

表6 狭窄のないグラフト早期開存率

材料・部位	非使用群 (n=81)	非使用群 (n=86)	P値
グラフト材料			
内胸動脈	116/125(93%)	135/144(94%)	0.81
橈骨動脈	110/116(95%)	128/129(99%)	0.055
うちコンポジット	56/59(95%)	69/72(96%)	>0.99
胃大網動脈	19/22(86%)	22/23(96%)	0.34
大伏在静脈	16/17(94%)	9/9(100%)	0.99
バイパス部位			
前下行枝	118/125(94%)	124/129(96%)	>0.99
回旋枝	83/88(94%)	98/103(95%)	>0.99
右冠動脈	60/67(90%)	72/73(99%)	0.028
うち胃網動脈	18/21(86%)	19/19(100%)	0.23
全体	261/280(93%)	294/305(96%)	0.093

が得られ、心筋障害・脳障害が少なくなることが明らかとなり、人工心肺を使用しないことによる脳、心臓に対する低侵襲性を証明できました。

この研究は心臓外科領域における日本初の手術手技による前向き無作為比較試験であり、2004年のニューオリンズでのAmerican Heart Association年次集会で報告し、内外で高く評価を受け、日本心臓病学会より、Clinical Research Awardをいただきました。また、2007年にAmerican Association of Thoracic Surgeryのメンバーにさせていただくことになりました。この場を借りて、御協力いただいた諸先生方に深謝致します。

欧米と日本のOPCAB事情の差

第1回でも書いたように、OPCABの比率は日本では年々増加して60%を越えるのに対して、米国では一時20%を越えましたが、昨年は20%を切ってやや減少しています。この差について米国のDr. Puskasや英国のDr. Taggartらと2007年の冠動脈外科学会およびOPCAB研究会で話をする機会がありました。OPCABだけでなく、動脈グラフトの使用率も米国では低く、日本のCCABにおいて4分の3のグラフトが動脈グラフトであることは彼らにとって驚くべきことで、自国でも

将来のCCABはこうあるべきと考えているようです。それでは、日本との違いがどのように生じてきたのはなぜでしょうか。1つは、欧米ではCCABの術者あるいは施設チーフが60歳を越えている場合には、これまで行った心停止下のCCABから、新しい治療としてのOPCABを導入することに躊躇しがちなことです。また、日本と比べて多数の手術数をこなすために、短時間で手術を行わなければならないので、時間のかかる動脈グラフトを多数使用するOPCABが受け入れにくいこともあります。欧米では、薬物溶出ステントによるカテーテル・インターベンションが増加しても依然CCABが多数行われており、心臓内科医との競争が必要となる危機意識が低いこともあるのかもしれない。いずれにせよ、日本のOPCABを含めたCCABの技術は世界で最も優れたものであることは彼らも認めており、今後も臨床研究から得た結果を世界に発信していく必要性を感じています。

今回は、ロボット手術支援システムによる低侵襲手術と今後のCCABの展望を述べてみたいと思います。

References

- 1) van Dijk D, Nierich AP, Jansen EW, et al: Early outcome after off-pump versus on-pump coronary artery bypass surgery; results from a randomized

- study. *Circulation* **104** : 1761-1766, 2001
- 2) Angelini GD, Taylor FC, Reeves BC, et al : Early and midterm outcome after off-pump and on-pump surgery in Beating Heart Against Cardioplegic Arrest Studies (BHACAS 1 and 2) ; a pooled analysis of two randomized controlled trials. *Lancet* **359** : 1194-1199, 2002
 - 3) Nathoe HM, van Dijk D, Jansen EW, et al : A comparison of on-pump and off-pump coronary bypass surgery in low-risk patients. *N Engl J Med* **348** : 394-402, 2003
 - 4) Khan NE, De Souza A, Mister R, et al : A randomized comparison of off-pump and on-pump multivessel coronary-artery bypass surgery. *N Engl J Med* ; **350** : 21-28, 2004
 - 5) Puskas JD, Williams WH, Duke PG, et al : Off-pump coronary artery bypass grafting provides complete revascularization with reduced myocardial injury, transfusion requirements, and length of stay ; a prospective randomized comparison of two hundred unselected patients undergoing off-pump versus conventional coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* **125** : 797-808, 2003
 - 6) Légaré JF, Buth KJ, King S, et al : Coronary bypass surgery performed off pump does not result in lower in-hospital morbidity than coronary artery bypass grafting performed on pump. *Circulation* **109** : 887-892, 2004
 - 7) Cheng DC, Bainbridge D, Martin JE, et al : Does off-pump coronary artery bypass reduce mortality, morbidity, and resource utilization when compared with conventional coronary artery bypass ? A meta-analysis of randomized trials. *Anesthesiology* **102** : 188-203, 2005
 - 8) Puskas JD, Williams WH, Mahoney EM, et al : Off-pump vs conventional coronary artery bypass grafting ; early and 1-year graft patency, cost, and quality-of-life outcomes ; a randomized trial. *JAMA* **291** : 1841-1849, 2004
 - 9) Kobayashi J, Tashiro T, Ochi M, et al : Early outcome of a randomized comparison of off-pump and on-pump multiple arterial coronary revascularization. *Circulation* **112** (9 Suppl.): I338-I343, 2005

TECHNIQUE

オフポンプ冠動脈バイパス術を極める

第4回(最終回) ロボット手術支援システムによる オフポンプ冠動脈バイパス術

■ 国立循環器病センター心臓血管外科部長 小林順二郎 ■

[Director, Department of Cardiovascular Surgery, National Cardiovascular Center Junjiro Kobayashi]

外科手術支援ロボットとは

ロボット手術というと、一般の方にはなじみがなく、ロボットが自動的に手術をしてくれる手術のように思われるかもしれませんが。荒俣 宏氏の『荒俣宏の20世紀世界ミステリー遺産』(集英社, 2001年)によると、ロボットの語源は1920年チェコの作家Karel Čapek(カレル・チャペック)が、戯曲「R.U.R(エル・ウー・エル)」の中で、人に代わって労働を行う人造人間にロボットという名をつけたのが始まりとのこと。しかし、外科手術支援ロボットは、漫画の鉄腕アトムや鉄人28号、あるいはホンダのアシモやソニーのキュリオといった人の形をしたロボットでなく、マニピュレーターといって人の手の代わりをする器械で、むしろ自動車を組み立てる工作器械に似ているといえます。

外科手術支援ロボットを用いた CABG

1990年代初期のレーガン大統領時代に、米国防省で戦場の兵士に対して前線から遠く離れた外科医が手術を行う遠隔手術として開発されてい

ましたが、資金的に不十分でtechnologyとしては完成されていませんでした。民間に移って、1994年Computer Motion社がvoice-controllによる内視鏡AESOP®と外科手術ロボットシステムのZEUSTMシステムを、1996年Intuitive Surgical社がda Vinci®システムを開発したのが手術ロボットの始まりです。da Vinci®システムを用いて1997年に最初の胆嚢摘出術が行われ、1998年にはパリでDr. Carpentier, ライプツヒでDr. Mohrにより最初の僧帽弁手術と心房中隔欠損閉鎖術が施行されました。1999年には、冠動脈バイパス術(coronary artery bypass grafting; CABG)の完全内視鏡下手術(totally endoscopic coronary artery bypass; TECAB)がZEUSTMとda Vinci®システムを用いて行われています¹⁾。2003年6月にはIntuitive Surgical社がComputer Motion社を買収した後、2004年7月にCABGの手技を米国食品医薬品局(FDA)から認可されています。

第1回で述べたように、1990年代後半には人工心臓を使用すると、手術死亡・術後脳梗塞あるいは腎不全を起こす術前リスクを有する患者に対して、左小肋間開胸心拍動下に左内胸動脈(left internal thoracic artery; LITA)を左前下行枝

(left anterior descending artery ; LAD)に吻合する minimally invasive direct coronary artery bypass (MIDCAB)が始まり、1998年頃より、心臓の動きを局所的に抑えるスタビライザーと呼ばれる器具が開発されて、さらに広まるようになりました。しかし、日本ではグラフト吻合の成績が不良で、術後にカテーテル・インターベンションが必要となるなどの合併症が起きました。このためMIDCABは1998年をピークにあまり行われなくなっていました。この原因の1つとして、MIDCABでは十分な長さのLITAを採取することが困難で、LITAの細い部分での吻合となることが挙げられます。また、LITAの採取は胸腔鏡でも行われてはいましたが、心臓外科医が習熟するには時間がかかりました。

既存の胸腔鏡用の手術器具の作業軸は、挿入部のポートの部分で規定される1軸となります。これに対して、現在市販されているda Vinci®システムでは、遠隔操作可能なロボットのリストが患者の体内で自由な角度(5~7軸)に操作できるので、通常の手術以上に操作が容易となります。例えていえば、長いペンで可能なかぎり小さな円を描こうとすると、ペン先から遠く離れてペ

ンをもって描くことが難しいのに対して、ペン先近くをもてば小さな円を正確に描くことが容易であることと同じです。イメージとしては、外科医の手が患者の体に入って手術をする、昔のSF映画『マイクロ決死圏』のようなものです。

da Vinci®ロボットシステムは、高性能ロボットの先端に取り付けたリスト型鉗子類が術者の手の代わりとして、切除・縫合を行うロボット・マニピュレーターおよび三次元の内視鏡、そしてこれらをコンピューターによりコントロールするコンソールからなります(図1)。

外科手術ロボットシステムのその他のメリットとしては、コンソールが手術台から離れて操作でき遠隔手術が可能なのが挙げられます。将来は、僻地や離島での心臓手術が可能になる可能性があります。またコンソールにおける術者の手の動きに対して、3:1あるいは5:1の小さな動きとしてロボット・マニピュレーターに伝えることにより手の震えが伝わらず、血管の縫合にも有利です。さらに高画質な三次元画像をコンソールに表示し、手術画面を通常のルーペ以上に拡大することにより鮮明にみることができます。da Vinci®を使用した完全内視鏡下のTECABも現在少し行

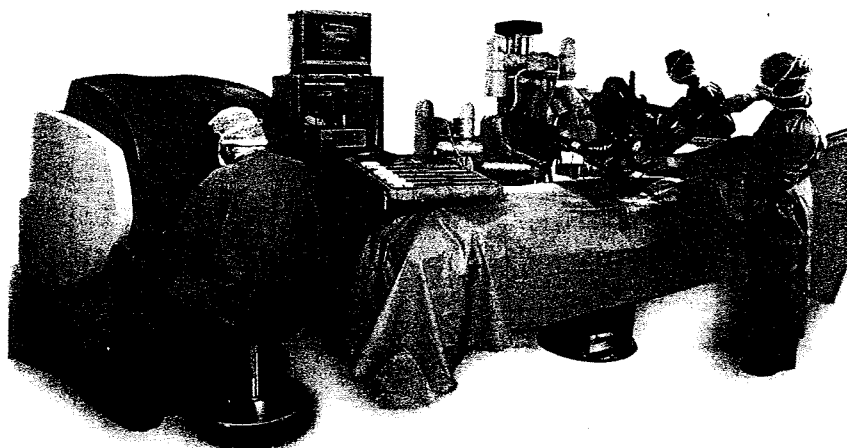


図1 da Vinci®ロボット手術システム
右からロボット・マニピュレーターおよび三次元の内視鏡、そしてこれらをコンピューターによりコントロールするコンソール。



図2 da Vinci®ロボット手術システムのトレーニング風景
左から中嶋博之医師、インストラクター、筆者。

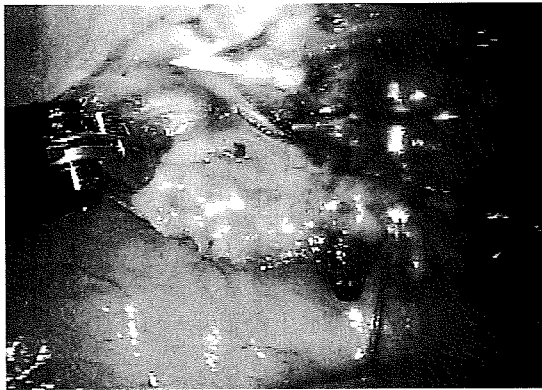


図3 da Vinci®ロボット手術システムによる左内胸動脈採取

われるようになっていますが²⁾³⁾、心拍動下のTECABは技術的にかなり困難です。ライブチヒのDr. Falkは、TECABの権威ですが、心拍動下に行くとワーキング・スペースを作ることが困難で、内視鏡の画像とロボットの操作に時間差があることから、3分の1が通常のMIDCABに移行せざるをえないと述べています⁴⁾。

国立循環器病センターでの外科手術支援 ロボットを用いたCABG

当センターへは2004年にda Vinci®システムが導入されました。2004年8月に2日間の内胸動

脈剥離を行うためのトレーニングを受けに米国テネシー州のナッシュビルにあるCentennial Medical Centerに行きました(図2)。2日間にわたり献死体を用いて両側内胸動脈の剥離を行いました。献死体を用いたトレーニングは米国では新しい手術を行う際には常識で、専門の会社から凍結されて送られてきます。死後の遺体は社会への貢献として有用に使うことをよしとする米国人の考え方がよくわかり興味深いものでした。さて、帰国して1ヵ月の準備期間の後、MIDCABにおいてLITAをda Vinci®システムで剥離しました(図3)。2007年の8月までに再手術の1例を含む18例にLITAの剥離を試みました。18例で、平均72分の剥離時間で採取ができました。80歳の方でLITAの枝を損傷して胸骨正中切開に移行しましたが、残りの17例では6~8cmの皮膚切開の左肋間開胸でMIDCABが遂行できました。術後造影では、1例でLITAの中ほどに狭窄を認めましたが、他の17例すべてのLITAが良好に開存していました。

これまで行ってきた通常のMIDCABと異なる点が2つわかりました。1つは、出血量が平均170mLと極端に少なく、術前より貧血があった腎不全の再手術例を除いて無輸血手術が容易であっ

たことです。もう1つは、肋間を必要以上に広げないためか痛みが予想以上に少ないことでした。残念ながら混合診療の問題でda Vinci®システムの使用が中断していますが、この手術を弁膜症やTECABに広げていく必要性を感じています。

OPCABの展望

多枝病変の冠疾患に対しては、薬物溶出ステントによる経皮的冠動脈インターベンション(percutaneous coronary intervention ; PCI)よりも、CABGのほうが予後良好であることはEBM (evidence-based medicine)として示されています。究極のCABGは、心拍動下のTECABであると考えられますが、多枝バイパスを行うTECABはいまだ実現していません。血管吻合をda Vinci®システムで行うことは技術的にかなり困難で、U-CLIP™というニチノールの形状記憶合金による結節縫合が行われてブレイクスルーになっていますが、広く行われるようになるにはまだまだハードルが高いように思われます。自動吻合器が末梢冠動脈との吻合に対しても行えるようになれば、近い将来ロボットを用いた多枝の心拍動下TECABが可能となるかもしれません。

気管内挿管せずに、硬膜外麻酔などで行うawake OPCABは全身麻酔が困難な症例に行われており⁵⁾、金沢大学の渡邊 剛先生らは、両側内胸動脈を使用したawake OPCABの報告もされています。Awake OPCABの有用性に関しては、硬膜外麻酔の動脈拡張作用・不整脈抑制作用の利点もあり、今後の検討が必要です。

人工心肺が非常に危険な症例で吻合可能な冠動脈のみをOPCABで行い、術後にPCIを併用するhybrid revascularizationが一部で行われています⁶⁾。手術室に心臓カテーテル検査を行える装置がある部屋で、MIDCABでLITAと橈骨動脈のコンポジット・グラフトを使用してLADと回旋枝にバイパスを行い⁷⁾、軽い狭窄を有する右冠動脈にPCIを行う方法もOPCABの将来像の1つかも

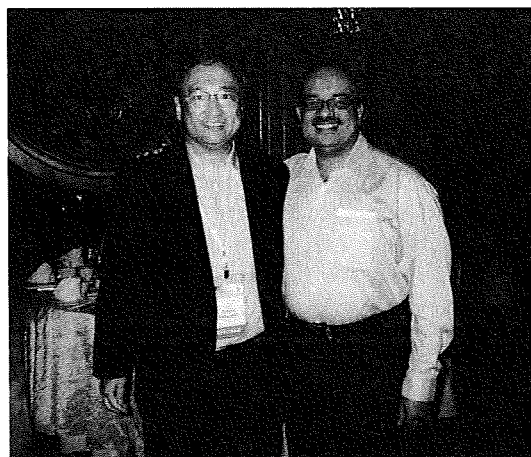


図4 クアラルンプールでのOPCAB手術を終えて第10回マレーシア胸部心臓血管外科学会のレセプションにてDr. Venugopalと。

しれません。

この原稿を書き終える直前にマレーシアのクアラルンプールにある国立心臓センター(Institut Jantung Negara)のDr. Venugopal Balchandに依頼され第10回マレーシア胸部心臓血管外科学会で講演するとともに、OPCAB手術を行ってきました(図4)。マレーシアでもOPCABは20%くらいしか行われておらず、平均のバイパス数は2カ所程度です。以前に手術を行ったチェコと同様、まだまだOPCAB後進国が多いことに驚きます。今後も力の及ぶかぎり、世界に安全かつ質の高いOPCABを広げていきたいと考えています。

稿を終えるにあたり、OPCABを極めていくために協力していただいた、先輩・同僚・コメディカルの方々に深謝致します。

References

- 1) Loulmet D, Carpentier A, d'Attellis N, et al : Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. J Thorac Cardiovasc Surg **118** : 4-10, 1999
- 2) Boyd D, Rayman R, Desai ND, et al : Closed-chest coronary artery bypass grafting on the beating heart with the use of a computer-enhanced surgical robotic system. J Thorac Cardiovasc Surg **120** : 807-809, 2000
- 3) Kappert U, Cichon R, Schneider J, et al : Closed-

- chest coronary artery surgery on the beating heart with the use of a robotic system. *J Thorac Cardiovasc Surg* **120** : 809-811, 2000
- 4) de Cannière D, Wimmer-Greinecker G, Cichon R, et al : Feasibility, safety, and efficacy of totally endoscopic coronary artery bypass grafting ; multicenter European experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* **134** : 710-716, 2007
- 5) Aybek T, Kessler P, Khan MF, et al : Operative techniques in awake coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* **125** : 1394-1400, 2003
- 6) Zenati M, Cohen HA, Griffith BP : Alternative approach to multivessel coronary disease with integrated coronary revascularization. *J Thorac Cardiovasc Surg* **117** : 439-446, 1999
- 7) 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* **79** : 1590-1596, 2005

