

# 冠動脈バイパス術における近位側遮断試験による術中グラフト評価

宮内 忠雅, 島袋 勝也, 今泉 松久, 福本 行臣, 竹村 博文

【背景】冠動脈バイパスグラフト吻合を評価するための簡易な指標として、近位側遮断試験が有用であるかを検討した。【方法】OPCABでITA-LADバイパスを行った23例に対してトランジットタイム血流量計による吻合部近位側の遮断試験を行った。またパルスドップラー血流速度計にて吻合部近位側冠動脈の血流方向を測定し、グラフト遮断による変化を測定した。【結果】グラフト平均流量は $32.9 \pm 14.6$  mL/min, 平均PIは $2.5 \pm 1.1$ , 平均DFは $74.8 \pm 6.9\%$ であった。近位側遮断により平均流量は、75%狭窄例は $28.3 \pm 4.7$ から $39 \pm 12.1$  mL/minと増加し、90%以上の狭窄例は $33.6 \pm 15.5$ から $28.3 \pm 13.9$  mL/minと有意に減少した。また90%以上狭窄例の吻合部近位側冠動脈の血流は逆行性またはto-and-froに流れており、ITA遮断により順向性に変化した。術後冠動脈造影でグラフトは全例開存していた。【結語】本法は吻合の質とグラフトの血流供給能力を評価するための簡易な指標の一つとして有用である可能性があると考えられた。

KEY WORDS: coronary artery bypass surgery, graft flow, transit-time flow meter, graft evaluation

Miyauchi T, Shimabukuro K, Imaizumi M, Fukumoto Y, Takemura H: **Intraoperative evaluation of bypass graft by proximal occlusion test in off-pump coronary artery bypass surgery.** J Jpn Coron Assoc 2007; 13: 195-200

## I. 背景

今日、冠動脈バイパス術は人工心肺使用、心停止下のバイパスから、低侵襲を目指して人工心肺非使用のoff-pump CABG(OPCAB)に移行しつつある<sup>1)</sup>。冠動脈バイパス術において、グラフト吻合には精密、正確な手術操作が必要であり、そのためとくにOPCABでは術中の吻合の質の評価は非常に重要である。吻合部の質を評価するための検査法は種々報告されており、そのなかでトランジットタイム血流量計(TTFM)による術中グラフト血流評価は簡便で再現性が高いことが報告されている<sup>2)</sup>。

しかしグラフト流量が少ない場合、吻合に問題があるのか否かを判断し、必要であれば吻合のやり直しをしなければならない。しかしその原因が冠動脈との血流競合により少ないためなのか、吻合に問題があるためなのかの判断に悩む場合がある。

今回われわれは冠動脈前下行枝(LAD)へのバイパスグラフト吻合終了後に、冠動脈中樞側の一時遮断試験(proximal coronary snare test: PCST)によりグラフト流量の変化を測定した。さらに内胸動脈(ITA)の一時遮断による吻合部中樞側の冠動脈の血流方向の変化を測定し興味深い所見をみたので報告する。

## II. 対象

対象は当科でOPCABを施行され、ITA-LADバイパスを受けた連続23例である。血流量変化への影響を除外するため、ITAからsequential吻合やY-composite graftを作成した症例は検討から除外した。

男性19例、女性4例、平均年齢 $72 \pm 7$ 歳であった。平均病変枝数2.2、平均バイパス数は2.5吻合であった。LAD狭窄率は75%3例、90%15例、99%3例、100%2例であった。糖尿病合併症例は7例あった。

## III. 方法

バイパス吻合時の中樞側遮断は、ポリウレタン縫合糸(エラスチック 22 mm 鈍針 7/16: 松田医科工業)にて冠動脈を2重に回し、内膜損傷を起ささないように細心の注意を払って行った。LAD遮断は、吻合部より約5 mm中樞側で行った。スタビライザー(ハートエクスポージャー Guidant ACROBAT Vacuum Stabilizer: バイタル, オクトパス4 ティッシュースタビライザー: 日本メドトロニック)で心表面を固定し、8-0 ポリプロピレン糸の連続縫合でITA-LAD吻合を行った。吻合後、トランジットタイム血流量計(BF2000 Medi-Stim AS, Oslo Norway: 日本ビー・エックス・アイ)(TTFM)でグラフト流量を測定した。血流量測定プローブは、QuickFitフロープローブ(日本ビー・エックス・アイ)を使用した。流量測定時はスタビライザーを解除し、心を正常な位置に戻して行った。血圧、心拍数は適正に保った状態でいき、IABP下に測定した症例はなかった。ITA流量の測定部位は、吻合部より

岐阜大学大学院医学系研究科高度先進外科学(〒501-1194 岐阜市柳戸1-1)(本論文の要旨は第19回日本冠疾患学会学術集会, 2005年12月・大阪で発表した)  
(2006.5.22 受付, 2007.3.14 受理)

約 3 cm 中極側で行った。またエコーゼリーはアクアソニック 100 超音波検査用ゲル(センチュリーメディカル)を使用した。

測定項目は平均血流量(ml/min)のほか、流量波形より拡張期充満率(DF), 拍動指数(PI)を下記の公式により計算した<sup>3)</sup>。

$$DF(\%) = \frac{\int | \text{total diastolic flow} |}{\int | \text{total diastolic flow} | + \int | \text{total systolic flow} |}$$

$$PI = \frac{\text{maximum flow} - \text{minimum flow}}{\text{mean flow volume}}$$

通常のバイパス血流量測定後に続けて冠動脈吻合部中極側の一時遮断試験(PCST)を行った。PCSTは、吻合時と同様にポリウレタン縫合糸を用いてターニケットを行い、その際のグラフト血流量の変化を測定した(図 1a)。

また本研究の最後の 3 症例(90~99%狭窄症例)に対して、パルスドップラー血流速度プローブ(X-plore プローブ: 日本ビー・エクス・アイ)を用いて、吻合部中極側の冠動脈の血流方向を測定した。さらに ITA グラフト

を一時遮断し、その血流方向の変化を測定した(図 1b)。

術後の冠動脈造影(CAG)は、2~3 週後に行った。術前後の冠動脈造影と狭窄度の評価は当院循環器内科医により行われた。

統計学的評価は Stat View (SAS Institute, NC USA)を用いて paired t-test, student t-test にて行い、危険率 5%未満をもって有意差ありとした。

#### IV. 結 果

PCST 前の通常の計測による全症例のグラフト平均流量は 32.9±14.6 ml/min, 平均 PI は 2.5±1.1, 平均 DF は 74.8±6.9%であった。冠動脈の狭窄度別に平均流量をみると、それぞれ 75%狭窄例平均 28.3±4.7 ml/min, 90%狭窄例平均 34.0±16.6 ml/min, 99%狭窄例平均 30.1±17.8 ml/min, 100%例平均 34.5±6.4 ml/min であった。統計学的有意差はないものの、75%狭窄例のグラフト流量は他に比して少ない傾向にあった。

PCST 前後の代表例 2 例を示す(図 2)。遮断試験によりグラフト平均流量が増加する症例と減少する症例に分かれた。また収縮期にみられる逆行性の血流が、PCST により順向性に変化した。

PCST により、グラフト平均流量は 30.0±13.9 ml/min, 平均 PI は 2.4±0.9, 平均 DF は 72.3±5.6%に変化した。PI や DF の変化は小さくまた様々で一定の傾向はなかったが、グラフト平均流量の変化を冠動脈狭窄率別に検討すると、75%狭窄例は 39.0±12.1 ml/min と増加し、90%以上の狭窄例は 28.3±13.9 ml/min と有意に減少した(図 3)。しかし 90%狭窄例のうち 4 例は増加していた。90%狭窄例のうち PCST により流量が増加した症例の CAG を検討すると、減少した例に比べて狭窄の度合いが若干軽度である傾向に

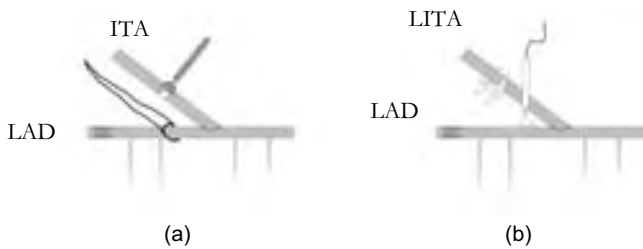


図 1 方法(1): 吻合部近位側の冠動脈を一時遮断し、トランジットタイム血流量計でグラフト流量の変化を評価する  
方法(2): パルスドップラー血流計を用いて吻合部中極側における血流方向を LITA 遮断前後で計測し比較した(3 例)

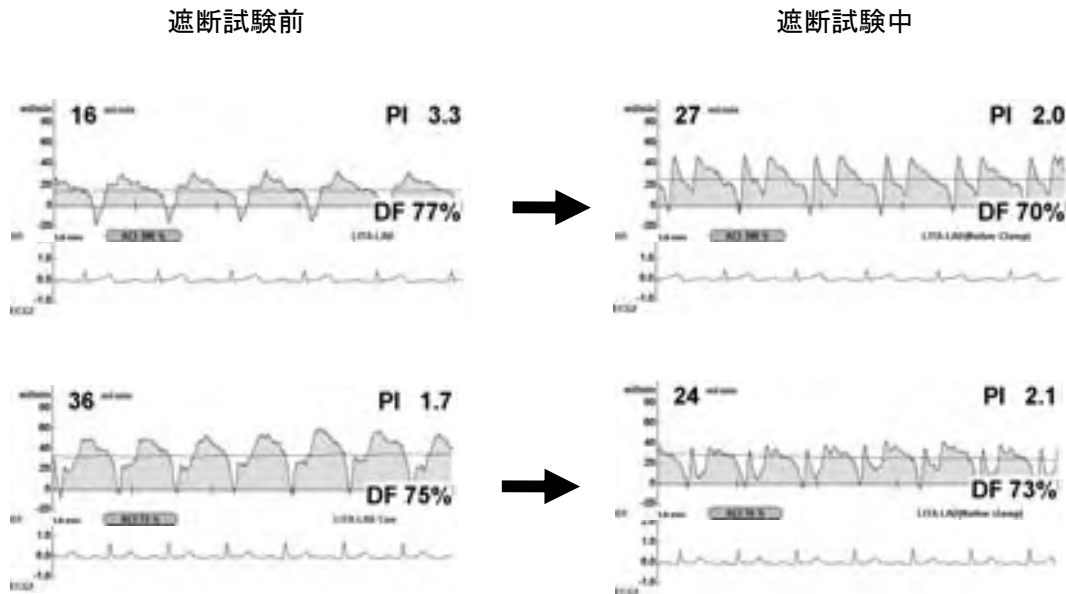


図 2 遮断試験前と遮断試験中における血流波形の変化(2 例)

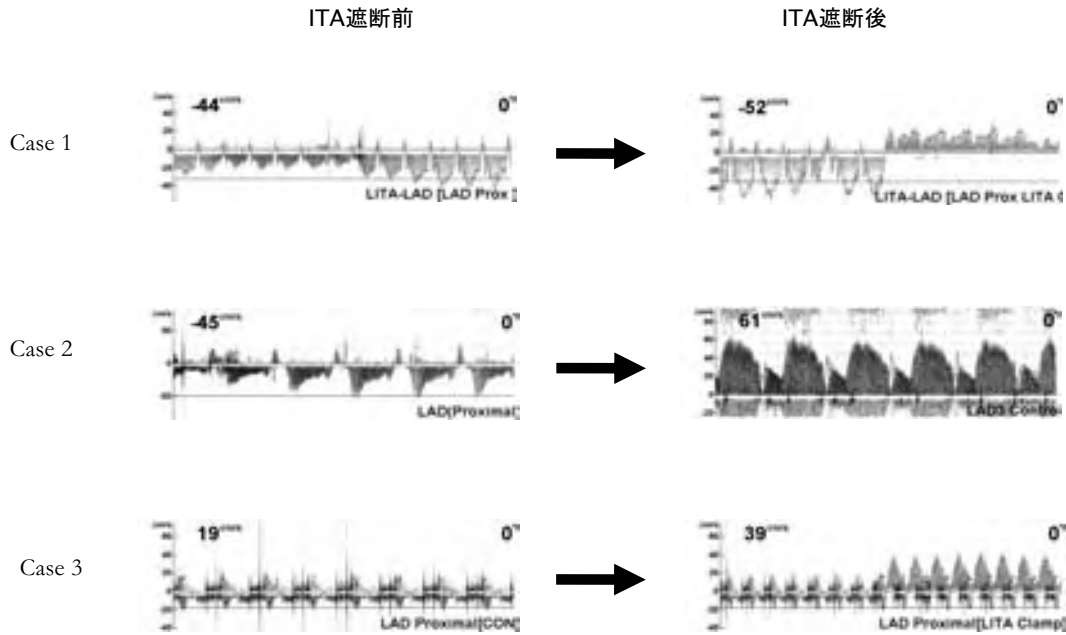


図4 パルスドプラ血流速度計による吻合部近位側の冠動脈血流速の変化

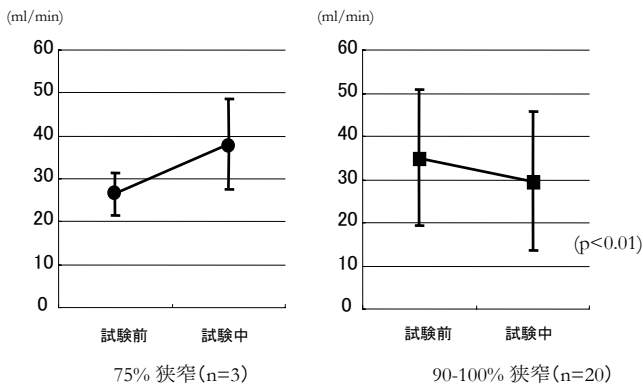


図3 遮断試験によるグラフト平均血流量の変化

あった。

吻合部中枢側冠動脈の血流速を測定した症例は、ITA遮断前は Case 1, 2は逆行性の血流を認めた。また Case 2は to-and-froの血液を認めた。ITAを遮断すると Case 1は直ちに順向性の血流成分のみとなった。また Case 2, 3はやや逆行性の流量成分を伴った順向性優位の血流となった(図4)。

術後冠動脈造影ではグラフトは全例開存しており、吻合部狭窄も認めなかった。

## V. 考 察

近年、低侵襲を目指して人工心肺非使用の心拍動下の冠動脈バイパス手術が増加している<sup>1)</sup>。しかしながら OPCABでは冠動脈の吻合は拍動下に行うため、有効なスタビライザーを用いているとはいえ、高度な吻合技術が必要である。OPCABのグラフト開存率は心停止下バイパス

術と遜色のないものとなってきている一方で<sup>4)</sup>、グラフト閉塞、再PCIの頻度が OPCAB症例が高かったという報告もある<sup>5)</sup>。そのため術中の吻合部の評価は非常に重要である。

吻合部の質を評価するための検査法は種々報告されており、そのなかでトランジットタイム血流量計(TTFM)による術中グラフト血流評価は簡便で再現性が高いことが報告されている<sup>2)</sup>。しかしTTFMのグラフト平均血流量のみでの評価は困難で、Hirofani<sup>6)</sup>ら、Per Kristian<sup>7)</sup>らは、バイパス流量とCAGを比較して、流量はバイパスの吻合部狭窄を検出できなかったと報告している。そしてD'Ancona<sup>8)</sup>らは flow meterは流量だけでなく、波形、PIやDFなどの結果を総合的に評価する必要があることを強調している。しかしPI、DFにも絶対的な正常値があるわけではなく、経験上PIは5以下、DFは60%以上が理想とされている。また、波形も一般的には拡張期優位であるが、右冠動脈と左冠動脈ではパターンが違っていることが知られている。Jaber<sup>9)</sup>らは、19人の心臓血管外科医に流量波形のパターンを解析させ、吻合部狭窄の有無を評価できるかテストしている。その結果、90%以上の狭窄率であれば全員が評価できるが、それ以下の狭窄度では70%以上の外科医が正常な吻合と評価したと報告している。そのため結局は術者の経験的な総合判断にゆだねられているのが現状である。グラフト流量が少ない場合、そういった状況で術者は吻合に問題があるのか否かを判断し、必要であれば吻合のやり直しをしなければならない。本研究でのPCSTはPIやDFといった従来のパラメーターに追加して、術中のより客観的な吻合部評価の一助となり得る可能性があると考えている。



グラフト血流を評価する場合、冠動脈にもその多少にかかわらず血流は存在していることを考えなくてはならない。そのためバイパスを吻合した場合、バイパスされた冠動脈には程度の差こそあるものの native とグラフトの両方からの血流競合が生じることとなる。一般的に、冠動脈の狭窄率が低いほど native からの血液供給量が多いため、相対的にグラフト血流は少なめとなることは予想できるが、それがどの程度まで許容できるのか判断することは困難である。グラフト血流量が少ない場合、それは冠動脈との血流競合により少ないのか、吻合に問題があるのかの判断を確実に行う必要があるが、まずはその冠動脈支配領域の血液要求量を考える必要がある。Uchida らによると、冠血流を決定する因子として、狭窄の程度、狭窄の位置、血管床の大きさを挙げている<sup>10</sup>。さらに心係数、血圧、末梢血管抵抗、生存心筋量、分枝、側副血行路、ヘマトクリット値などといったパラメーターも考えられる。そのためそこに吻合するグラフトの血流量を決定する因子は、非常に複雑で多因子であると考えられる。またグラフト血流量は吻合位置が中枢寄りか末梢寄りかでも変化するはずであるから、吻合位置より末梢側の冠動脈パラメーターと中枢側の冠動脈パラメーターをそれぞれ分けて考える必要がある。したがって本研究は、PCST は冠動脈中枢からの、または中枢方向への血流を遮断することにより、冠動脈中枢側のパラメーターを減らし、グラフト血流に対する吻合の影響をより際立たせる方法であると考えている。

Fukuda らは狭窄の程度が高度でなかった症例に ITA-LAD バイパスを行ったところ、術後造影にて ITA の血流は観察されなかったが 3 年後 LAD の狭窄の進行とともに、ITA の血流が観察されたことを報告している<sup>11</sup>。このように native の狭窄が進行または閉塞した場合、その血流低下を補うようにバイパスからの流量が増加するはずであるし、それを期待してわれわれはバイパスしている。しかし万一吻合に問題があれば、native の狭窄が進行してもバイパスからの流量が増加することができず、虚血症状が出現することとなる。本研究は、将来起こるかもしれない冠動脈狭窄の進行を人工的に作成してグラフトに 100% 血流を依存する状態をつくり、吻合を含めたグラフトの血液供給キャパシティを評価できる方法でもあったと考えている。

吻合の質を評価する手法として TTFM のほかに、術中造影<sup>12</sup>、インドシアニングリーンを用いた造影 (SPY)<sup>13</sup>、熱冠動脈造影<sup>14</sup>、エコーによる吻合部形態評価<sup>15</sup>などが挙げられる。それぞれ有用であることが報告されているが、これら測定機器は安価なものではなく、一般的な施設での手術室へ新規導入するにはコストなどの面から困難な部分もある。それに対して、血流計も高価ではあるがたいの施設がすでに所有しており、バイパス手術時に使用している。また血流測定は定量的評価を行うことができる

唯一の方法で、吻合操作の一連の流れの延長で行うことができ、循環動態へ負荷をかけることもなくリアルタイムに測定が可能である。また PCST により違った側面からの評価が可能となり、吻合評価の精度の向上に役立つと考えられる。

PCST によりグラフトの血流が減少または増加する理由として、以下のように考えている。冠動脈の狭窄度が軽度の場合、もともと native から吻合部を通って末梢に行く血流も多いため、その部分にバイパスを吻合してもバイパスを通る血流は少ない。しかし吻合部中枢側を遮断すると native 優位に流れていた血流が遮断されるため、それを補うようにグラフトの血流は増加することになる。一方、狭窄が高度の場合、native からの血流はもともと少ない状態である。そのためバイパスを吻合すると、血液は吻合部を通して冠動脈末梢側へ順向性に流れるだけでなく中枢側にも逆行性に血流が流れる。この状態で吻合部中枢側を遮断すると、冠動脈中枢側に向かって逆行性に流れていた血流の部分が遮断されることになる。結果的にその部分の灌流領域が減り血管床が減少することになるためグラフトの血流は減少することになる (図 5)。

D'Ancona<sup>16</sup> らはグラフト吻合部の質を判断するための一助として、PCST は PI, DF に並んで TTFM の信頼性を高める目的で行っている。正常な吻合では PCST により血流パターンは変化しないが流量は増加し、また末梢側吻合に問題がある場合流量は減ると報告している。一方、われわれの結果では吻合が正常であっても PCST により流量が増加する症例と減少する症例があり、その変化は native の狭窄度に依存していた。また、彼らは PCTS の位置づけを native からの血流を遮断することにより、冠動脈末梢血流におけるグラフト血流との血流競合をなくすこととしている。しかしながらわれわれの研究では症例によって実際には吻合部の中枢側方向に流れる逆行性の血流競合の存在も観察されたため、D'Ancona らの報告だけでは PCST の変化の理由は説明できないと考え、前述のような仮説を考えた。

その仮説を裏付けるため、3 例ではあるが吻合部中枢側の冠動脈の血流速度とその方向を測定した。この部分には、症例により to-and-fro や逆行性の血流を認めた。これ

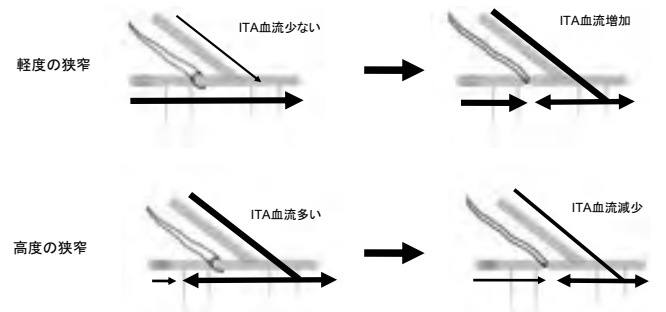


図 5 近位側遮断試験によるグラフト平均血流量の変化の仮説

はグラフトの血流が吻合部を通して冠動脈を逆行性に流れていることを示している。とくに to-and-fro となっているのは、その場所で冠動脈血流とグラフト血流が競合していることを意味していると考えられる。今回はプローブの導入の遅れにより最後の3例で全例90%以上の狭窄症例のみの評価ではあったが、もし軽度の狭窄症例を測定したら、おそらく順行性の血流のみとなっていると予測している。今後は全症例を計測し、検討を行う必要があると考えている。

また90%狭窄例のうち、何例かはPCSTにより血流量が増加し、75%狭窄例と類似した変化を示した。これらの症例は、PCSTにより血流量が減少した90%狭窄例と比較し、CAGにて冠動脈の狭窄の程度がやや軽い印象があった。AHA分類では0から100%の7段階にて評価しているため、症例によっては狭窄の程度をやや高めに読影する可能性がある。したがってこれらの症例は読影上は90%であるが、血行動態的には75%狭窄例に近いのではないかと推測された。これについても今後もう少し客観的な評価を行う必要があるが、流量変化の観点から狭窄の重症度を評価ができる可能性もあると考えている。

今回、狭窄度が軽度でグラフト流量が少ない症例でもPCSTにより増加すれば吻合に問題がないと判断できると考えられた。しかし最終的にはどの程度の狭窄でPCSTによる血流変化の違いが出てくるのか、またどの程度の変化があれば良いのかが具体的にわからなければ客観的評価とならないため、今後さらに検討が必要である。また本研究ではグラフト血流量とPCSTによる血流変化を冠動脈の最も高度な狭窄度で分類したが、病変の位置や範囲、程度(単発、多発、びまん性など)、病変部位と吻合部位の距離関係その他の多くのパラメーターについては検討できなかった。今後、PCSTによりどの症例で血流が増加しどの症例で減少するべきなのかをあらかじめ知るためには、もっとデータを蓄積し検討する必要がある。とくにグラフト流量が少ない場合、その原因が吻合の失敗ではなくて血流競合であるという確信を術中に得ることがこの試験の最大の目的ではあるが、今回は吻合に問題のある症例はなかったためその場合の変化は不明であった。ただこの試験の意義として、中枢側からの血流を遮断することにより、末梢の冠血流は完全にグラフト依存の状態となる。そういう条件下で流量を測定することはグラフト自身の血流供給能力や吻合部の質についての判断の一助となり、グラフト開存率の向上にもつながると考えている。今後は、PCSTによるグラフト流量変化の原理についてどんな要素がどの程度関わっているのか、またどのような変化がどの程度あればよいのかも、臨床的および実験的な裏付けが必要であると考える。

## VI. まとめ

冠動脈軽度狭窄症例ではPCSTにより、吻合に問題がな

ければグラフト血流は増加すると考えられた。

反対に高度狭窄症例では、PCSTにより吻合部中枢側に向かう逆行性の冠血流が減るため、グラフト血流は減少したと考えられた。

高度狭窄症例では、吻合部より中枢側の冠動脈には逆行性の血流を認め、グラフトの遮断により元の順向性の血流に変化した。

今後は、どの程度の冠動脈狭窄でPCSTによる変化の違いが出るのか、またPCSTでどの程度の変化があれば吻合が良いと評価できるのかについて、さらに検討が必要と考えている。

## VII. 結 語

本法は吻合の質とグラフトの血流供給能力を評価するための簡易な指標の一つとして、TTFMを用いた近位側遮断試験による流量変化の測定が有用である可能性があると考えられた。

## 文 献

- 1) 小林順二郎: OPCAB(Off-Pump Coronary Artery Bypass)の現状(<特集>虚血性心疾患治療の新展開). 日外会誌 2006; **107**: 9-14
- 2) Walpoth BH, Bosshard A, Genyk I, Kipfer B, Berdat PA, Hess OM, Althaus U, Carrel TP: Transit-time flow measurement for detection of early graft failure during myocardial revascularization. *Ann Thorac Surg* 1998; **66**: 1097-1100
- 3) Di Giammarco G: Formal flow in coronary surgery. in *Intraoperative Graft Patency Verification in Cardiac and Vascular Surgery*, ed by D'Ancona G, Karamanoukian HL, Ricci M, Salerno TA, Bergsland J, Futura Publishing Co. Armonk, New York, 2001, 121-142
- 4) Imamaki M, Ishida A, Shimura H, Kohno H, Ishida K, Niitsuma Y, Miyazaki M: Early results of off-pump coronary artery bypass. retrospective consecutive comparative study. *Jpn J Thoracic Cardiovasc Surg* 2005; **53**: 244-250
- 5) Arom KV, Flavin TF, Emery RW, Kshetry VR, Janey PA, Petersen RJ: Safety and efficacy of off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2000; **69**: 704-710
- 6) Hirofumi T, Kameda T, Shiota S, Nakao Y: An evaluation of the intraoperative transit time measurements of coronary bypass flow. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001; **19**: 848-852
- 7) Hol PK, Fosse E, Mork BE, Lundblad R, Rein KA, Lingaas PS, Geiran O, Svennevig JL, Tonnessen TI, Nitter-Hauge S, Due-Tonnessen P, Vatne K, Smith HJ: Graft control by transit time flow measurement and intraoperative angiography in coronary artery bypass surgery. *Heart Surg Forum* 2001; **4**: 254-257
- 8) D'Ancona G, Karamanoukian HL, Ricci M, Schmid S, Bergsland J, Salerno TA: Graft revision after transit time flow measurement in off-pump coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; **17**: 287-293

- 9) Jaber SF, Koenig SC, BhaskerRao B, VanHimbergen DJ, Spence PA: Can visual assessment of flow waveform morphology detect anastomotic error in off-pump coronary artery bypass grafting? *Eur J Cardiothoracic Surg* 1998; **14**: 476–479
- 10) Uchida N, Kawaue Y: Flow competition of the right gastroepiploic artery graft in coronary revascularization. *Ann Thorac Surg* 1996; **62**: 1342–1346
- 11) Fukuda I, Takeyasu N, Noguchi Y: Spontaneous recanalization of functionally occluded bilateral internal thoracic artery T graft. *J Cardiovascular Surg* 2003; **44**: 209–211
- 12) Watanabe Y, Koyama S, Shiono N, Kawasaki M, Yokomuro H, Ozawa T, Fujii T, Sakuragawa H, Hamada S, Masuhara T, Yoshihara K, Nagano T, Ishiguro S, Yabe Y: The usefulness of intra-operative angiography during off-pump CABG. *Kyoubugeka* 2001; **54**: 332–336
- 13) Reuthebuch O, Haussler A, Genoni M, Tavakoli R, Odavic D, Kadner A, Turina M: Novadaq SPY: Intraoperative quality assessment in off-pump coronary artery bypass grafting. *Chest* 2004; **125**: 418–424
- 14) 今西 薫, 藤正 巖, 中沢秀夫, 井街 宏: 熱冠動脈造影法による AC バイパス手術における手術効果の無侵襲 real time 評価. *脈管学* 2004; **44**: 75–79
- 15) 山田宣幸, 金川裕子, 松尾美樹, 川原郁代, 野口幸彦, 大杉まり子, 酒井裕紀: 冠動脈バイパス術中におけるバイパス血流測定の見直し—Intraoperative transducer を使用して. *医学検査* 2004; **53**: 1227–1231
- 16) D’Ancona G, Karamanoukian HL, Ricci M, Bergsland J, Salerno TA: Graft patency verification in coronary artery bypass grafting: principles and clinical applications of transit time flow measurement. *Angiology* 2000; **51**: 725–731