

## 完全内視鏡下心拍動下冠動脈バイパス術

富田 重之 飯野 賢治 東谷 浩一 氏家 利巳 新井 禎彦 渡邊 剛

**要 旨**：1999年より完全内視鏡下心拍動下冠動脈バイパス術開始し、さらに2004年よりオリンパス社製新型3D内視鏡システムを開発導入し臨床応用してきた。本システムにより高解像度の立体像が得られ、以前の2D内視鏡使用時と比較した結果、LITA採取時間は有意に、吻合時間は大幅に短縮した。しかしマニュアル鉗子操作ではワーキングスペース確保、術野展開に限界があると考えており、ロボットシステムの導入が待たれるところである。(J Jpn Coll Angiol, 2007, 47: 65-70)

Key words: endoscopic beating-heart surgery, 3D endoscopic imaging system

### 序 言

内視鏡による外科手術の進歩は、内視鏡技術や内視鏡用手術機器の発展に負うところが大きい。他の外科領域において、内視鏡技術はこの10年で腹腔鏡下胆嚢摘出術に始まり飛躍的な進歩を遂げている。一方で心臓外科領域では、人工心肺の問題、縦隔という限られた空間に心臓が位置するなどの理由から内視鏡手術は極めて遅れており、わずかに冠動脈バイパス術(coronary artery bypass grafting: CABG)、僧帽弁手術に限られているのが世界の現状である<sup>1-4)</sup>。われわれは1999年より世界に先駆けて閉鎖胸腔内での完全内視鏡下心拍動下冠動脈バイパス術(BeTEC: beating-heart totally endoscopic CABG)の臨床応用に成功した<sup>5)</sup>。しかし本邦では冠動脈治療においてはカテーテルインターベンション(percutaneous coronary intervention: PCI)が主流であり、左前下行枝(left anterior descending artery: LAD)1枝病変に対する外科手術適応患者は非常に限られること、さらに直径2~3mmの冠動脈を吻合するには内視鏡技術の精度が低いことなどが原因で、内視鏡下バイパス術は発展しなかった。そこでわれわれは2004年よりオリンパス社製の3D内視鏡システムを開発導入し、さらに安全で正確な内視鏡バイパス術を目指してきた。現在までの臨床経験から胸腔鏡下の冠動脈バイパス術の現状(グラフィック採取方法から吻合の実際まで)と将来展望について報告する。

### 対象と方法

#### (1) 対象

2001年1月から2004年12月までの4年間に内視鏡下に左内胸動脈(left internal thoracic artery: LITA)を採取した症例および内視鏡下にLITA-LAD吻合を行った22例(男性16例、女性6例)を対象とした。

#### (2) 内視鏡技術の進歩

最初にBeTECを臨床応用した時点では、一般の消化器外科手術に用いる2D内視鏡システムを使用していたが、解像度、明るさ、立体感把握の点から冠動脈バイパス術に施行するには十分とはいえない精度であった。立体感認知の精度を高めるため、2002年よりオリンパス社製の眼鏡型3D内視鏡システムを使用した。本システムの特徴は、特殊眼鏡をかけて内視鏡モニターを見ることにより、自然な3D立体視野が得られる点である。しかし、本システムでも遠くのモニターを見ることになるため十分な明るさが得られず、また術者に無理な手術姿勢を強いることとなり、ひいては眼疲労につながる欠点があった。そこでさらに3Dのシステムを発展させ、極めて自然な立体視野が得られる新型の3D内視鏡システムをオリンパス社と共同で開発し、臨床応用した。

本システムの最大の特徴は、術者が自由アームに吊

り下げられたビューアーを覗き込むことにより立体視が得られる点と、3D内視鏡本体が、圧縮空気により自由に可動する多節アーム支柱により固定されているため、従来のように内視鏡を保持する助手がいらない点である( Fig. 1 )。

### (3) 手術手技

#### 1) 麻酔と体位

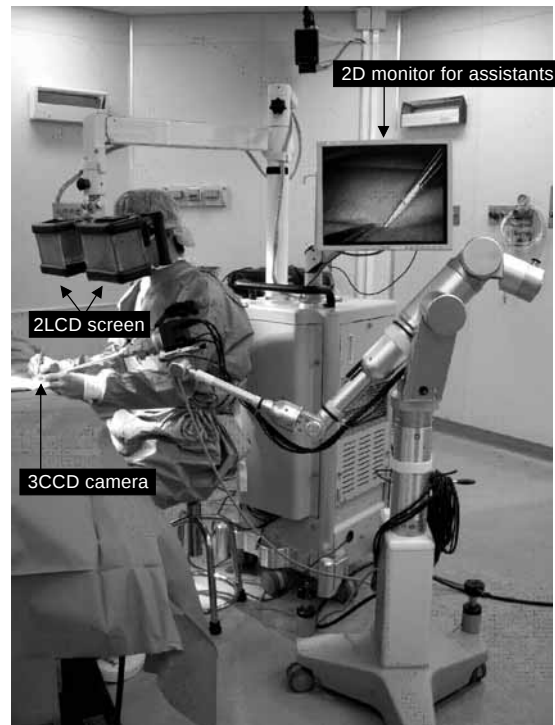
麻酔は、左肺を虚脱させるためにダブルルーメンチューブを挿入し、分離肺換気にて行った。体位は右半側臥位( 約20 ~ 30° )とし、右手の鉗子操作が自由にできるように左上肢を挙上もしくは手術台下方へ垂れ下がるように固定した。また、患者の胸郭の形状により、LITAが剥離しやすいように手術台を適宜ローテーションした。

#### 2) ポート挿入

左肺虚脱後ソラコポートを挿入するが、以前使用していた2D内視鏡使用時には、第3, 5 肋間の前腋窩線に5mmの作業鉗子用ソラコポートを、鎖骨中線のやや外側の第5または第6 肋間に11.5mmの胸腔鏡用ポートを挿入していた。しかし、新型3D内視鏡に変えてからは第3 肋間、第5もしくは第6 肋間の前腋窩線に鉗子用ポートを、第4もしくは第5 肋間の中腋窩線に胸腔鏡用ポートを挿入した( Fig. 2 )。いずれの場合でも、マニュアル鉗子の操作性を十分にさせる鉗子、内視鏡の配置が必要であった。

#### 3) LITAの剥離

電気メス、ハーモニックスカルペルいずれの場合でも、柄の長い胸腔鏡用で剥離を行った。また、左肺虚脱に加えて気胸装置( CO<sub>2</sub> insufflation )を活用し、人工的に胸腔内圧を陽圧( 6 ~ 8mmHg )にすることでLITAの剥離を容易とした。人工気胸の利点は、肺が十分に虚脱し心臓が背側に圧排されるので視野が良く、特に心臓前面の第4, 5, 6 肋間付近のLITA剥離が容易になることである。実際のLITAの剥離は、まず第2 肋間あたりから、LITA外側( 患者左側 ) 約1cmのラインで筋膜を切開した。中枢に向かって第1 肋間まで剥離したところで今度は末梢に向かう。第3 肋間あたりまで脂肪もなく良い視野を保てる。第4 肋間付近はpericardial fatが胸壁と癒合していてLITAを確認できないことがある。そのような場合は、外側から脂肪を削ぎ落とすようにして視野を確保し、中枢から剥離してきたLITAを確認



**Figure 1** New 3D imaging system. The system consists of one 3CCD camera, two 2LCD viewing screens for an operator and one 2D monitor for the surgical assistants.



**Figure 2** Three ports placement for LITA harvesting.

しながら剥離を進めた。さらに末梢にいくとLITAは肋間筋に埋まっているので、剥離は大きくpedicleとして筋肉ごと胸壁から落とした。すべての分枝は電気メスあるいはハーモニックスカルペルで焼灼した。

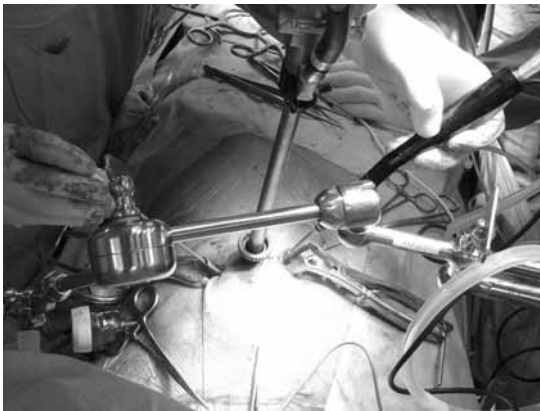


Figure 3 Three ports placement for LITA-LAD anastomosis.

#### 4 冠動脈吻合

グラフトを採り終えたら同じ鉗子、内視鏡ポートのまま心膜を切開した。LADの走行を確認した後、胸壁からLAD直上にマーキング針を胸腔内に挿入し同部位(多くは第4もしくは第5肋間鎖骨中線上になる)を皮膚切開し、吻合の際の10mm内視鏡ポートとした。さらにそのポートの左右同一肋間に吻合時鉗子、持針器用の10mmポートを2カ所置く。LADを十分に安定し固定できるよう、切開した心膜は数本のendoclose hook(Tyco Healthcare社製)を使用して胸壁に吊り上げた。また、吻合部の固定は、最初にLITA剥離時に使用した第6肋間の5mmポートの穴を少し拡大し、その穴から挿入できるように独自開発した胸腔鏡用のflexible suctionタイプのスタビライザーを用いた。すべてのポートと内視鏡、スタビライザーアームは手術台に固定した自由多枝の固定器に保持し、術野の安定化を図った(Fig. 3)。ターゲットとなるLADが固定され、吻合の準備が整った状態で、まずLITA断端のトリミングを行った。胸腔という限定されたスペースでの作業となるため、LITAは細い5-0ポリプロピレン糸で保持し胸壁外にその断端を誘導しておくことと吻合が容易であった。また、LITAの一時血流遮断には独自作製したプラスチック性のディスプレイザブルend-occluderを使用した。

LADを剥離して吻合部中枢側冠動脈をシリコン製血管テープにて遮断した後、冠動脈を切開した。通常の心拍動下冠動脈バイパス術同様に、8-0モノフィラメント糸にて連続縫合を行った(Fig. 4)。内視鏡を使用して

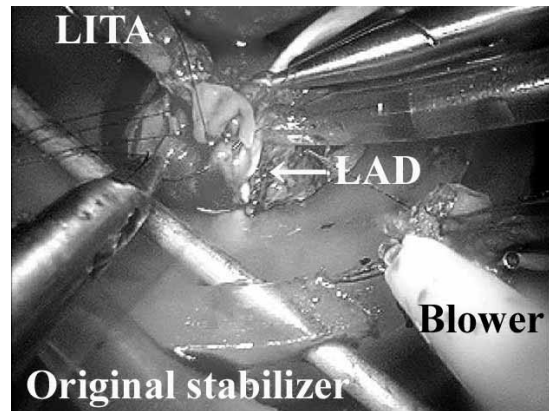


Figure 4 Endoscopic view of the LITA-LAD anastomosis.

狭い胸腔内という空間での吻合となるため、無血静止術野の確保、糸のからみ、糸切れ、グラフト/冠動脈のcuttingなどのトラブルなく、スムーズに吻合を終了することが重要である。特に無血視野の確保にはCO<sub>2</sub>ブローアが必須となるが、胸腔内でのブローア操作は非常に困難であった。われわれは吻合中の冠動脈末梢側からのback flowを低減し、さらに冠動脈遮断中の末梢心筋の虚血を予防するために、能動的冠灌流システム(CAPS: coronary active perfusion system)を使用した<sup>6)</sup>。これにより冠動脈吻合を時間を気にすることなく正確に行うことが可能となった。

### 結 果

3種類の内視鏡システムを使用し、22例のLITA採取を行った。全例においてLITAの損傷等は認めず十分な長さのLITA採取が可能であった。22例中7症例は、左冠動脈系の多枝病変に対し2本以上のバイパスが必要であったため、小切開冠動脈バイパス術(minimally invasive direct coronary bypass grafting: MIDCAB)、もしくは左側開胸によるバイパス術を最初から予定した。内視鏡下LITA-LAD吻合は14例に試み、9例に完遂をみたが、5例はLITA採取後内視鏡下にLITA-LAD吻合を試みたものの、視野展開の悪さ、ワーキングスペースが十分でないこと、LADが固定できないという理由で、MIDCABに移行した(Table 1)。また初期の2D内視鏡使用時にはLITA採取に約1時間要していたが、新型3D内視鏡使用により平均36分に有意に短縮した。LITA-LAD吻合時間も、初期が平均34分であったのに

Table 1 Operative techniques data

| Technique                       | 2D | Glasses 3D | New 3D | Total |
|---------------------------------|----|------------|--------|-------|
| LITA harvesting                 | 7  | 8          | 7      | 22    |
| Endoscopic LITA-LAD anastomosis | 4  | 4          | 3      | 9     |
| Elective MIDCAB                 | 1  | 2          | 4      | 7     |
| Conversion to MIDCAB            | 2  | 2          | 1      | 5     |

2D: two-dimensional endoscopic image, 3D: three-dimensional endoscopic image, LITA: left internal thoracic artery, LAD: left anterior descending artery, MIDCAB: minimally invasive direct coronary artery bypass

対し、3D内視鏡使用後は平均17分間に短縮した(Fig. 5)。BeTECを最初から予定した14例の術後成績は、肋間動脈からの出血により、再開胸を必要とした症例が1例で、その他の合併症は認めなかった。術後グラフト開存率は100%であった(Table 2)。

### 考 察

完全内視鏡下CABGは、心臓という解剖学的位置の特異性や、冠動脈吻合術の繊細さ、そして心臓手術では人工心肺・心停止が必須であったことなどから、他の外科領域内視鏡手術に比べ非常に立ち遅れている。1995年にBenetti<sup>7)</sup>が左前胸部小開胸による心拍動下冠動脈バイパス術(MIDCAB)を最初に報告し、その後人工心肺を使用しない正中切開による心拍動下冠動脈バイパス術(OPCAB: off-pump CABG)が盛んに施行されるようになり、ようやくCABGにも低侵襲化が望まれるようになってきた。

われわれは1999年より閉鎖胸腔内での胸腔鏡下OPCABに取り組んできた<sup>1)</sup>。現時点で本術式の適応はLAD 1枝病変で、LITA-LAD吻合を行う症例のみとしている。本術式開始初期は一般外科で使用する2D内視鏡システムを使用していたが、解像度や明るさの問題、さらに立体感覚がとりづらいなどの問題があり、LITA採取、吻合はかなりの時間が必要であった。2003年よりこの問題を改善するため、新型3D内視鏡システムをオリンパス社と共同開発した。

このシステムの特徴の一つは、吊り下げ式の2枚の液晶ビューアーを双眼で覗き込むだけで、非常に明るい3D術野が極めて自然な形で見られることである。またもう一つの特徴は、液晶ビューアーが上部から釣り下がった形となっているために、術者は座った楽な姿勢

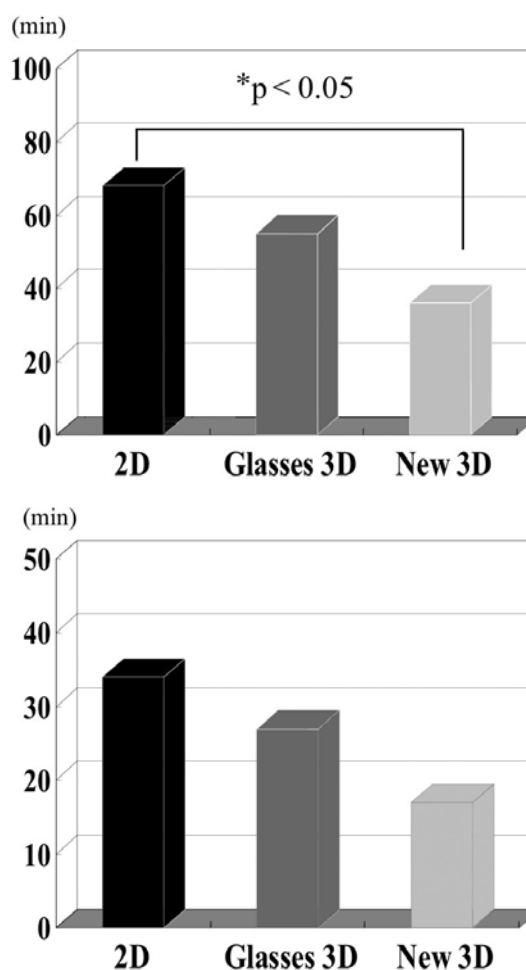


Figure 5 LITA harvesting and anastomotic time.

A: LITA harvesting time.

B: Anastomotic time of LITA to LAD.

2D: two-dimensional endoscopic image, 3D: three-dimensional endoscopic image

\*:  $p < 0.05$ , compared with LITA harvesting time using 2D image

Table 2 Operative results

| Technique         | BeTEC (n = 9) | Conversion to MIDCAB (n = 5) |
|-------------------|---------------|------------------------------|
| Complication      | 0             | 1*                           |
| Graft patency (%) | 100           | 100                          |
| Mortality         | 0             | 0                            |

BeTEC: beating-heart totally endoscopic CABG, MIDCAB: minimally invasive direct coronary artery bypass

\*: bleeding from the intercostal artery

で手術ができることである。今回のBeTECの手術成績は、単独術者によるものであり、技術習得のlearning curve要素が加味されているとは考えられるが、新型3Dシステムの使用により、有意にLITA採取時間が、および吻合時間が大幅に短縮した。また、既存の手術用ロボットに比較して低価格で、機械の準備が短時間で済む利点もある。

内視鏡技術の進歩とともにBeTECを施行するうえでもう一つの重要な点は、いかに吻合術野を固定し、無血視野を得るかにある。われわれは独自に作製したflexible suctionタイプのスタビライザーを使用しているが、まだ術野固定には十分とはいえない。近年LADのみならず回旋枝 (circumflex: CX) への吻合も見据えたスタビライザーが開発応用されているが<sup>8,9)</sup>、今後小切開ポートより挿入でき、自由に術野を固定できるスタビライザーの開発は必須である。また、吻合部の無血を得るためのCO<sub>2</sub>ブローアに関して、われわれの吻合では胸壁の小孔よりマニュアル操作で行っているが、胸腔内という狭い空間での作業となるため、スタビライザーと一体となった器具の開発をしていかなければならないと考えている。

現時点でのBeTECは肋間に 3 カ所の小切開を置いて、マニュアル操作で行っているが、マニュアルによる鉗子、持針器操作では可動性に大幅な制限があるため、LADを左右から挟む形でないと胸腔内吻合操作は極めて困難となる (Fig. 4)。そのためにLAD直上ポートに内視鏡を固定し、さらにその左右 2 カ所にポートが必要となる。この問題を解決するには鉗子、持針器の可動性拡大が必要となるが、それにはda Vinciなどのロボット支援システムの非常に自由な鉗子可動性がある。ロボットを使用すれば、最初にLITA採取で使ったポートをそのまま利用し、さらにスタビライ

ザー用のポートを 1 カ所追加するのみで吻合が可能となる<sup>10,11)</sup>。

## まとめ

内視鏡下OPCABに世界に先駆けて取り組み、臨床経験してきた。新型3D内視鏡システムは非常に有用なデバイスであり、正確で安全な冠動脈バイパス術を可能とする。しかし、マニュアル操作での鉗子の可動性の問題や、胸腔内という非常に狭いワーキングスペースで作業を強いられる点から、さらに進んだ内視鏡バイパス術、内視鏡心臓手術を可能にするためには手術用ロボットの導入が不可欠であると思われる。将来完全内視鏡手術が安全かつ正確に短時間に施行できるようになれば、1泊2日での手術治療も夢ではないと考えられる。

## 文 献

- 1) Mohr FW, Falk V, Diegeler A et al: Computer-enhanced coronary artery bypass surgery. J Thorac Cardiovasc Surg, 1999, 117: 1212–1214.
- 2) Falk V, Diegeler A, Walther T et al: Total endoscopic computer enhanced coronary artery bypass grafting. Eur J Cardiothorac Surg, 2000, 17: 38–45.
- 3) Kappert U, Cichon R, Schneider J et al: Technique of closed chest coronary artery surgery on the beating heart. Eur J Cardiothorac Surg, 2001, 20: 765–769.
- 4) Damiano RJ Jr, Ehrman WJ, Ducko CT et al: Initial United States clinical trial of robotically assisted endoscopic coronary artery bypass grafting. J Thorac Cardiovasc Surg, 2000, 119: 77–82.
- 5) Watanabe G, Takahashi M, Misaki T et al: Beating-heart endoscopic coronary artery surgery. Lancet, 1999, 354: 2131–2132.
- 6) Kamiya H, Watanabe G, Doi T et al: Efficacy and adverse

- effects of the coronary active perfusion system—from a viewpoint of perfusional timing. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2003, **9**: 117–122.
- 7) Benetti FJ, Ballester C: Use of thoracoscopy and a minimal thoracotomy, in mammary-coronary bypass to left anterior descending artery, without extracorporeal circulation. Experience in 2 cases. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 1995, **36**: 159–161.
  - 8) Grunderman PF, Budde R, Beck HM et al: Endoscopic exposure and stabilization of posterior and inferior branches using the endo-starfish cardiac positioner and the endo-octopus stabilizer for closed-chest beating heart multivessel CABG: hemodynamic changes in the pig. *Circulation*, 2003, **108** (Suppl 1): II34–II38.
  - 9) Subramanian VA, Patel NU, Patel NC et al: Robotic assisted multivessel minimally invasive direct coronary artery bypass with port-access stabilization and cardiac positioning: paving the way for outpatient coronary surgery? *Ann Thorac Surg*, 2005, **79**: 1590–1596.
  - 10) Bolton JW, Connally JE: Results of a phase one study on robotically assisted myocardial revascularization on the beating heart. *Ann Thorac Surg*, 2004, **78**: 154–158.
  - 11) Bonatti J, Schachner T, Bernecker O et al: Robotic totally endoscopic coronary artery bypass: program development and learning curve issues. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2004, **127**: 504–510.

## Totally Endoscopic Off-pump Coronary Artery Bypass Surgery

Shigeyuki Tomita, Kenji Iino, Kohichi Higashidani, Toshimi Ujiie, Sadahiko Arai, and Go Watanabe

Department of General and Cardiothoracic Surgery, Kanazawa University  
Graduate School of Medical Science, Kanazawa, Japan

**Key words:** endoscopic beating-heart surgery, 3D endoscopic imaging system

Since 1999, we have performed totally endoscopic beating-heart coronary artery bypass. We have developed a new 3 dimensional (3D) endoscopic imaging system and used it successfully in three patients. Average times for LITA harvesting and anastomosis with the new 3D system shortened in comparison with a conventional 2D endoscopic imaging system. The new 3D endoscopic imaging system facilitates quick and precise anastomosis and is a useful device for endoscopic coronary bypass surgery. However, there are some limits in manual manipulations for the endoscopic coronary bypass. A robotic surgery is more advantage about the flexibility of tips of forceps. Our experience suggests a robotic surgery system is indispensable in performing safe and accurate endoscopic coronary bypass surgery. (*J Jpn Coll Angiol*, 2007, **47**: 65–70)