

## 冠動脈バイパス術中における ITA, RGEA グraft 断端圧の比較検討

三坂 昌温, 飯田 泰功, 内村 智生, 伊藤 茂樹  
清水 剛, 石丸 新

冠動脈バイパス術 (CABG) において in situ 動脈グラフトとしての右胃大網動脈 (RGEA) は, 内胸動脈 (ITA) に比べ開存率が劣るとの報告がある。今回, ITA と RGEA の断端圧を同時測定し, RGEA のグラフトとしての血液供給能について検討した。2001 年 11 月より 2004 年 3 月の間に ITA と RGEA を in situ 動脈グラフトとして使用した CABG 37 例 (off-pump CABG: 29 例, 平均年齢  $66.0 \pm 9.3$  歳, 平均バイパス本数:  $3.5 \pm 0.9$  本) を対象とした。ITA, RGEA および体血圧 (橈骨動脈圧) を術中に同時測定した。平均断端圧は ITA の方が RGEA より  $4.3 \pm 7$  mmHg 高く, 各グラフトの断端圧および断端圧/体血圧比の比較では, RGEA 断端圧が ITA に比し有意 ( $p=0.05$ ) に低値を示した。このことが, RGEA が flow competition を引き起こしやすい要因のひとつと考えられる。

KEY WORDS: off-pump CABG, in situ arterial graft, stump pressure

Misaka M, Iida Y, Uchimura N, Ito S, Shimizu T, Ishimaru S: **Measurement of stump pressure of ITA and GEA grafts during off-pump coronary artery bypass.** J Jpn Coron Assoc 2006; 12: 29-32

## I. 目 的

現在, 冠動脈バイパス術 (CABG) において内胸動脈 (ITA) と右胃大網動脈 (RGEA) が in situ 動脈グラフトとして使用されているが, RGEA は個体差が大きく, 症例によってはグラフトとして適さない症例も少なくない。また, グraft の術後開存率, native coronary の狭窄率の影響から, RGEA が ITA に比し血液供給能が劣るとの報告もある<sup>1-15)</sup>。今回, ITA と RGEA の断端圧を術中に測定し, RGEA のグラフトとしての血液供給能について ITA グraft と比較検討した。

## II. 対象と患者背景

2001 年 1 月より 2004 年 8 月の間に当院にて CABG を 221 例に施行した。ITA, RGEA を in situ 動脈グラフトとして使用した CABG は 92 例あり, そのうち術中断端圧同時測定が可能であった 37 例を対象とした。平均年齢  $66 \pm 9$  歳, 男/女: 32 例/5 例, standard CABG/off-pump CABG: 8 例/29 例であった。術前併存症は, 高血圧 22 例, 高脂血症 16 例, 2 型糖尿病 13 例, 閉塞性動脈硬化症 3 例, 脳血管障害 2 例であった (表 1)。

## III. 方 法

胸骨正中切開にて開胸し, ITA をハーモニックにて full-

skeltonize 法で, RGEA は pedicle 法で剥離し, いずれも in situ 動脈グラフトとして採取した。ヘパリンの全身投与 (50 u/kg) 後, ITA と RGEA の各グラフト末梢側断端より ITA 注入用 21G 金属カニューレ針を挿入し, PDE (phosphodiesterase) III 阻害薬 (ミルリノンあるいは塩酸オルプリノン) を注入後, 塩酸パバペリンのグラフトへの散布を行った。十分な拍動が触知される状態で, ITA と RGEA の同時圧を記録した。同時に, 術中動脈ラインとして使用している橈骨動脈圧を記録し, 体血圧とした (図 1)。断端圧較差平均は, ITA-RGEA 断端圧差の平均値とした。また, ITA, RGEA グraft 径を  $\sim 2.0$  mm (S), 2.0 mm  $\sim$  3.0 mm (M), 3.0 mm  $\sim$  (L) と 3 群に分け, ITA, GEA 断端圧/体血圧比を比較した。

## IV. 統計解析

数値は平均  $\pm$  標準偏差 (SD) により表し, 2 群間の比較には Paired-T-test を, 3 群間の比較には Kruskal-Wallis test を用いて,  $p < 0.05$  を統計学的有意差ありとした。

## V. 結 果

RGEA の distal 吻合は各々, 4PD (posterior descending artery): 25 例, 4AV (atrio-ventricular artery): 7 例, RCA (right coronary artery) #3: 3 例, PL (posterolateral artery): 2 例, sequential PL-HL (highlateral artery): 1 例, PD-AV: 1 例であった。術後 1 カ月目に冠動脈造影を 33 例に施行し, うち 32 例ではグラフトが開存していたが, 1 例で RGEA グraft の閉塞を認めた。そのグラフト断端圧は, ITA 86 mmHg, RGEA 76 mmHg であった。術後造

東京医科大学外科学第二講座 (〒 160-0023 東京都新宿区西新宿 6-7-1) (本論文の要旨は第 18 回日本冠疾患学会学術集会, 2004 年 12 月・熊本で発表した)  
(2005.7.4 受付, 2005.11.10 受理)

表1 患者背景

期 間	2001年1月~2004年8月
ITA・GEA使用症例/CABG症例	92例/221例
同時圧測定した症例数	37例
平均年齢	66.0±9.3歳
男：女	32例：5例
平均バイパス本数	3.5±0.9本
Off pump CABG	29例
Standard CABG	8例
高血圧	22例
高脂血症	16例
2型糖尿病	13例
閉塞性動脈硬化症	3例
脳血管障害	2例

ITA: internal thoracic artery, GEA: gastroepiploic artery graft, CABG: coronary artery bypass graft

影施行した33例についてのグラフト開存率は、ITA 100%、RGEA 97%であった。断端圧の比較では、収縮期圧はITA 85±15 mmHg, RGEA 80±13 mmHg, 拡張期圧はITA 57±10 mmHg, RGEA 53±10 mmHg, 平均圧はITA 69±11 mmHg, RGEA 65±11 mmHgと、収縮期圧, 拡張期圧, 平均圧のすべてにおいて有意差 (p<0.05) を認めた。グラフト断端圧/体血圧比の比較においてもまた、収縮期圧比はITA 0.80±0.09, RGEA 0.75±0.09, 拡張期圧比はITA 0.97±0.16, RGEA 0.91±0.12, 平均圧比はITA 0.93±0.10, RGEA 0.87±0.08とすべてにおいての有意差 (p<0.001) を認め、RGEAの断端圧が有意に低値であった(表2)。断端圧較差平均は4.3±7 mmHgであった。断端圧較差5 mmHg以下を同等圧とみなしたところ、ITA>RGEA 21例, ITA=RGEA 16例であった。RGEA断端圧はITAに比し低値を示したがその差は少なく、RGEA断端圧/体血圧比がより高い場合に有意差を認めた。高血圧, 糖尿病, 高脂血症, 喫煙などの冠危険因子となる併存症によるグラフト断端圧/体血圧比には有意差を認めなかった(表3)。RGEAグラフト径別 pressure index は、収縮期圧はS群で0.79±0.09, M群で0.75±0.08, L群で0.73±0.08, 拡張期圧S 0.92±0.02, M 0.91±0.13, L 0.92±0.08, 平均圧は各群で0.84±0.13, 0.87±0.09, 0.85±0.07であり、すべてにおいて有意差を認めなかった(表4)。

表3 Pressure index による冠危険因子の比較

	ITA			RGEA		
	(+)	(-)	p value	(+)	(-)	p value
HT	0.97±0.17	0.98±0.11	ns	0.97±0.17	0.98±0.11	ns
DM	0.97±0.10	0.97±0.19	ns	0.97±0.10	0.97±0.19	ns
HL	0.97±0.02	0.96±0.17	ns	0.97±0.15	0.96±0.17	ns
Smoking	0.97±0.16	0.98±0.15	ns	0.97±0.16	0.98±0.15	ns

pressure index=graft pressure (mmHg)/systemic pressure (mmHg)

unit: mmHg, mean±SD

ITA: internal thoracic artery, RGEA: right gastroepiploic artery graft, HT: hypertension, DM: diabetes mellitus, HL: hyperlipidemia, ns: no significance

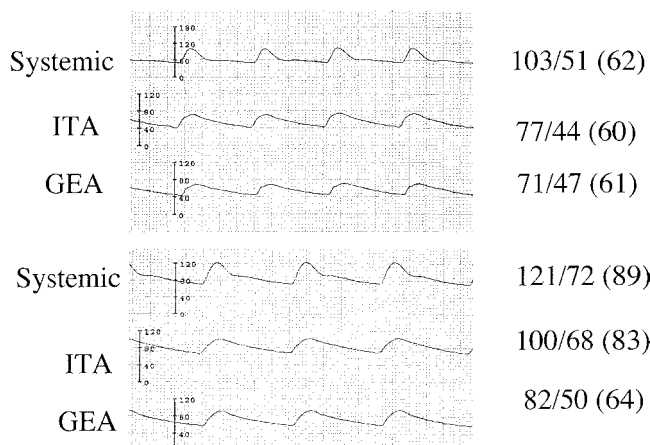


図1 Internal thoracic artery (ITA) と gastroepiploic artery graft (GEA) の圧波形

表2 Pressure index の比較

	ITA	RGEA	p value
収縮期	0.80±0.09	0.75±0.09	p<0.001
拡張期	0.97±0.16	0.91±0.12	p<0.001
平均	0.93±0.10	0.87±0.08	p<0.001

pressure index=graft pressure (mmHg)/systemic pressure (mmHg)

unit: mmHg, mean±SD

ITA: internal thoracic artery, RGEA: right gastroepiploic artery graft

## VI. 考 察

ITA と RGEA は in situ 動脈グラフトとして使用されているが、その長期開存性は大伏在静脈に比べ勝るといわれている一方、血液供給能は劣るとの報告がある<sup>1-6)</sup>。また、in situ 動脈グラフトは、標的冠動脈の狭窄度の程度によっては血流競合によるグラフト機能不全が起こると報告されている<sup>16, 17)</sup>。

RGEA は ITA に次ぐ第二の in situ 動脈グラフトとしての役割は大きいですが、その性状は個体差があり、グラフトとして適さない場合も少なくない。今回、われわれは RGEA の断端圧を術中に測定し、その臨床的意義を検討したが、RGEA の開存率への影響やバイパスグラフトとしての適応

表4 Pressure index によるグラフト径の比較

	ITA				RGEA			
	~2.0 mm (S)	2~3 mm (M)	3.0 mm~ (L)	p value	~2.0 mm (S)	2~3 mm (M)	3.0 mm~ (L)	p value
収縮期	0.99±0.02	0.97±0.18	0.99 ± 0.06	ns	0.79±0.09	0.75±0.08	0.73±0.08	ns
拡張期	0.84±0.05	0.79±0.10	0.80 ± 0.10	ns	0.92±0.02	0.91±0.13	0.92±0.08	ns
平均	0.91±0.10	0.92±0.02	0.92 ± 0.02	ns	0.84±0.13	0.87±0.09	0.85±0.07	ns

pressure index=graft pressure (mmHg)/systemic pressure (mmHg)  
unit: mmHg, mean±SD  
ITA: internal thoracic artery, RGEA: right gastroepiploic artery graft

性は、グラフト特性および native flow, 狭窄率による影響など、様々な要因により生じていると考えられる。

ITA は血管平滑筋よりも弾性線維が多く弾性血管に分類され、人体の中で最も動脈硬化が起こりにくいとされている<sup>18)</sup>が、標的冠動脈の狭窄率が低い場合、血流競合によりグラフトの萎縮をもたらすなどの問題点も指摘されている<sup>16)</sup>。RGEA は強力な血管収縮薬である endothelin-1 や thromboxan A2, noradrenalin (NA), K<sup>+</sup> に対して生理学的には反応性が高く<sup>19)</sup>, string sign および slender sign をきたしやすいついといわれている<sup>20, 21)</sup>。つまり、RGEA は ITA より組織学的にスパズムが生じやすく<sup>22-24)</sup>、さらに末田ら<sup>23)</sup>は、RGEA の組織カテコラミン含量が ITA より有意に多いこともスパズムに関与していると報告している。柚木ら<sup>24)</sup>によると、血流量が低いか、ない状態では、RGEA および ITA の両方とも NA 反応性はよく類似しているが、動脈圧がかかって十分な血流が存在する状態では、RGEA が ITA よりも著しく NA に反応し、スパズムを起こしやすいついといわれている。われわれの実験においては、断端圧測定時は PDE III 阻害薬を注入後、塩酸パパペリンのグラフトへの散布を行い、十分な拍動が触知される状態において同時圧の記録を行った。各々断端圧は血管径に依存せず(表4)、RGEA が ITA よりスパズムを生じやすいついという生理学的条件を排除しているにもかかわらず、断端圧測定結果は ITA>RGEA であった。

また、RGEA の driving pressure が ITA より有意に低値を示した理由として、RGEA の存在する解剖学的因子の関与が考えられる。RGEA は大動脈からの分枝である腹腔動脈を含め第4分枝であり、ITA に比べ遠位で分枝している。つまり RGEA は他の腹部臓器を灌流する動脈のうちの一つという解剖学的特徴をもっている。このことが RGEA の血流供給能に影響を及ぼしていると考えられる。Tedoriya<sup>25)</sup>らは、イヌを用いた CABG の実験モデルにおいて各種動脈系グラフトの血液供給能を検討している。この実験モデルでは、RGEA の代りに下行大動脈から人工血管をたてており、前述の臨床的な解剖学的位置特性については検討していない。上行大動脈、ITA、RGEA の driving pressure を測定し、RGEA が ITA よりも低い driving pressure を示したとも報告しており、この結果はわれわれと同様であった<sup>7)</sup>。

さらに、バイパス吻合術後は解剖学的要因に加え、生理学的要因である血管拡張薬の影響も減弱し、断端圧は ITA ≧RGEA となると考える。Shimizu ら<sup>16)</sup>は動脈グラフトの shear stress の観点から、ITA の流量が flow competition によって減じられているにもかかわらず、ITA の shear stress は高値に維持され、グラフト不全は RGEA よりも生じにくいことを発表した。逆に RGEA の shear stress は ITA より低値を示し、開存率の低下する原因となると主張した。これらのことが flow competition を引き起こしやすいつい要因のひとつとなるとともに、RGEA は ITA に比して血流供給能が劣っていると考えられる。また、標的冠動脈の狭窄が軽度の左前下行枝 (native LAD) に対して ITA を吻合した場合や、狭窄が軽度の右冠動脈 (native RCA) に RGEA を吻合した場合に、RGEA 開存率の低下や steal 現象を生じることがあると報告されていることから、RGEA は ITA に比して血流供給能が劣っていることが裏付けられる<sup>22, 26, 27)</sup>。

RGEA の開存率が一般的に ITA より不良の理由として、断端圧の違い以外に、RGEA の血管径、解剖学的特性、心周期による血流パターンのずれが影響すると考える<sup>7, 8)</sup>。RGEA は ITA よりも低い driving pressure を示し、腹部分枝であるとともに分枝回数も多いという解剖学的特性による血流パターンのずれが、拡張期優位である冠血流に対し不利である。今回、ITA、RGEA 各々の断端圧には、血管径の違いによる有意差は認めなかったが ITA>RGEA であった(表2, 表4)。その理由として、測定時にグラフトへ PDE III 阻害薬を注入し、グラフトを十分拡張させ、塩酸パパペリンのグラフトへの散布を行い同時圧を記録したため、血管径の差は小さくなっていたと考える。また、グラフト採取後、ITA はハーモニックを使用し skeletonize 法で採取したが、RGEA については pedicle 法で採取した。さらに RGEA では、塩酸パパペリンをグラフトの外から散布したため ITA より薬剤の浸透度が低くなり、そのことが断端圧へ影響した可能性もあると考える。

本来、日常診療において細い in situ グラフトは吻合に使用しないようにしているはずであり、血管拡張をさせているにもかかわらず RGEA の開存率が低い理由として、術中吻合後あるいは術後の RGEA の特性であるスパズムが関係していること、RGEA の吻合後の graft flow は ITA>

RGEA であり、それぞれの灌流域が異なることが影響しているのではないかと考える。

われわれは、グラフト断端圧のみがすべてとは考えてはおらず、血液供給能に影響する一要因であると考えている。とくに RGEA を in situ グラフトとして使用する場合には標的冠動脈の狭窄率を十分に検討し、狭窄率の低い部位へのバイパスを避け、狭窄率の高い部位へのバイパスが重要である。RGEA と ITA の断端圧の差はわずかであったが、統計学的には有意差を示し、症例によっては RGEA の血液供給能が ITA に劣っていると考えられ、標的冠動脈の選択には注意を要する。

## VII. 結 語

われわれの断端圧測定の結果より、RGEA は生理学的要因、解剖学的要因が関与し、ITA に比し in situ 動脈グラフトとしての機能は低く、flow competition を引き起こしやすいと考えられる。RGEA の標的冠動脈の選択は十分に検討しなければならない。

## 文 献

- Jones EL, Lattouf OM, Weintraub WS: Catastrophic consequences of internal mammary artery hypoperfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1989; **98**: 902-907
- Grandjean JG, Boonstra PW, Den Heyer P, Ebels T: Arterial revascularization with the right gastroepiploic artery and internal mammary arteries in 300 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; **107**: 1309-1316
- Loop FD, Lytle BW, Cosgrove DM, Stewart RW, Goormastic M, Williams GW, Golding LA, Gill CC, Taylor PC, Sheldon WC, et al: Influence of the internal-mammary-artery graft on 10-year survival and other cardiac events. *N Engl J Med*. 1986; **314**: 1-6
- Caputo M, Nicolini F, Franciosi G, Gallotti R: Coronary artery spasm after coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999; **15**: 545-548
- Suma H, Wanibuchi Y, Terada Y, Fukuda S, Takayama T, Furuta S: The right gastroepiploic artery graft: clinical and angiographic midterm results in 200 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993; **105**: 615-623
- Barner HB: Arterial grafting: techniques and conduits. *Ann Thorac Surg* 1998; **66**: S2-S5, S25-S28
- Tedoriya T, Kawasuji M, Sakakibara N, Ueyama K, Watanabe Y: Pressure characteristics in arterial grafts for coronary bypass surgery. *Cardiovasc Surg* 1995; **3**: 381-385
- Wakabayashi A, Beron E, Lou MA, Mino JY, da Costa LA, Connolly JE: Physiological basis for the systemic-to-coronary artery bypass graft: inadequacy of the internal mammary artery for this purpose and appraisal of the ascending aorta as its proximal site. *Arch Surg* 1970; **100**: 17-19
- Suma H, Isomura T, Horii T, Sato T: Late angiographic result of using the right gastroepiploic artery as a graft. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; **120**: 496-498
- Nishida H, Tomizawa Y, Endo M, Koyanagi H, Kasanuki H: Coronary artery bypass with only in situ bilateral internal thoracic arteries and right gastroepiploic artery. *Circulation* 2001; **104**: I76-I80
- Takahashi K, Daitoku K, Nakata S, Oikawa S, Minakawa M, Kondo N: Early and mid-term outcome of anastomosis of gastroepiploic artery to left coronary artery. *Ann Thorac Surg* 2004; **78**: 2033-2036
- Mills NL, Hockmuth DR, Everson CT, Robart CC: Right gastroepiploic artery used for coronary artery bypass grafting: evaluation of flow characteristics and size. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993; **106**: 579-586
- Suma H, Amano A, Fukuda S, Kigawa I, Horii T, Wanibuchi Y, Nabuchi A: Gastroepiploic artery graft for anterior descending coronary artery bypass. *Ann Thorac Surg* 1994; **57**: 925-927
- Yasuura K, Takagi Y, Ohara Y, Takami Y, Matsuura A, Okamoto H: Theoretical analysis of right gastroepiploic artery grafting to right coronary artery. *Ann Thorac Surg* 2000; **69**: 728-731
- Mills NL, Everson CT: Right gastroepiploic artery: a third arterial conduit for coronary artery bypass. *Ann Thorac Surg* 1989; **47**: 706-711
- Shimizu T, Hirayama T, Suesada H, Ikeda K, Ito S, Ishimaru S: Effect of flow competition on internal thoracic artery graft: postoperative velocimetric and angiographic study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; **120**: 459-465
- Cosgrove DM, Loop FD, Saunders CL, Lytle BW, Kramer JR: Should coronary arteries with less than fifty percent stenosis be bypassed? *J Thorac Cardiovasc Surg* 1981; **82**: 520-530
- Chavanon O, Hacini R, Cracowski JL: Right gastroepiploic artery for coronary artery bypass grafting: a word of caution. *Ann Thorac Surg* 2001; **72**: 2184-2185
- Okamura Y: Graft selection in coronary artery bypass grafting. *J Jpn Coron Assoc* 2004; **10**: 125-129 (in Japanese)
- Uchida N, Kawaue Y: Flow competition of the right gastroepiploic artery graft in coronary revascularization. *Ann Thorac Surg* 1996; **62**: 1342-1346
- Nakao T, Kawaue Y: Effect of coronary revascularization with the right gastroepiploic artery: comparative examination of angiographic findings in the early postoperative period. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993; **106**: 149-153
- He GW, Yang CQ: Comparison among arterial grafts and coronary artery: an attempt at functional classification. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995; **109**: 707-715
- 末田泰二郎, 栗栖佳宏, 松浦雄一郎, 梶原博毅: 動脈グラフトの神経分布に関する免疫組織学的検討. *脈管学* 1999; **39**: 843-847
- 柚木純二, 吉 戒勝, 蒲原啓司, 麓 英征: Skeletonized 右胃大網動脈を使用した CABG の検討. *胸部外科* 2004; **57**: 433-439
- Tedoriya T, Kawasuji M, Ueyama K, Sakakibara N, Take-mura H, Watanabe Y: Physiologic characteristics of coronary artery bypass grafts. *Ann Thorac Surg* 1993; **56**: 951-956
- Nishida H, Endo M, Koyanagi H, Koyanagi T, Nakamura K: Coronary artery bypass grafting with the right gastroepiploic artery and evaluation of flow with transcutaneous Doppler echocardiography. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; **108**: 532-539
- Kawasuji M, Tekemura H, Sakakibara N, Matsui O, Watanabe Y: Coronary steal caused by a right gastroepiploic artery graft. *Ann Thorac Surg* 1994; **57**: 1645-1647