

Brief communication - Coronary

Reverse-remodeling after coronary artery bypass grafting in ischemic cardiomyopathy: assessment of myocardial viability by delayed-enhanced magnetic resonance imaging can help cardiac surgeons

Mitsugu Ogawa*, Kiyoshi Doi, Atsushi Fukumoto, Hitoshi Yaku

Department of Cardiovascular and Thoracic Surgery, Kyoto Prefectural University of Medicine, Graduate School of Medical Science, 465 Kajji-cho Kawaramachi-Hirokoji Kamigyo-ku, Kyoto 602-8566, Japan

Received 7 March 2007; received in revised form 19 June 2007; accepted 17 July 2007

Abstract

Preoperative delayed-enhanced magnetic resonance imaging (DE-MRI) was performed to estimate myocardial viability in a 57-year-old man with ischemic cardiomyopathy in order to decide the best course of treatment. The patient was diagnosed as having congestive heart failure with triple-vessel involvement (ejection fraction of 7%, end-diastolic volume index of 160 ml/m², end-systolic volume index of 148 ml/m²). ^{99m}Tc-sestamibi single-photon emission computed tomography revealed severe reduction of the uptake at both stress and resting phases in the anterior, lateral and inferior segments. However, DE-MRI demonstrated transmural hyperenhancement to be <25% within the whole ventricular wall, implying that, though there was extensive subendoventricular myocardial infarction, there was substantial viable myocardium. Therefore, with the expectation that functional recovery was possible with coronary revascularization alone, we performed a complete revascularization with off-pump coronary artery bypass grafting. Six months after the operation, catheterization demonstrated dramatic improvement in ventricular function, with the ejection fraction having increased to 36%. This case suggests that preoperative assessment of myocardial viability by DE-MRI could help cardiac surgeons to choose the best treatment for patients with ischemic cardiomyopathy.

© 2007 Published by European Association for Cardio-Thoracic Surgery. All rights reserved.

Keywords: Ischemic cardiomyopathy; Reverse-remodeling; Delayed-enhanced magnetic resonance imaging; Myocardial viability; Subendocardial infarction**1. Case**

A 57-year-old man was admitted to a local hospital with congestive heart failure. Coronary angiography revealed triple-vessel involvement with chronic total obstruction of the proximal portion of the right coronary artery, 90% stenosis of the proximal portion of the left anterior descending coronary artery and chronic total obstruction of the terminal left posterolateral branch. Left ventriculography demonstrated an extensive akinetic area and an ejection fraction (EF) of 7%, end-diastolic volume index (EDVI) of 160 ml/m², and end-systolic volume index (ESVI) of 148 ml/m². Using a Swan-Gantz catheter, the systemic pulmonary artery pressure of 46 mmHg, and the cardiac index of 1.8 l/min/m². ^{99m}Tc-sestamibi single-photon emission computed tomography (SPECT) revealed severe reduction of the uptake at both stress and resting phases in the anterior, lateral and inferior segments (Fig. 1a,b). However, delayed-enhanced magnetic resonance imaging (DE-MRI, Philips Gyroscan 1.5 tesla) revealed transmural hyperenhancement to be <25% within the whole ventricular wall, implying that, though there was extensive subendoventricular myocardial infarction, there was substantial viable

myocardium (Fig. 1c,d). Serum brain natriuretic peptide (BNP) level was 1093 pg/ml preoperatively. On the basis of the MRI assessments, we considered that this severe reduction in ventricular contraction had resulted from an extensive hibernation and, therefore, strongly expected that the function might be much improved by coronary revascularization alone.

We performed a complete revascularization with an off-pump technique: right internal thoracic artery to the left descending coronary artery, left internal thoracic artery to the terminal left posterolateral branch and sequentially to the right posterolateral branch, and gastroepiploic artery to the postero-descending coronary artery. No scar formation was directly seen on the surface of the left ventricle.

The postoperative course was uneventful, and the patient was discharged ten days after the operation. Early postoperative echocardiography and cine-MRI did not demonstrate any remarkable changes in ventricular function.

However, six months after the operation, catheterization demonstrated that all the grafts were patent and that ventricular function had dramatically improved, with EF being 36%, EDVI 127 ml/m², ESVI 83 ml/m² and the cardiac index 2.6 l/min/m² (Fig. 2). The New York Heart Association (NYHA) functional class had also improved to I. Cine-MRI showed significant improvement in the anterior and lateral

*Corresponding author. Tel.: +81-75-251-5752; fax: +81-75-257-5910.
E-mail address: m-ogawa@koto.kpu-m.ac.jp (M. Ogawa).

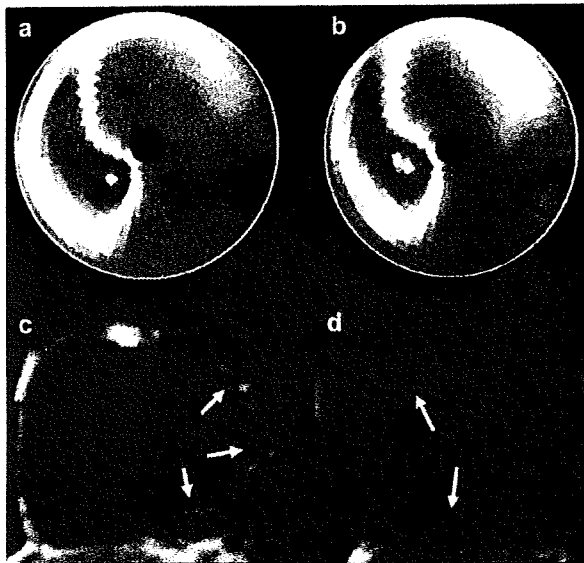


Fig. 1. Preoperative ^{99m}Tc -sestamibi SPECT (a, stress; b, rest) and delayed-enhanced MRI (c, short axis; d, long-axis). ^{99m}Tc SPECT showed severe reduction of a tracer uptake at both stress and resting phases in the anterior, lateral and inferior segments, especially in the infero-lateral segment. These segments were considered 'non-viable'. However, DE-MRI demonstrated the subendocardial infarction with the transmural extent <25% in the same segments (arrow).

wall motion and wall thickening. Serum BNP level had fallen to 260 pg/ml. Fourteen months after the operation, the patient is fine, and is NYHA functional class I.

2. Discussion

Regarding patients with a large left ventricle (LV) due to ischemic cardiomyopathy, deciding whether to perform coronary artery bypass grafting (CABG) alone or with sur-

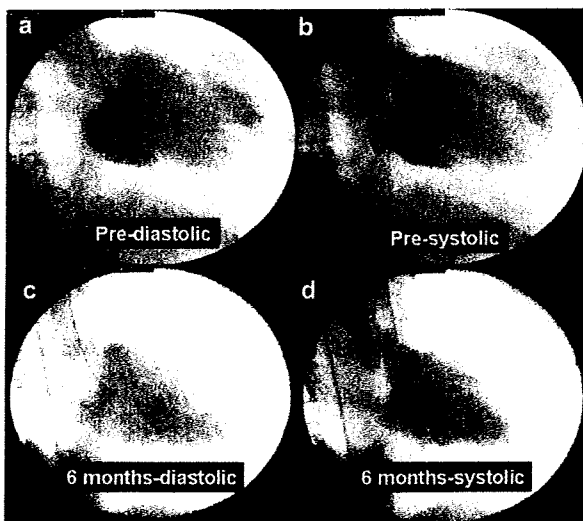


Fig. 2. Preoperative and postoperative (six months) left ventriculography (RAO view). Preoperative left ventriculography (a, b) demonstrated an extensive akinetic area (EF: 7%, EDVI: 160 ml/m², ESVI: 148 ml/m²). Six months after the operation (c, d), left ventricular function was dramatically improved (EF: 36%, EDVI: 127 ml/m², ESVI 83 ml/m²).

gical ventricular restoration is important. To make the decision, accurate assessment of myocardial viability is necessary to judge whether the regional wall motion will be improved after revascularization.

For determining myocardial viability, several imaging methods are now available, including stress echocardiography, SPECT, positron emission tomography, and MRI. Of these, DE-MRI is the only modality that can reliably demonstrate with a higher spatial resolution the transmural extent of the infarcted myocardium within asynergic left ventricular walls [1, 2]. Wagner and colleagues suggested that 47% of the areas having subendocardial infarction (transmural extent <50%) obtained by DE-MRI showed 'defect' at resting ^{201}Tl SPECT [3]. In the present case, the anterior, lateral and inferior segments were initially considered 'non-viable' at ^{99m}Tc SPECT. However, DE-MRI showed viable myocardium with the subendocardial infarction. Kim and colleagues have suggested that the transmural extent of hyperenhancement obtained by DE-MRI was strongly associated with functional recovery of the regional ventricular wall [4]. They suggested that left ventricular regions with delayed enhancements covering more than 50% of the regional wall thickness are not expected to recover function after revascularization, while those with <50% of the wall thickness-exhibiting enhancement have a reasonable chance to recover some degree of function after revascularization.

Although a recent study indicated poor late outcomes in patients with severely dilated LV (ESVI ≥ 100 ml/m²) following CABG alone [5], Carluccio and colleagues reported that patients with hibernating myocardium showed altered LV volume and shape, which reverted significantly after revascularization alone [6]. The preoperative end-systolic volume index of the patient reported herein was 148 ml/m², but functional recovery was obtainable because the ventricle had a substantial amount of viable myocardium. Therefore, even a patient with a large ventricle due to ischemic cardiomyopathy may have the potential to improve sufficiently with revascularization alone provided that the abnormally contracting ventricular wall has enough viable myocardium.

The present case suggests that preoperative assessment of myocardial viability by DE-MRI could help cardiac surgeons to choose the best treatment for patients with ischemic cardiomyopathy. The patient needs to be followed-up further to see whether function improves even more.

References

- [1] Bodi V, Sanchis J, Lopez-Lereu MP, Losada A, Núñez J, Pellicer M, Bertomeu V, Chorro FJ, Llácer A. Usefulness of a comprehensive cardiovascular magnetic resonance imaging assessment for predicting recovery of left ventricular wall motion in the setting of myocardial stunning. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:1747-1752.
- [2] Klein C, Nekolla SG, Benget FM, Momose M, Sammer A, Haas F, Schnackenburg B, Delius W, Mudra H, Wolfram D, Schwaiger M. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging comparison with positron emission tomography. *Circulation* 2002;105:162-167.
- [3] Wagner A, Kahrholdt H, Holly TA, Elliott MD, Regenfus M, Parker M, Klocke FJ, Bonow RO, Kim RJ, Judd RM. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion

- imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet* 2003;361:374–379.
- [4] Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, Klocke FJ, Bonow RO, Judd RM. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000;343:1445–1453.
- [5] Yamaguchi A, Ino T, Adachi H, Murata S, Kamio H, Okada M, Tsuboi J. Left ventricular volume predicts postoperative course in patients with ischemic cardiomyopathy. *Ann Thorac Surg* 1998;65:434–438.
- [6] Carluccio E, Biagiolo P, Alunni G, Murrone A, Giombolini C, Ragni T, Marino PN, Reboldi G, Ambrosio G. Patients with hibernating myocardium show altered left ventricular volumes and shape, which revert after revascularization. Evidence that dyssynergy might directly induce cardiac remodeling. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:969–977.

<特集「内視鏡手術 1」>

「心臓・血管外科領域における内視鏡手術」

土井 潔, 夜久 均

京都府立医科大学大学院医学研究科心臓血管・呼吸器外科学*

Endoscopic cardiovascular surgery

Kiyoshi Doi and Hitoshi Yaku

*Department of Cardiovascular and Thoracic Surgery,
Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science*

抄 録

1990年代以降, 他外科系の分野と同じく心臓血管外科においても内視鏡手術が登場してきた。この領域における内視鏡手術には, 人工心肺を用いる僧帽弁手術, 冠動脈バイパス術および心房中隔壁欠損閉鎖術と, 人工心肺を用いない肺静脈隔離術や動脈管閉鎖術などがある。人工心肺として大腿動静脈からアプローチ出来る Port access 法を用い, さらに手術操作には三次元内視鏡とロボットシステムを用いることが特徴である。海外ではすでに内視鏡下心臓手術を標準術式として採用している施設も存在するが, その手術時間および成績はまだ直視下に行う手術に及ばない。

キーワード: 内視鏡手術, 心臓血管外科手術, ロボット手術。

Abstract

In 1990's, endoscopic procedures started to bloom in various types of surgical fields including cardiovascular surgery. However, current endoscopic procedures in the cardiovascular surgery are not as popular as those in other surgical fields. The most common procedures that can be accomplished with this technique include: mitral valve surgery, repair of atrial septal defect, coronary artery bypass grafting, surgical ablation for atrial fibrillation (pulmonary vein isolation) and ligation of patent ductus arteriosus. In this technique, cardiopulmonary bypass is established using the Port access system via cannulation into the femoral artery and vein. Robotic surgical system is also required to enable fine manipulation in the thoracic cavity. Although some oversea hospitals perform endoscopic cardiac surgery on a routine basis, their clinical results are not as good as those of conventional techniques.

Key Words: Endoscopic surgery, Cardiovascular surgery, Robotic surgery.

はじめに

1990年代以降あらゆる外科の分野に内視鏡手術が登場し、手術法によっては古典的な直視下の手術を完全に凌駕してきている。もちろんこのトレンドは心臓血管外科においても例外ではない。しかしながら他の外科分野に比べると、心臓血管外科の分野では未だに発展途上といえる。その理由の一つとして、内視鏡下の限られた手術野では、心臓血管手術に伴う突発的な大出血などの急変の際に、迅速に対処し難いという懸念がある。また、他分野の手術と異なり、心臓血管手術では拍動している状態のまま切開や吻合を行う場合があるので、技術的に難しいこともこの領域における内視鏡手術が立ち後れている理由の一つであろう。

今回、心臓血管外科領域における内視鏡手術の歴史と現状そして将来の展望についてまとめてみた。

歴史と現状

心臓血管外科領域における内視鏡手術の先駆けは、1997年頃に行われた僧帽弁形成術であると思われる¹⁾²⁾。このケースでは、約5cmの切開を右第4肋間に置き、ロボットアームの補助下に、内視鏡下操作と直視下操作を併用しながら行った。その後、完全内視鏡下に行われた冠動脈バイパス術は1999年の報告が³⁾、開心術としては2001年に報告された心房中隔欠損閉鎖術が初めてのものである⁴⁾。

現在では手術支援ロボットシステムの改良に伴い、ヨーロッパおよびアメリカの施設によっては、ある種の心臓手術をほぼルーチンで内視鏡下に行っている。日本でも2000年頃から阪大など数カ所の施設に手術支援ロボットシステムが導入されており、内視鏡下心臓手術への取り組みが始まった。

現在内視鏡下に行われている心臓手術は表1に示すように様々な種類がある。以下それらの手術の詳細について述べたい。

表1 内視鏡下に行われている心臓手術

人工心肺を用いる手術

- ・僧帽弁形成術（置換術）
- ・三尖弁形成術（置換術）
- ・心房中隔欠損閉鎖術
- ・冠動脈バイパス術

人工心肺を用いない手術

- ・冠動脈バイパス術
- ・肺静脈隔離術：簡易メイズ手術
- ・動脈管閉鎖術
- ・ペースメーカー（心筋電極）埋め込み術

人工心肺・大動脈遮断法

心臓血管手術の多くは、現在でも人工心肺の補助下に行われている。胸骨正中切開で行う一般的な心臓手術の場合、上行大動脈に送血カニューラを、大静脈あるいは右房から脱血カニューラを挿入して体外循環を確立する。しかしながら内視鏡下手術では、カニューラが狭い視野を妨げるだけでなく、カニューラ挿入・抜去時の出血などのトラブルに対する処置が困難である。そこでPort access法という人工心肺の技術が開発された。Port Access System (Cardioventions社)では、大腿動静脈からの送脱血により体外循環を確立する(図1)。体外循環に加えて心停止が必要な場合には、小切開やportを通過できる特殊な大動脈遮断鉗子(Chitwood sliding clampやCosgrove flex clamp)を用いて上行大動脈を遮断した後、通常通り大動脈基部から挿入したルートカニューラを通して心筋保護液(心停止)液を注入する。あるいは、末梢から上行大動脈内に挿入しておいたバルーンカテーテルを膨らませて大動脈を遮断し、カテーテル先端に開口しているルーメンを通して心筋保護液を注入する方法も開発されている(Endoclamp法)。

手術支援ロボットシステム

内視鏡手術においては、限られた視野の中で、長いシャフトを持つ手術器具を使って手術操作を行わなければならない。特に心臓血管手

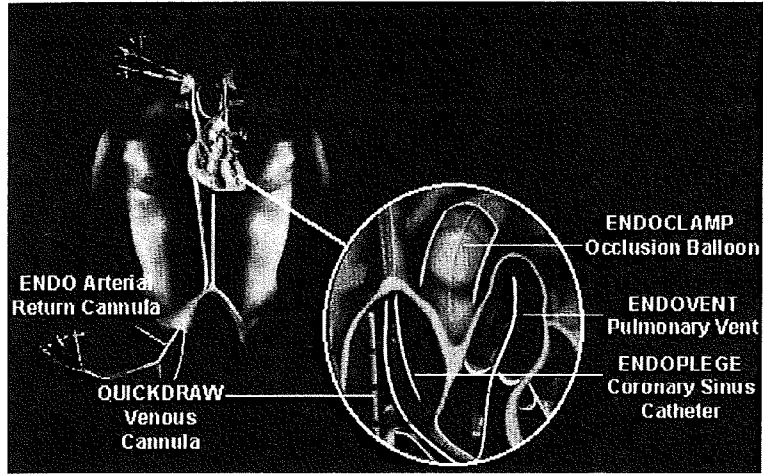


図1 Port access 法による体外循環

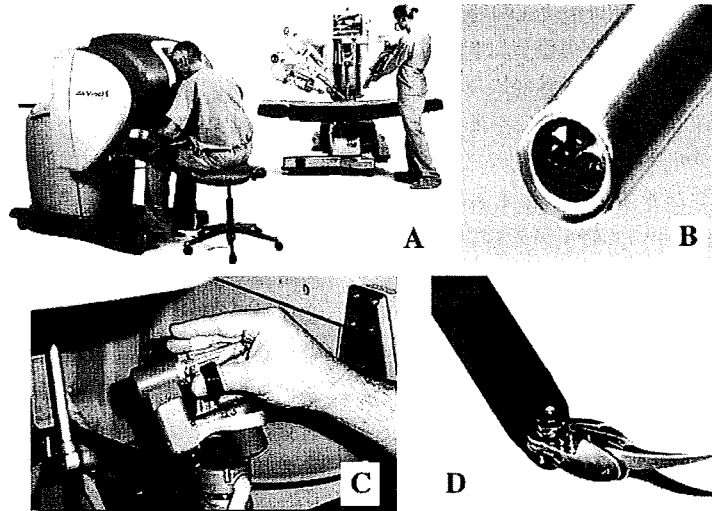


図2 da Vinci Surgical System : A システムの全容, B 三次元内視鏡, C コントローラー, D ロボットアーム

術では、血管吻合などの再建手技が中心となるため、複雑で繊細な縫合操作が不可欠である。残念ながら消化管の自動吻合器のように信頼性のある血管吻合器の類はまだ開発されておらず、この縫合操作を内視鏡下に行うことは非常に困難である。

これら技術的問題点のいくつかを克服してくれるのが、手術支援ロボットシステムである。

現在心臓外科領域で最も多く用いられているのは、da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical社)であろう(図2)。da Vinciはロボットアームの先端部分が複数の関節を持ち、最新のものでは7度の自由度を備えている。このおかげで外部にある操作台の外科医の手や指の動きを、かなりの正確さをもって再現することが可能となった。さらに両眼視のできる三次元内視鏡を

用いることによって、深度の優れた鮮明な立体画像を得ることが可能である。

僧帽弁形成術・置換術

1997年の報告以来、僧帽弁形成術は内視鏡下に行われる心臓手術の中で最も普及したもののひとつであろう。一般的には Port access 法を用いて体外循環を確立し心停止を得た後、右第4肋間に置いた約5cmの皮膚切開とさらに2カ所のportから内視鏡とロボットアームを挿入して手術を行う。手技的には通常の直視下に行う僧帽弁形成法のほぼ全てが可能である。すなわち、僧帽弁輪縫縮術（人工弁輪縫着）、僧帽弁後尖の四角切除術、人工腱索移植術などあらゆるテクニックが内視鏡下に行われている。

合衆国のFDAによって行われた内視鏡下僧帽弁形成術の多施設共同前向き研究の報告によると、術後1ヶ月の時点で8%の患者に2度以上の逆流を認め、5.4%の患者が再手術になった⁵⁾。この割合は、直視下手術に比べてやや多い。しかしながら直視下手術への術中コンバージョンも無く、ロボットシステムに起因するトラブルも無かった。術後中期および手術死亡は無く、合併症として出血再開胸を2.7%に心嚢液貯留を0.9%に認めたのみであった。

冠動脈バイパス術（グラフト採取）

内胸動脈グラフトを内視鏡補助下に採取する試みはかなり以前から行われていた⁶⁾。左側小開胸直視下に左内胸動脈グラフトを左前下行枝に吻合する冠動脈バイパス術（MIDCAB）において、狭い視野から十分な長さのグラフトを採取してくるのは技術的に最も難しい部分である。しかしながら、これを内視鏡下に行えば、良好な視野で第一肋骨から分岐部に到るまでの内胸動脈グラフトを安全に採取することができる。

大伏在静脈グラフトや橈骨動脈グラフトを内視鏡下に採取する方法も普及してきている。かつてはグラフトの長さと同じだけの長さの皮膚切開が採取に必要なだったが、Vasoview System（Guidant社）などを用いれば約2cmの小切開を通してグラフトを採取することが可能である（図3）。この方では美容上の利点だけでなく創感染のリスクが減らせると報告されており、施設によってはルーチンで用いられている⁷⁾。

冠動脈バイパス術（血管吻合）

世界で最初に行われた完全内視鏡下の冠動脈バイパス術では、port access 法を用いて体外循環を確立しさらに心停止を得た後、左胸壁に置いた3つのportを介して、左内胸動脈グラフト

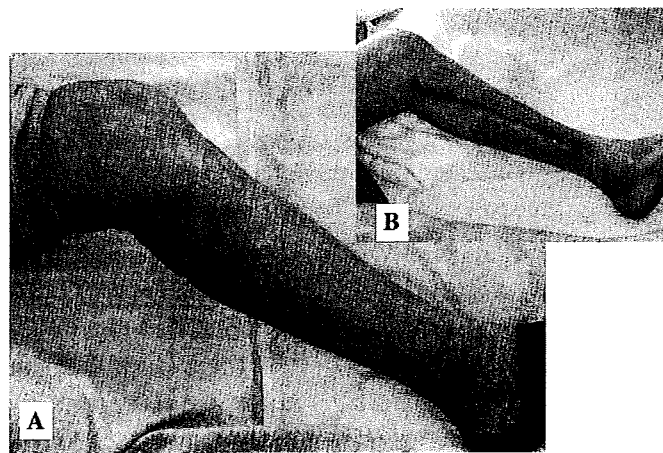


図3 A 静脈グラフト採取後の創（内視鏡を用いて採取） B 従来の方法で採取後の創

を左前下行枝に吻合した³⁾。合衆国で行われた完全内視鏡下(心停止下)冠動脈バイパス術の多施設共同前向き研究によると、左内胸動脈から左前下行枝への1本バイパスにおいて、平均大動脈遮断時間が71分、平均心肺時間が117分必要であったと報告されている。さらに3ヶ月後の冠動脈造影の結果、9%の症例に再度の血行再建術が必要であった⁹⁾。以上の報告から現時点では内視鏡下冠動脈バイパス術の成績は、まだ通常の直視下に行う方法の成績に遠く及ばないといえる。

また一方、最近ではいわゆる心拍動下冠動脈バイパス術(off-pump CABG)の普及に伴い、ロボットアームを操作しながら心拍動下に行う冠動脈吻合も試みられている。しかしながら現在のロボットシステムでは、操作台にいる外科医の指の動きがロボットアームの先端に伝えられるまでのタイムラグが大きく、心拍動下冠動脈吻合を行うにはかなりの困難さを伴う⁹⁾。

心房中隔欠損閉鎖術

先に述べた僧帽弁形成術や冠動脈バイパス術と異なり、心房中隔欠損閉鎖術など右心房へのアプローチを要する場合には、一般的な大腿動脈からの送脱血による体外循環に加えて、経内径静脈的に上大静脈へ別の脱血カニューラを挿入した後に上下大静脈にテーピングを行う。あるいはテーピングが不要な二重バルーン付き脱血カニューラを使うときもある。そして心停止を得た後、右胸壁に置いた3から4つのportを介して心房中隔欠損を閉鎖する(図4)。欠損孔が大きい場合には、Dacron patchを用いる事も可能である。

Bonarosらによる17例の報告では、平均大動脈遮断時間が69分、平均心肺時間が144分と比較的短い時間で手術が可能であった¹⁰⁾。さらに直視下手術へのコンバージョン、手術死亡および術後リークの残存などは認めなかったと報告している。

肺静脈隔離術

肺静脈から心房細動の原因となる異常な電気



図4 内視鏡下心房中隔欠損閉鎖術の創

的興奮の大部分が生じていると考えられており¹¹⁾、この肺静脈を電氣的に周囲心臓組織から遮断する肺静脈隔離は心房細動手術において最も大事な要素である。近年、双極高周波アブレーションデバイスが開発され、外科的な肺静脈隔離を容易に行うことが可能となった。この方法では、心外膜側から肺静脈開口部の左房壁をデバイスで挟んだ後、通電によって全層性に左房壁を焼却し、肺静脈の電氣的隔離を作成する(図5A, B)。また、この方法では心内操作を必要とせずしかも短時間で操作が終了するため、人工心肺は必ずしも要らない。Sagbasらは孤立性心房細動患者を対象として、内視鏡下に高周波アブレーションデバイスを用いた左右の肺静脈隔離術を行ったところ、術後6ヶ月の時点で80%の患者が洞調律を維持していたと報告した¹²⁾。さらに、最近では内視鏡下にマイクロウェーブを用いて肺静脈隔離術を行うデバイスFLEX 10(Guidant社)も開発されている(図5C, D)。

動脈管閉鎖術

小児の動脈管開存症に対する閉鎖術は、一般的に左小開胸で行われ人工心肺による補助は必要ない。特に乳児に対する手術では、わずか数

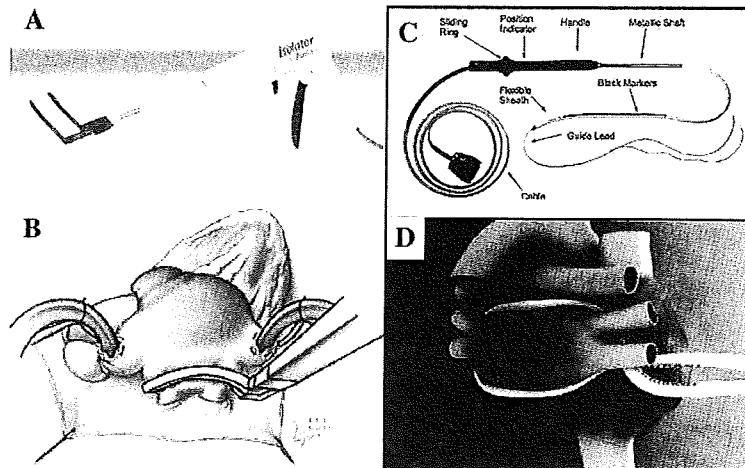


図5 肺静脈隔離術に用いるアブレーションデバイス:A 高周波アブレーションデバイス, B 同デバイスを用いた左心房の焼却, C マイクロウェーブアブレーションデバイス (FLEX 10), D FLEX 10 による肺静脈隔離術

センチの皮膚切開で行われる。一方、現在のシステムでは内視鏡を挿入するためのportのサイズが10~12 mmあり、ロボットアームのためのportのサイズが5~8 mmもある。さらにアーム同志がぶつからずに操作するためには、port間の距離が少なくとも4 cm以上必要である。従って現在の所、内視鏡下に動脈管閉鎖術を行うことが出来るのは、体重14 kg以上の小児とされている¹³⁾。

今後の展望

これまでに述べたように心臓血管外科における内視鏡手術は、条件に恵まれた一部の患者に対する実験的治療の域を出ていない。もちろん新しい技術の習得にはラーニングカーブが必要であり、内視鏡下心臓血管手術でも経験を積むことにより手術時間の短縮や成績の向上が報告されている⁸⁾¹⁰⁾。しかしながら、心臓血管外科領

域において内視鏡手術が直視下手術を凌駕するようになるためには、ロボットシステムのさらなる改良や血管自動吻合器の開発など、かなりの技術革新が必要であろう。

もうひとつの問題点として、コストがかかることが上げられる。特にロボットシステムの導入には非常に巨額の資金が必要である。その結果手術そのものにかかる費用は従来の方法と大差ないけれども、初期投資を回収するためにはどうしても治療費を高く設定せざるを得ない¹⁴⁾。残念ながらこれまでに述べた内視鏡下心臓血管手術のほとんどは、巨額の資金を投入出来る海外の医療施設からの報告である。日本のように心臓血管手術を基本的に保険診療のみでまかなっており、新しい技術の臨床治験を容易に行うことが出来ない土壌では、今後ますますこの分野で海外の技術に後れをとることが懸念される。

文 献

1) WR Chitwood, CL Wixon, JR Elbeery, JF Moran, WH Chapman, RM Lust. Video-assisted minimally invasive mitral valve surgery. J Thorac Cardiovasc Surg 1997; 114: 773-780.

2) V Falk, T Walther, R Autschbach, A Diegeler, R Battellini, FW Mohr. Robot-assisted minimally invasive solo mitral valve operation. J Thorac Cardiovasc Surg 1998; 115: 470-471.

- 3) D Loulmet, A Carpentier, N Attellis, A Berrebi, C Cardon, O Ponzio, B Aupecle, JYM Relland. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 118: 4-10.
- 4) L Torracca, G Ismeno, O Alfieri. Totally endoscopic computer-enhanced arterial septal defect closure in six patients. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 1354-1357.
- 5) LW Nifong, WR Chitwood, PS Pappas, CR Smith, M Argenziano, VA Starnes, PM Shah. Robotic mitral valve surgery: a United States multicenter trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 129: 1395-1404.
- 6) FJ Benetti, C Ballester, G Sani, P Doonstra, J Grandjean. Video assisted coronary bypass surgery. *J Card Surg* 1995; 10: 620-625.
- 7) JD Crouch, DP O'Hair, JP Keuler, TP Barragry, PH Werner, LH Kleinman. Open versus endoscopic saphenous vein harvesting: wound complications and vein quality. *Ann Thorac Surg* 1999; 68: 1513-1516.
- 8) M Argenziano, M Karz, J Bonatti, S Srivastava, D Murphy, R Poirier, D Loulmet, L Siwek, U Kreaden, D Ligon. Results of the prospective multicenter trial of robotically assisted totally endoscopic coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2006; 81: 1666-1675.
- 9) S Jacobs, D Holzhev, BB Kiaii, JF Onnasch, T Walther, FW Mohr, V Falk. Limitations for manual and telemanipulator-assisted motion tracking-implications for endoscopic beating-heart surgery. *Ann Thorac Surg* 2003; 76: 2035-2036.
- 10) N Bonaros, T Schachner, A Oehlinger, E Ruetzler, C Kolbitsch, W Dichtl, S Mueller, G Laufer, J Bonatti. Robotically assisted totally endoscopic atrial septal repair: insights from operative times, learning curves, and clinical outcome. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 687-693.
- 11) M Haissaguerre, P Jais, DC Shah, A Takahashi, M Hocini, G Quiniou, S Garrigue, A Le Mouroux, P Le Metayer, J Clementy. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats origination in the pulmonary veins. *N Engl J Med* 1998; 339: 659-666.
- 12) E Sagbas, B Akpınar, I Sanisoglu, B Caynak, B Tamtekin, K Oral, B Onan. Video-assisted bilateral epicardial pulmonary vein isolation for the treatment of lone atrial fibrillation. *Ann Thorac Surg* 2006; 83: 1724-1730.
- 13) Y Suematsu, BN Mora, T Mihaljevic, PL del Nido. Totally endoscopic robotic-assisted repair of patent ductus arteriosus and vascular ring in children. *Ann Thorac Surg* 2005; 80: 2309-2313.
- 14) JA Morgan, BA Thornton, JC Peacock, KW Hollingsworth, CR Smith, MC Oz, M Argenziano. Does robotic technology make minimally invasive cardiac surgery too expensive? A hospital cost analysis of robotic and conventional techniques. *J Card Surg* 2005; 20: 246-251.

著者プロフィール



土井 潔 Kiyoshi Doi

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科心臓血管・呼吸器外科学

略 歴：1987年3月 京都府立医科大学医学部 卒業

1987年5月 京都府立医科大学第二外科

2000年1月 オーストラリア John Hunter 病院 胸部外科レジストラ

2003年7月 京都府立医科大学心臓血管呼吸器外科

専門分野：心臓血管外科

記録 第52回 近畿心臓外科学研究会

冠動脈口狭窄を合併した完全大血管転位に対する 動脈スイッチ術後に冠動脈バイパス術を行った1例*

盤井成光** 岸本英文** 川田博昭**
三浦拓也** 萱谷太*** 夜久均****

Key Words : coronary artery bypass grafting, transposition of the great arteries, arterial switch operation

はじめに

完全大血管転位に対する動脈スイッチ手術において、単冠動脈や壁内走行などの特殊な冠動脈形態は、その手術成績および生命予後に影響する重大な危険因子と考えられる^{1)~3)}。

今回われわれは、単冠動脈で術前からの冠動脈口狭窄を伴う完全大血管転位において、動脈スイッチ手術を行ったあとに冠血流の低下をきたし、心筋の虚血症状を認めた1例を経験したので報告する。

症 例

症例は完全大血管転位(1型)、Shaher 7B(図1)の単冠動脈例で、生後15日にJatene手術(Lecompte maneuverおよびPacifico変法)を施行した。術中、左右共通の単冠動脈口は1.5mm程度と狭小である所見を認めた。術後経過はとくに問題はなく、術後1か月で心筋虚血の兆候はなく退院した。

術後2か月時に、自宅で啼泣を契機に心筋虚血をきたし緊急入院した。心電図でV₂~V₆にST

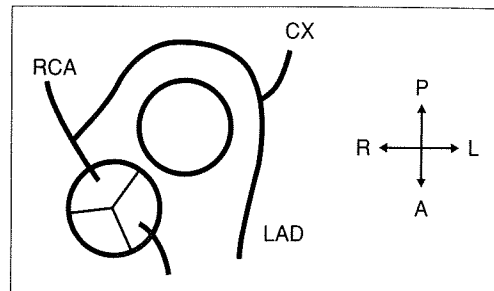


図1 Shaher 7B

RCA : right coronary artery, LAD : left anterior descending artery, CX : left circumflex artery

低下を認め、心エコー検査で左室壁運動の低下、僧帽弁逆流を3/4度認めた。鎮静・人工呼吸管理を行うが、覚醒すると虚血症状が出現するという状態であった。

冠動脈造影で単冠動脈口の狭窄を認め、左右冠動脈は起始部から全体的に細かった。冠動脈口の拡大やステント治療は不可能と判断し、冠動脈バイパス術を行う方針とした。

生後2か月、体重4.2kgで、体外循環・心停止下に冠動脈バイパス術を施行した。左内胸動脈は内腔0.6mm程度であるが、良好なグラフトであった。左冠動脈前下行枝は内腔0.4mm程度で、8-0モノフィラメント糸を使用して、左内胸動脈を左冠動脈前下行枝(#7)に連続縫合により端側

* Coronary artery bypass grafting after arterial switch operation for transposition of the great arteries with ostium stenosis of single coronary artery.

** Shigemitsu IWAI, M.D., Hidefumi KISHIMOTO, M.D., Hiroaki KAWATA, M.D. & Takuya MIURA, M.D.: 大阪府立母子保健総合医療センター心臓血管外科(〒594-1101 和泉市室堂町840); Department of Cardiovascular Surgery, Osaka Medical Center and Research Institute for Maternal and Child Health, Izumi 594-1101, JAPAN

*** Futoshi KAYATANI, M.D.: 大阪府立母子保健総合医療センター小児循環器科

**** Hitoshi YAKU, M.D.: 京都府立医科大学心臓血管・呼吸器機能制御外科

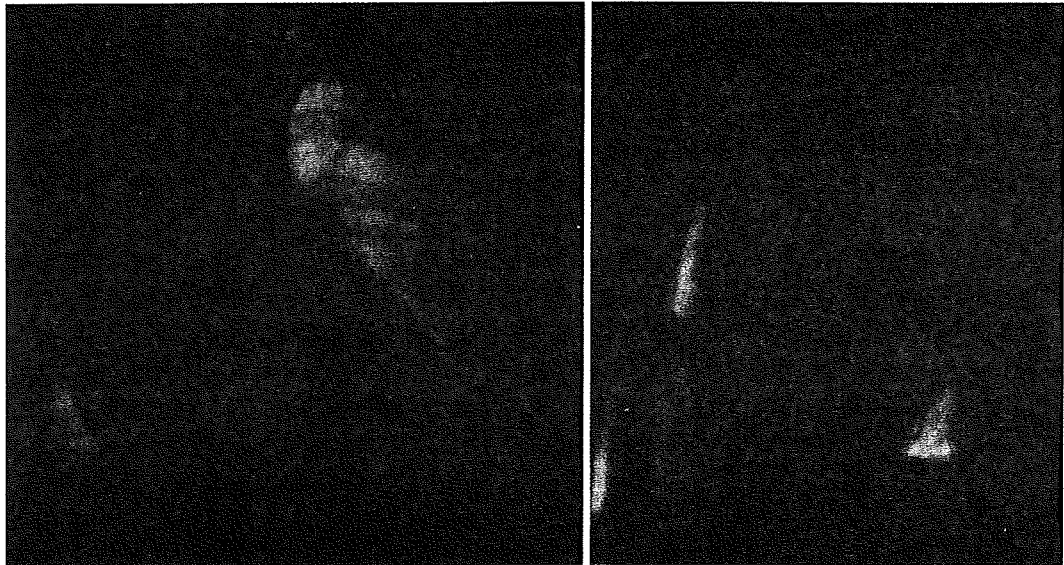


図2 冠動脈バイパス術後2年3か月のグラフト造影(左:正面, 右:側面)

吻合した。

術後心電図でST変化は改善し、心エコー検査でも左室壁運動は改善し、僧帽弁逆流も消失した。

術後1か月の造影検査でグラフト、冠動脈の造影は良好で、左内胸動脈の吻合部直前で内腔に壁不整を認めたが、心筋虚血症状は改善した。

術後2年3か月のグラフト造影(図2)も良好で、現在4歳7か月で日常生活は問題なくおこなっている。

考 察

完全大血管転位症に対する動脈スイッチ手術後の冠動脈病変に関して、Plancheらは1,304例に動脈スイッチ手術を行い、術後冠動脈合併症が94例(7.2%)にみられたと報告しており、その冠動脈形態が単冠動脈あるいは壁内走行を呈するものが危険因子となるとしている³⁾。一方、特殊な冠動脈形態を呈する症例であっても、冠動脈移植法を工夫することにより、術後の冠動脈病変なしに動脈スイッチ手術が可能であるとする報告もみられる⁴⁾⁵⁾。今回われわれは、right facing sinus(sinus 2)から起始する単冠動脈例に対し、新大動脈のST-junction高位で、冠動脈の屈曲や伸展なく冠動脈移植を行った。しかし、単冠動

脈口がもともと狭小であり、術後に啼泣などの負荷がかかると心筋虚血をきたし、再手術を余儀なくされた。

Yakuらは、左冠動脈壁内走行を呈する完全大血管転位症において、動脈スイッチ術後に冠血流の低下をきたした新生児例に対し、左内胸動脈を用いた冠動脈バイパス術を行ったと報告している⁶⁾。本例も月齢2か月であったが、冠動脈の病変から冠動脈バイパス術以外に心筋虚血を改善する手段はなく、救命的手術として左内胸動脈グラフトを用いた冠動脈バイパス術を施行した。

冠動脈バイパス術後は経過良好で心筋虚血症状も改善しているが、左内胸動脈グラフト末梢側に部分的壁不整を認めており、今後患児の成長に伴うグラフトの動向も含め、厳重な経過観察を要する。

ま と め

単冠動脈、冠動脈口狭窄を伴う完全大血管転位症の1例で、動脈スイッチ術後に心筋虚血をきたし、月齢2か月に冠動脈バイパス術を行うことにより心筋虚血症状は改善している。

文 献

- 1) Mayer JE Jr, Sanders SP, Jonas RA, et al. Coronary artery pattern and outcome of arterial switch operation for transposition of the great arteries. *Circulation* 1990 ; 82 Suppl 4 : 139.
- 2) Day RW, Laks H, Drinkwater DC. The influence of coronary anatomy on the arterial switch operation in neonates. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992 ; 104 : 706.
- 3) Legendre A, Losay J, Touchot-Kone A, et al. Coronary events after arterial switch operation for transposition of the great arteries. *Circulation* 2003 ; 108 Suppl 2 : 186.
- 4) Asou T, Karl TR, Pawade A, et al. Arterial switch : translocation of the intramural coronary artery. *Ann Thorac Surg* 1994 ; 57 : 461.
- 5) Sung SC, Chang YH, Lee HD, et al. Arterial switch operation for transposition of the great arteries with coronary arteries from a single aortic sinus. *Ann Thorac Surg* 2005 ; 80 : 636.
- 6) Yaku H, Nunn GR, Sholler GF. Internal mammary artery grafting in a neonate for coronary hypoperfusion after arterial switch. *Ann Thorac Surg* 1997 ; 64 : 543.

* * *

心疾患克服への将来戦略

—外科—

船津俊宏 小林順二郎

IRYO Vol. 62 No. 3 (141-144) 2008

要旨

近年の心臓外科領域における手術法、デバイスの進歩はめざましいものがある。より高齢化、重症化する患者群に対して安全な手術を提供できるよう、治療効果を維持しつつ低侵襲化をめざした研究がなされてきた。冠動脈疾患、弁膜症のいずれにおいても、普遍的な手術法は確立しており、今後はこれらをいかに低侵襲でハイリスクな症例に安全に行いえるかという点に重点をおくことになろう。具体的には、冠動脈バイパスでは人工心肺を用いない心拍動下手術が一般化した。さらに小切開やロボット手術によるリスクと侵襲の軽減が課題となる。弁膜症においては、経皮的弁手術の開発と並行して、直視下手術では冠動脈バイパス同様に小切開やロボットの普遍的な導入が進められよう。また重症心不全に対しては、左室形成術や僧帽弁形成術による症状の改善が報告され、機械的補助に頼らない治療法として注目されており、今後も改良が加わりながら発展が期待される。一方人工心臓では、植え込み型人工心臓の導入により高いQOLで、再開された心臓移植への待機が可能となったが、今後さらに血栓症を中心とする合併症の克服へ向けたデバイスや抗凝固療法の改良が必要である。

キーワード 心臓外科, 低侵襲, デバイス

はじめに

心臓外科領域における近年の進歩は著しい。人工心肺機器、操作技術や心筋保護法の進歩など、心臓外科をとりまく環境の飛躍的向上がそれを支えてきたのはいうまでもないが、加えて各種病態に対するより低侵襲でQOLの高い手術法の開発が進められてきたことの賜物である。本稿では、種々の心疾患に対するさまざまな外科治療について、近年、とくに過去10年間の現況について論じるとともに、今後10年における課題について述べていきたい。

虚血性心疾患

冠動脈疾患に対する外科的治療としての冠動脈バイパス術:Coronary artery bypass grafting (CABG) は、一般的であった人工心肺を用いた心停止下バイパスに対して、この10年では人工心肺を用いない心拍動下のバイパス手術、Off-pump CABG (OP-CAB) が飛躍的な進歩をとげた。とくに本邦を中心に、より低侵襲な術式としてその有用性が評価されている。また、用いられる血管グラフトも、大伏在静脈が中心であった黎明期に比べ、現在では動脈グラフト、とくに内胸動脈や胃大網動脈¹⁾などのい

国立循環器病センター 心臓血管外科

別刷請求先: 小林順二郎 国立循環器病センター心臓血管外科 〒565-8656 大阪府吹田市藤白台5-7-1

(平成19年7月6日受付, 平成20年3月3日受理)

Future Strategy to Overcome Cardiovascular Diseases: Surgery

Toshihiro Funatsu, Junjiro Kobayashi

Key Words: cardiac surgery, lower invasive, device

わゆる *in situ* グラフトが積極的に用いられ、大動脈への侵襲を回避することが重要視されるようになった。こうした、OPCAB や *in situ* グラフトの使用による大動脈非接触 (Aortic non-touch technique) は、従来こうした開心術に付随してきた脳合併症の発生を低下させること²⁾、ひいては冠動脈バイパス術の morbidity を減少させ、手術成績を向上させることへの貢献が期待されている。こうしたバイパス手術の低侵襲化は、高齢者や併存疾患をともなったハイリスク症例へも適用範囲が拡大される結果となり、手術成績を維持しながら適応を拡大することを可能とした。また、OPCAB の手技により、左前下行枝への 1 本バイパス症例を中心として、前胸部小切開による胸骨を切断しない CABG、いわゆる MIDCAB (Minimally Invasive Direct Coronary Artery Bypass) も可能となり、低侵襲のみならず美容的にも優れる術式であるといえる³⁾。

今後10年の間に CABG の対象となる症例の重症化は今後さらに進み、低心機能や術前合併症の多い症例あるいは分岐部や多発病変の増加が予想される。こうした症例に対応するために、冠動脈外科領域で進めるべき戦略としては、ステントを中心としたカテーテル治療に対し、対抗しうる CABG の確立につぎ。そのためには、基本的な技術の獲得、向上によって高いグラフト開存率を維持し、CABG で優位にある長期成績、再手術回避率を向上させることはもちろん、カテーテル治療が優れている侵襲度の点で対抗しうる手術法の開発、より低侵襲で行いうる多枝へのバイパス法の開発があげられる。そのため、MIDCAB をさらに発展させ、心拍動下で小切開口からより多くの病変にバイパスを可能とするような技術革新が求められよう。具体的には、手術支援ロボットや内視鏡システムを用いて血管吻合を安全に行いえることが必要であり、とくに吻合を従来の手縫いではなく、簡便に行うためのデバイスが必要となる。末梢側吻合用の自動吻合器については、数種類の開発がなされ小規模臨床試験が開始されており⁴⁾、今後小切開やロボット手術で有用なデバイスとなる可能性がある。現在当センターでは、現在手術支援ロボット“da Vinci”システムを低侵襲冠動脈バイパス手術に用い、内視鏡下左内胸動脈の剥離を行っている。採取した内胸動脈は、小開胸下に左前下行枝に直視下吻合する。2000年の開始以降、これまで18例に実施し、全例で術中問題なく剥離、吻合を行いており、術後のグラフト開存も良好で

あった。

一方、虚血性心疾患の増加にともない、心筋梗塞後の左室リモデリングの結果として生じる、虚血性心筋症や虚血性僧帽弁閉鎖不全も増加しつつあり、これらに対する外科的治療も近年さまざまなアプローチが試みられている。虚血性心筋症に対しては、リモデリングを生じた左室に対する形成術がさまざまな観点からなされており、その遠隔成績が注目される。また虚血性僧帽弁閉鎖不全については左室拡大から生じる乳頭筋間隔の拡大が本質であることから、それらを修復して弁輪形成を施す方法が開始されている。これらはその遠隔成績がまだ明らかでなく、今後10年間で検証されるとともに改良が加えられていくことが期待される。

弁 膜 症

弁膜症に対する外科治療として、この約10年間において特筆すべきは、人工弁の進歩と弁形成手技の確立である。人工弁では、さまざまな技術改良がなされ、その結果機械弁では、狭小弁輪に対応し、かつより広い有効弁口面積を提供しうる小口径弁が開発され臨床応用された。一方生体弁では、抗石灰化から、耐用年数の延長が期待される次世代弁やステントレス生体弁が開発されるに至った。しかしながら、機械弁は依然として抗血栓性の問題が解決されおらずワーファリンの服用が必須であり、それにとまう出血性合併症のリスクも一定の割合で存在する。一方の抗血栓性で勝る生体弁は、やはり依然として石灰化の問題から解決されおらず耐用年数に限界がある。したがって、今後はこうした各弁種の問題点の解決へ向けたさらなる取り組みが期待される。また、近年とくに大動脈弁位においては、カテーテルを用いた経皮的な手技により置換可能な生体弁が開発され、欧米ではすでに重症例など限られた症例ながら臨床応用が開始されている。経皮的置換は、合併症や手技の点で対象症例に限界があるが、大動脈遮断による心停止や大動脈切開を要さない心尖からのアプローチによる閉鎖的大動脈弁置換は今後、とくにハイリスク症例において開発が進む可能性がある。

他方、弁形成術については、とくに僧帽弁形成術が僧帽弁逆流に対する普遍的な手技として確立した。単純な弁下構造の破綻にともなった逆流に加え、前後尖の複合病変や、Barlow 症候群など弁尖そのも

の異常を有する症例，あるいは感染性心内膜炎に対しても積極的に応用されるようになり，一定の成果を得るに至った．また，弁形成を確立する上で不可欠な弁輪の是正についても，それぞれに特色を有する数種の人工弁輪が開発され，病態に応じたこれらの使用による逆流抑制効果や再発抑制効果が報告されている．今後10年において，こうした弁形成術や弁置換などの直視下弁手術においては，CABGと同様により低侵襲化をめざした手技，手法の開発が必要である．すでに小切開による大動脈弁置換，僧帽弁置換や形成術が欧米では積極的に行われており，小切開下での視野展開に有用性が高い種々のデバイスの開発が進められている．本邦においても，こうした小切開による直視下弁手術は一部の施設で行われており，とくに胸骨の離断を必要としない方法は，術後縦隔洞炎の予防や再手術症例などにおいて有用性が高い．今後は，弁手術の領域においてもロボット支援システムの積極的な導入による，さらなる低侵襲化の試みが進められていくものと思われる．

重症心不全

心不全に対する外科治療として，この10年間における最大の進展は，臓器移植法案の制定に基づく本邦での脳死心臓移植の再開である．1998年の第1例以降，2007年5月までに44例の心臓移植が行われた．しかし，いうまでもなくその提供数は欧米に比し圧倒的に少なく，ドナー不足は深刻である．今後10年においては，既存のものに勝る免疫抑制療法の開発や，移植後慢性期の冠動脈病変に対する対策など，主として内科的に改良される点としてあげられる．しかし本邦で今後10年間に克服すべき最も重要な課題は，こうしたドナー不足に対する社会への啓発や普及活動であると思われる．また，心臓移植へのブリッジとしての人工心臓治療もこうしたドナー不足の現況下ではとくにそのニーズが高いが，この10年間では国産の体外式東洋紡-NCVC型人工心臓がさらに普及するとともに，その長期補助成績も向上した．加えて，従来移動に適さなかった大型の体外駆動装置が，Mobart-NCVC型（図1）の開発により軽量小型化が実現し，より患者のQOL向上に寄与しうようになった．さらにこの10年間に，欧米の標準的な植え込み型人工心臓である Novacor-LVAS や HeartMate-LVAS の本邦導入も実現し，

こうした植え込み型人工心臓装着による自宅療養から心臓移植に到達しえた症例も存在するようになった．さらには植え込み型定常流人工心臓の本邦開発第一号である EVAHEART の臨床導入も始まった⁵⁾．しかし，こうした人工心臓の最大の合併症である血栓塞栓症と感染は現在もなお，補助患者の Mortality および Morbidity を高める要因となっている．今後10年では，こうした長期補助の障害となる合併症，とくに血栓形成を最小限に抑制しうるさらなる装置改良が期待される．また，小型化や取り扱いの簡便化など，院外使用を中心に考えた仕様へと発展させていく必要がある．その結果としてより長期の安全でQOLの高い補助が可能となれば，現在の心臓移植へのブリッジという役割にとどまらず，永久的補助を視野に入れた，より幅広い心不全患者への装着も可能となるう．

2006年12月までに，当センターでは拡張型心筋症，虚血性心筋症をはじめとする慢性期の末期重症心不全患者82例に対し，補助人工心臓植え込みを行った．人工心臓の内訳は，Toyobo-NCVC73例，Novacor 4例，HeartMateVE 3例，EVAHEART 2例であった．装着後の成績は，自己心機能の回復による離脱が9例（装着期間平均 187 ± 71 日），国内，渡航を含む移植へのブリッジが27例（同 645 ± 354 日），装着中死亡が37例（同 430 ± 361 日）で，他の9例が現在補助中（同 622 ± 173 日）である．また，装着後1年および2年の累積生存率はそれぞれ70.5%，

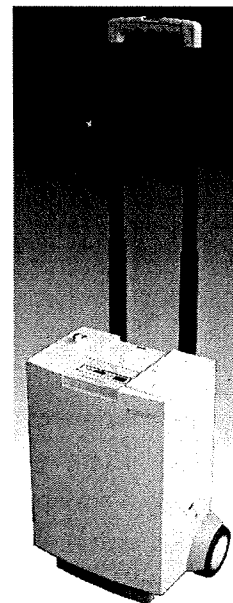


図1 軽量化した Mobart-NCVC 型 体外式補助人工心臓駆動装置

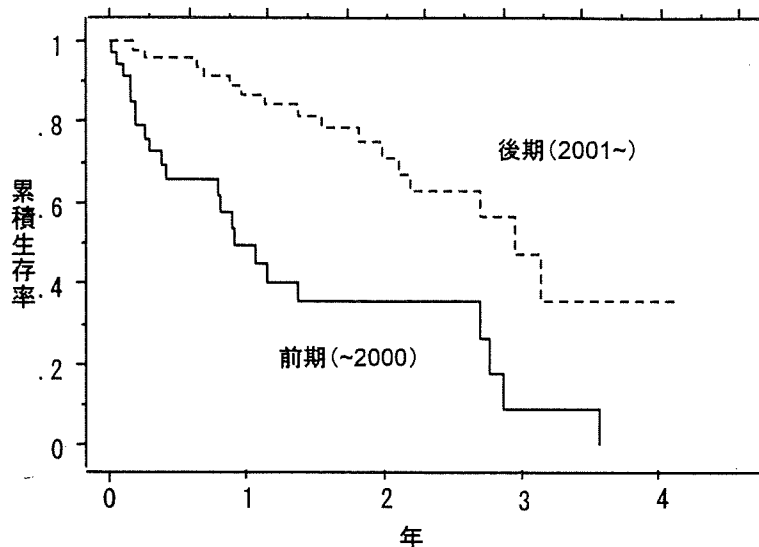


図2 補助人工心臓植え込み後の累積生存曲線, 前後期での比較

54.6%であり, 死亡例の多くは血栓塞栓による脳合併症と感染で失っているが, その成績は抗凝固療法の改善や補助療法の改良などにもない近年改善しており, 2000年以前の前期と2001年以降の後期で比較すると有意差をもって後期で良好な結果となっている ($p < 0.001$) (図2)。

[文献]

1) Suma H, Fukumoto H, Takeuchi A. Coronary artery bypass grafting by in situ right gastroepiploic artery: basic study and clinical application. *Ann Thorac Surg* 1987; 44: 394-7.
 2) Lev-Ran O, Braunstein R, Sharony R et al. No-touch aorta off-pump coronary surgery: the effect on stroke. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;

129: 307-13.
 3) Oliveira SA, Lisboa LA, Dallan LA et al. Minimally invasive single-vessel coronary artery bypass with the internal thoracic artery and early postoperative angiography: midterm results of a prospective study in 120 consecutive patients. *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 505-10.
 4) Wiklund L, Bonilla LF, Berglin E. A new mechanical connector for distal coronary artery anastomosis in coronary artery bypass grafting: a randomized, controlled study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 129: 146-50.
 5) 山崎健二, 木原信一郎, 斎藤聡ほか. 体内植込み型人工心臓 EVAHEART. *人工臓器* 2005; 34: S-90.

Future Strategy to Overcome Cardiovascular Diseases : Surgery

Toshihiro Funatsu, Junjiro Kobayashi

Abstract Surgical management of cardiac disease continues developing in the last decade, and it become safer and reliable. However, there remain several issues to be resolved toward the next decade, especially concerning about surgical invasion. The purpose in next step in cardiac surgery would be the reduction of surgical risk and stress. Introduction of robotic assisted system and application of small skin incision would be the basis of our strategy in cardiac surgery toward next decade.

Graft design strategies with optimum antegrade bypass flow in total arterial off-pump coronary artery bypass

Hiroyuki Nakajima*, Junjiro Kobayashi, Osamu Tagusari, Kazuo Niwaya, Toshihiro Funatsu, Alaa Brik, Toshikatsu Yagihara, Soichiro Kitamura

Department of Cardiovascular Surgery, National Cardiovascular Center, 5-7-1 Fujishirodai, Suita, Osaka 565-8565, Japan

Received 21 August 2006; received in revised form 20 October 2006; accepted 14 November 2006; Available online 20 December 2006

Abstract

Objective: In arterial conduits, graft flow is one of the major determinants of long-term patency. We sought to delineate the effect of strategy for graft arrangement and design to three-vessel disease by evaluation of the dominant flow direction in each segment of a bypass graft. **Materials and methods:** We reviewed coronary angiograms of 1571 bypass grafts in 395 patients who underwent total arterial off-pump coronary revascularization without aortic manipulation for three-vessel disease since December 2000. The graft flow graded as A (antegrade), B (competitive), C (reverse), and O (no flow = occlusion). The current arrangement and design has been introduced since March 2003, and consists of the in-situ left internal thoracic artery (ITA) to the anterior descending artery and the composite I-graft of the right ITA and radial artery to the left circumflex (LCX) and right coronary artery (RCA) territories. Either clockwise or counterclockwise orientation, the I-graft was chosen to achieve a sufficient antegrade flow. Group I consisted of 181 patients with a single in-situ ITA as a composite Y-graft. Group II consisted of 214 patients with bilateral in-situ ITAs, which subdivided into Subgroup II-A consisted of 80 patients with bilateral in-situ ITAs until February 2003, and Subgroup II-B consisted of 134 patients with bilateral in-situ ITAs since March 2003. **Results:** The number of distal anastomoses was 3.52 ± 0.63 in Group I, and 4.36 ± 0.83 in Group II, respectively ($p < 0.0001$). The overall graft patency rate was 98.6% (1549/1571), and there was no significance different between the groups. The rate of grade A in Group II was 863/933 (92.5%) and was significantly higher ($p = 0.049$) than that of Group I 572/638 (89.7%). The rate of functioning bypass in Subgroup II-B was (95.8%) 568/593, and was significantly higher ($p = 0.03$) than that in Subgroup II-A (92.4%) 314/340. In Subgroup II-B, 233/268 (86.9%) of the conduits had completely grade A bypass flow, and this ratio was significantly higher ($p = 0.04$) than that in Subgroup II-A (79.4%) 127/160. **Conclusion:** Usage of bilateral ITAs and selecting the orientation of the I-graft to LCX and RCA branches provide maximal distal anastomotic sites with satisfactory graft patency rate, and simultaneously minimized the incidence of reverse and competitive flow.

© 2007 European Association for Cardio-Thoracic Surgery. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Off-pump; CABG; Arterial graft; Angiography

1. Introduction

Coronary artery revascularization was first performed on beating hearts [1]. Off-pump CABG combined with a no-aortic-touch technique has been accepted as an effective procedure to avoid the neurologic and aortic complications, and to reduce the operative risk. A composite graft using in-situ and free grafts is necessary for complete revascularization in patients with multi-vessels disease, and the arterial graft is commonly used because of its beneficial characteristics in terms of expectancy of both graft patency and improved late outcome [2].

In the arterial graft, circumstances of the blood flow in the graft lumen may be an important determinant for the

durable patency. It has been reported that occlusion or string sign in the arterial graft is closely correlated with the insufficiency of the bypass flow, which represents competitive and reverse flow. It can occur either when the pressure capacity of the bypass graft is not enough; or the intraluminal pressure in the native coronary artery is relatively high due to the moderate stenosis of the native coronary artery. The previous study showed that reverse flow in the non-individual conduit had a significant correlation with the presence of moderately stenotic right coronary artery (RCA) and more than four target coronary branches for a single in-situ internal thoracic artery (ITA) [3]. In addition, the management of a coronary branch with critical stenosis and the strategy for the graft arrangement play essential roles for blood flow distribution [4].

The objectives of this study were (1) to compare the bypass flow in different bypass graft configurations for complete revascularization of the three-vessel territories

* Corresponding author. Tel.: +81 6 6833 5012; fax: +81 6 6872 7486.
E-mail address: hnakajim@hsp.ncvc.go.jp (H. Nakajima).

using the flow grading system and (2) to evaluate the different strategy for graft arrangement and design.

2. Materials and methods

2.1. Study population

Between December 2000 and June 2005, 395 consecutive patients (male; 321, female; 74, mean age; 66.1 ± 9.1 years) underwent off-pump complete revascularization for three-vessel disease with arterial grafts (Table 1). Patients were excluded if they (i) had a bypass graft of the in-situ gastroepiploic artery or the saphenous vein, (ii) had individual grafts only, or (iii) did not undergo postoperative coronary angiography.

All patients underwent pre- and 2-week postoperative coronary angiographies, which were evaluated by the cardiologist for the native coronary artery stenosis and the graft patency, respectively.

The evaluation of graft patency is based on the concept of flow grading system (Table 2). A patent graft meant that the graft had a complete continuity of the graft lumen in the overall length from the subclavian artery to the target coronary branch, irrespective of the flow direction.

Grade O; (occlusion) was defined as the continuity of the graft lumen was interrupted at any level until the target coronary branch.

Grade A; means that antegrade graft flow was found in most of the multi-plane ITA angiography. Grade B; (competitive flow) defined as a situation in which the target vessel was slightly opacified from the ITA injection, and the bypass graft did fill by retrograde flow from the native coronary artery injection. Grade C; (reverse flow) the distal anastomotic site was not opacified from the ITA graft injection at all, but it did fill clearly by retrograde flow from the native coronary artery injection. Flow grade was recorded for each target coronary branch. Any bypass graft graded as occluded or having reverse flow was considered not functioning because it did not contribute to coronary perfusion and relief of ischemia in the target region. A patent bypass without reverse flow was graded as functioning, and the rate of functioning grafts was defined as the proportion of functioning bypass grafts to the total number of bypass grafts. The definition of terms used in the present study is as follow. The in-situ ITA graft is an ITA, which was divided only at its distal portion. A composite graft is a bypass conduit consisting of one in-situ graft and a free graft anastomosed to it (in an end to end, end to side, or side to side fashion). An individual bypass was defined as a bypass conduit having one distal anastomoses and one in-situ graft. This included the straight composite grafts; i.e. I-graft, to one target coronary branch. A bypass conduit having two or more distal anastomosis, such as a sequential, Y-, or K-graft, was defined as non-individual.

Table 1
Baseline characteristics

	Group I (single ITA)	Group II (bilateral ITAs)	p value, Group I versus II
No. of patients	181	214	
Age (years)	70.3 ± 7.3	62.5 ± 9.0	<0.0001
Male/female	140/41	181/33	0.07
Hypertension	106 (59%)	108 (50%)	0.11
Hyperlipidemia	89 (49%)	117(55%)	0.28
Diabetes	76 (42%)	84 (39%)	0.58
End-diastolic volume index of LV (ml/m ²)	84.4 ± 23.8	89.4 ± 33.3	<0.0001
Ejection fraction of LV (%)	48.0 ± 10.8	46.0 ± 12.9	0.005
Total distal anastomoses	638	933	
Bypass conduits used			
Individual (target branch = 1)	0	142	
Non-individual (target branches > 2)	181	286	
In situ ITA sequential	0	36	
Composite Y-graft	160	88	
Composite K-graft	21	15	
Composite I-graft	0	147	
Total	181	428	

ITA; internal thoracic artery LV; left ventricle.

Table 2
Concept of flow grading

	Flow grade			
	A	B	C	O
Flow direction	Antegrade	Competitive	Reverse	No-flow
Patency	Patent	Patent	Patent	Occluded
Function	Functioning	Functioning	Non-function	Non-function
Durability	Yes	No	No	No

Table 3
Baseline characteristics

	Subgroup II-A (~Feb. 2003)	Subgroup II-B (Mar. 2003~)	p value, Group B-1 versus B-2
No. of patients	80	134	
Age (years)	60.6 ± 8.2	63.6 ± 9.4	0.02
Male/Female	68/12	113/21	0.90
Hypertension	43 (54%)	65 (49%)	0.46
Hyperlipidemia	49 (61%)	68 (51%)	0.14
Diabetes	32 (40%)	52 (39%)	0.86
End-diastolic volume index of LV (ml/m ²)	92.9 ± 35.1	87.7 ± 32.0	0.27
Ejection fraction of LV (%)	46.5 ± 13.9	45.6 ± 12.2	0.67
Total distal anastomoses	340	593	
Bypass conduits used	160 (100%)	268 (100%)	
Individual (target branch = 1)	44 (27.5%)	98 (36.6%)	0.053
In situ ITA	27 (16.9%)	93 (34.7%)	<0.0001
Composite I-graft	17 (10.6%)	5 (1.9%)	<0.0001
Non-individual (target branches >1)	116 (72.5%)	170 (63.4%)	0.053
In situ ITA sequential	10 (6.3%)	26 (9.7%)	0.21
Composite Y-graft	49 (30.6%)	39 (14.6%)	<0.0001
Composite K-graft	13 (8.1%)	2 (0.7%)	<0.0001
Composite I-graft	44 (27.5%)	103 (38.4%)	0.02
ITA-RA-LCX-RCA (clockwise)	0	67 (25.0%)	<0.0001
ITA-RA-RCA-LCX (counterclockwise)	44 (27.5%)	36 (13.4%)	0.0003

ITA; internal thoracic artery LV; left ventricle LCX; left circumflex artery RA; radial artery RCA; right coronary artery.

The design and arrangement of the bypass conduits were primarily determined by the operative risk and special relationship of the target sites (Tables 1 and 3). Group I consisted of 181 patients with single in situ ITA graft as Y- or K- graft. In Group II, 214 patients had bilateral in situ ITA in the combination of individual, Y-, K- or I-graft. Group II was divided into two subgroups by the date of surgery, because the current standard strategy has been introduced in March 2003, aiming at preventing high-risk situations of reverse and competitive flow [4]. Subgroup II-A consisted of 80 patients until February 2003, and Subgroup II-B consisted of 133 patients between March 2003 and June 2005 (Table 3). In the standard technique in Subgroup II-B, one in-situ ITA, usually the left, supplies to the left anterior descending artery (LAD) territory and an I-graft of the contra lateral ITA, usually the right, and the radial artery to the circumflex (LCX) and the right coronary artery (RCA) in a clockwise orientation, which meant a side to side anastomosis with the LCX branch and an end to side anastomosis to the RCA branch (Fig. 1). The counterclockwise orientation was occasionally chosen to avoid grafting to the RCA branch with 75% stenosis at the end of

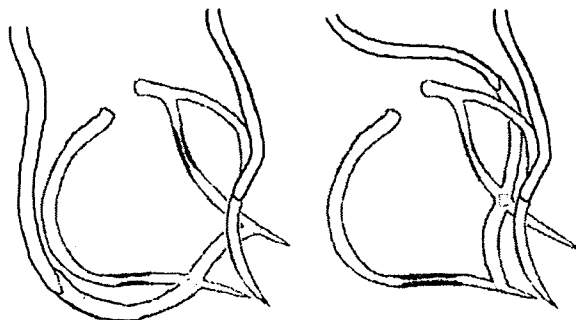


Fig. 1. A composite I-graft in the clockwise (right) and counterclockwise orientation (left).

the conduit, because reverse flow is commonly found at the distal end of the conduit [4]. In Subgroup II-A, the I-graft was used only in a counterclockwise orientation for the safety of redo operation in the future (Table 3). When the bypass conduits had grade A bypass flow to all target coronary branches, we considered that the design of the bypass conduit was successful.

Through a standard median sternotomy, the pericardial cavity was widely opened and deep pericardial sutures were placed for traction. Heparin was administered and activated coagulation time was maintained at more than 300 s until completion of anastomosis. In the present study, the ITA was harvested using either conventional (combined with vein and fascia), or semiskeletonized (partially combined with vein), or skeletonized technique [5]. All the distal portion of ITA grafts were larger than 1.5 mm in diameter assessed by insertion of 1.5 mm flexible probe. Allen's test was routinely performed before harvesting the radial artery and capillary refilling of the palm within 10 s was judged as negative [6]. Irrespectively to patient's age, the radial artery of non-dominant forearm was harvested by using an ultrasonic scalpel, treated with a papaverin hydrochloride solution [7], and was divided into two pieces when necessary. In the side-to-side anastomosis, a longitudinal arteriotomy of 6–10 mm was performed on both native coronary artery and arterial graft, and it was long enough for anastomosis without turbulence. The angle of the graft placement was adjusted to 0–90 degree to save the length and avoid kinking.

The distal anastomoses were carried out while stabilizing the coronary vessels using Octopus II+ or III stabilizer (Medtronic, Minneapolis, MN) and a retract-O-tape (Quest Medical, Inc., Allen, TX) was placed for temporary proximal occlusion. The surgical field was maintained by CO₂ blower and an intracoronary shunt; Anastflo (Edwards Lifesciences, Irvine, CA) for coronary artery of 1.5 and 2.0 mm in diameter, Clearview (Medtronic, Minneapolis, MN) for coronary artery 1.25 and 1.0 mm in diameter, was used.