。

1. 安静時、バイパスグラフト血流速度と血流量は、心室中隔壁の振幅幅や壁厚変化率など、局所心機能の指標と相関せず、また運動負荷タリウム心筋シンチグラフィーによる心筋障害の程度とも明らかな関係を示さなかった。

2. 運動負荷後、バイパスグラフト血流速度と血流量は各々  $20.0 \pm 3.9\%$  と  $19.7 \pm 3.5\%$  増加し、また、その変化率は心室中隔壁の最大振幅幅 ( $r=0.63$ ) や壁厚変化率の変化 ( $r=0.72$ ) と有意に相関した。すなわち、局所心筋収縮の増加により、バイパスグラフト血流も有意に増加した。

3. 運動負荷タリウム心筋シンチグラフィー normal 群の負荷後バイパスグラフト血流量の増

加率 ( $31.8 \pm 6.2\%$ ) は、ischemia 群 ( $15.3 \pm 5.6\%$ ) および infarction 群 ( $15.0 \pm 11.3\%$ ) のそれよりも有意に高く、心筋障害の程度によってバイパスグラフト血流の反応性に差を認めた。

4. Normal 群の壁厚変化率の増加 ( $8.0 \pm 4.0\%$ ) は ischemia 群 ( $6.4 \pm 1.2\%$ ) や infarction 群 ( $5.6 \pm 5.8\%$ ) のそれより大きく、局所心筋収縮の増大と心筋障害の程度との間に有意な関係を認めた。

以上の結果より、ハンドグリップ負荷後のバイパスグラフト血流の増加は、灌流領域における良好な心筋収縮能を有する健常心筋の存在を示唆するものであり、超音波ドップラー心エコー図法を用いたバイパスグラフト血流の反応性の検討は、冠動脈バイパス術後の局所心筋障害や局所心機能を、非侵襲的に評価する上に有用であった。

## 文 献

- 1) Brundage BH, Lipton MJ, Herfkens RJ, Berninger WH, Redington RW, Chatterjee K, Carlsson E: Detection of patient coronary bypass grafts by computed tomography: A preliminary report. *Circulation* **61**: 826-831, 1980
- 2) McKay CR, Brundage BH, Ulliyot DJ, Turley K, Lipton MJ, Ebert PA: Evaluation of early post-operative coronary artery bypass graft patency by contrast-enhanced computed tomography. *J Am Coll Cardiol* **2**: 312-317, 1983
- 3) Dodek A, Kassebaum DG, Griswold HE: Stress electrocardiography in the evaluation of aorto-coronary bypass surgery. *Am Heart J* **86**: 292-307, 1973
- 4) Pantely GA, Kloster FE, Morris CD: Late exercise test results from a prospective randomized study of bypass surgery for stable angina. *Circulation* **68**: 413-419, 1983
- 5) Dubach P, Froelicher V, Klein J, Detrano R: Use of the exercise test to predict prognosis after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* **63**: 530-533, 1989
- 6) Kolibash AJ, Call TD, Bush CA, Tetelman MR, Lewis RP: Myocardial perfusion as an indicator of graft patency after coronary artery bypass surgery. *Circulation* **61**: 882-887, 1980
- 7) Greenberg BH, Hart R, Botvinick EH, Werner JA, Brundage BH, Shames DM, Chatterjee K,

- Parmley WW: Thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy bypass surgery. *Am J Cardiol* **42**: 167-176, 1978
- 8) Pfisterer M, Emmenegger H, Schmitt HE, Brand JM, Hasse J, Gradel E, Laver MB, Burckhardt D, Burkart F: Accuracy of serial myocardial perfusion scintigraphy with thallium-201 for prediction of graft patency early and late after coronary artery bypass surgery: A controlled prospective study. *Circulation* **66**: 1017-1024, 1982
  - 9) 松村 誠, 許 俊鋭, 高本真一, 機手祐二, 尾本良三: 冠動脈バイパス術後バイパスグラフト血流の各種負荷に対する反応様式: 超音波ドップラー法による非侵襲的評価. *J Cardiol* **19**: 9-25, 1989
  - 10) Righetti A, Crawford MH, O'rourke RA, Schelbert H, Daily PO, Ross J: Interventricular septal motion and left ventricular function after coronary bypass surgery: Evaluation with echocardiography and radionuclide angiography. *Am J Cardiol* **39**: 372-377, 1977
  - 11) Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D: Maximum oxygen intake and normographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* **85**: 546-562, 1973
  - 12) Kent KM, Borer JS, Green MV, Bacharach SL, McIntosh CL, Conkle DM, Epstein SE: Effects of coronary-artery bypass on global and regional-left ventricular function during exercise. *N Engl J Med* **298**: 1434-1439, 1978
  - 13) Rubenson DS, Tucker CR, London E, Miller DC, Stinson EB, Popp RL: Two-dimensional echocardiographic analysis of segmental left ventricular wall motion before and after coronary artery bypass surgery. *Circulation* **66**: 1025-1033, 1982
  - 14) Diebold B, Theroux P, Bourassa MG, Peronneau P, Guermonprez JL: Noninvasive assessment of aortocoronary bypass graft patency using pulsed Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* **43**: 10-16, 1979
  - 15) Gould KL, Mozersky DJ, Hokanson DE, Baker DW, Kennedy JW, Summer DS, Strandness DE Jr: A noninvasive technic for determining patency of saphenous vein coronary bypass grafts. *Circulation* **46**: 595-600, 1972
  - 16) Pisko-Dubiensky ZA, Baird RJ, Wilson DR: Non-invasive assessment of aorto-coronary saphenous vein bypass graft patency using directional Doppler. *Circulation* **51 & 52** (Suppl I): I-188-I-196, 1975
  - 17) Chatterjee K, Swan HJC, Parmley WW, Sustaita H, Marcus HS, Matloff J: Influence of direct myocardial revascularization on left ventricular asynergy and function in patients with coronary heart disease: With and without previous myocardial infarction. *Circulation* **47**: 276-286, 1973
  - 18) Mintz LJ, Ingels NB, Daughters GT, Stinson EB, Alderman EL: Sequential studies of left ventricular function and wall motion after coronary arterial bypass surgery. *Am J Cardiol* **45**: 210-216, 1980
  - 19) Meyer RA, Schwartz DC, Benzing G, Kaplan S: Ventricular septum in right ventricular volume overload. *Am J Cardiol* **30**: 349-353, 1972
  - 20) Dillon JC, Chang S, Feigenbaum H: Echocardiographic manifestations of left bundle branch block. *Circulation* **49**: 876-880, 1974
  - 21) Vignola PA, Pohost GM, Curfman GD, Myers GS: Correlation of echocardiographic and clinical findings in patients with pericardial effusion. *Am J Cardiol* **37**: 701-707, 1976
  - 22) Payvandi MN, Kerber RE: Echocardiography in congenital and acquired absence of the pericardium. *Circulation* **53**: 86-92, 1976
  - 23) Fennel WH, Chua KG, Cohne L, Morgan J, Karunaratne HB, Resnekov L, Al-Sadir J, Lin CY, Lamberti JJ, Anagnostopoulos CE: Detection, prediction, and significance of perioperative myocardial infarction following aorta-coronary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* **78**: 244-253, 1979
  - 24) Forrester JS, Wyatt HL, Daluz PL, Tyberg JV, Diamond GA, Swan HJC: Functional significance of regional ischemic contraction abnormalities. *Circulation* **54**: 64-70, 1976
  - 25) Bulkley BH, Hutchins GM: Myocardial consequences of coronary artery bypass graft surgery: The paradox of necrosis in area of revascularization. *Circulation* **56**: 906-913, 1977
  - 26) 香取 瞭, 宮沢光瑞, 池田成昭, 白土邦男, 村口至, 林 健郎: Isometric handgrip exercise による心疾患患者の冠血流量および筋代謝. *心臓* **8**: 685-692, 1976
  - 27) Kivowitz C, Parmley WW, Donoso R, Marcus H, Ganz W, Swan HJC: Effects of isometric exercise on cardiac performance. *Circulation* **44**: 994-1002, 1971