

## Off-pump CABG を円滑に行うための 麻酔科医との相互理解

— 今、心臓外科医は何を考え、何を行っているのか —

田代 忠\*

### はじめに

冠動脈バイパス術 (以下, CABG) は人工心肺を使用し心筋保護液による心停止下に行われていた (on-pump CABG; 以下, on-pump) が, 最近では人工心肺を使用せずに心拍動下に行う off-pump CABG (以下, off-pump) が一般的になってきた. off-pump は人工心肺の使用や心停止に起因する, 末梢循環障害, 微小塞栓, 炎症反応, 心筋障害などの障害が回避できることにより, より低侵襲で CABG が可能となった. その結果, 高齢者や心臓以外の臓器障害を有する重症例に対しても安全に CABG を行うことが出来るようになった<sup>1-6)</sup>.

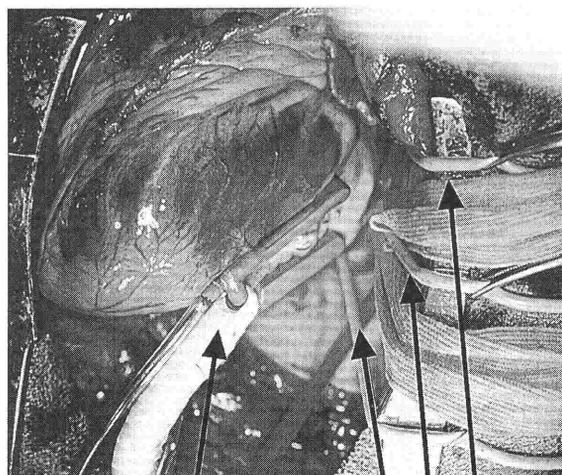
しかし, off-pump は従来の on-pump と大きく異なる特殊性を有している. それは, on-pump では冠動脈吻合中の循環は人工心肺により維持されているのに対し, off-pump ではバイパスを行われている心臓により循環が維持されている. そのため, 血圧低下や不整脈に対して麻酔科医が循環動態を維持する必要がある. 実際の手術に於いて, 完全血行再建と吻合の質を決める半分の因子は, 麻酔科医の技術と協力に依存すると言っても過言ではない. off-pump を円滑に行うためには, 心臓外科医の手技のみでなく麻酔科医の循環管理が重要となる. より円滑に off-pump を行うため, 麻酔科医が術野で何が起きているかを理解する必要がある.

### Off-pump の歴史的背景

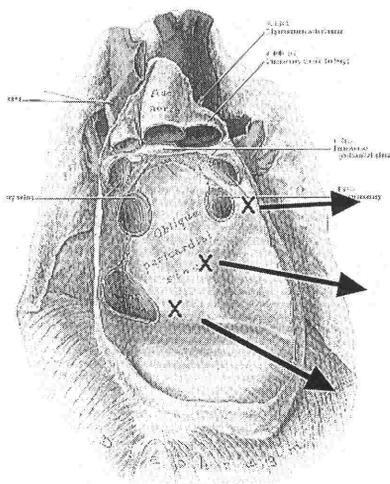
CABG は, その初期の報告の一部では人工心肺を使用せずに行われていた. しかし, その後は人工心肺や心筋保護法の発達により人工心肺を使用し心停止下に行われることが一般的になった. ふたたび off-pump が注目されるのは, 1985 年以降に低侵襲心臓手術のひとつの方法として off-pump が報告されたことによる<sup>7,8)</sup>. 著者らも 1991 年より重症例に対して off-pump を開始した<sup>9,10)</sup>. しかし, 胸骨正中切開にて行ってもバイパス可能な冠動脈は左前下行枝 (以下, LAD), 対角枝 (以下, Dx), 右冠動脈 (以下, RCA) などの心前面の冠動脈に限られていた. このような時期には多くのバイパスを必要とする多枝病変例ではなく, 1-2カ所のバイパスで十分な 1 枝ないし 2 枝病変例が off-pump の対象となった. 従って, 心後面の冠動脈を含めた多枝 off-pump は最近始まった治療法と言える.

現在の off-pump は, Lima suture などの方法により心後面の冠動脈が展開可能になったことや優れた stabilizer が出現したことにより, 心後面の冠動脈を含めた完全血行再建が可能になった (図 1) といえる<sup>11,12)</sup>. しかし, 臨床の現場では, 心後面の冠動脈を露出し吻合を行う際には, 心臓を脱転圧迫した事により血圧低下や心拍出量の低下などが起こる<sup>13)</sup>. 著者らは, 1999 年 11 月に off-pump の啓蒙を目的として福岡大学にて麻酔科と共催で off-pump のライブデモンストラーション<sup>14)</sup>を行った. 午前と午後, 3 枝 off-pump と 4 枝 off-pump の 2 例を供覧した. その際に留意

\*福岡大学医学部心臓血管外科



Lima suture  
(deep pericardial suture)



Octopus 2 stabilizer      Lima suture

図1 心後面の冠動脈の展開

したことは、単に手術手技のみを供覧するのではなく、血行動態の変化と維持を如何に行うかを供覧する事を念頭に置いた。その為に手術野のモニタと血行動態モニタを同時に供覧し、心脱転時や冠動脈遮断時の血行動態の維持についても供覧した。off-pump においては血行動態の変化に対して、術野で取りうる対策、麻酔側で取りうる対策を麻酔科医が熟知し手術の進行の指揮者となることが理想的である。

**Off-pump ; 手術操作と血行動態への影響**

Off-pump を行う際に、血行動態の悪化に影響する術野での操作を解説する (表1)。

1) 冠動脈の展開 : LAD, Dx は心後面に柄付きガーゼを置くことにより展開する。回旋枝(以下, Cx), RCA 末梢などの心後面の冠動脈は, Lima suture を左側または尾側に牽引することにより心臓を脱転し展開する。同時に手術台を頭低位または右側に回転する。off-pump を行う際にまず最初に行うのが冠動脈の展開である。冠動脈別に、血行動態に与える影響の大きさは、Cx > RCA 末梢 > Dx > LAD = RCA

表1 冠動脈別に見た off-pump CABG 操作の影響

	冠動脈遮断の影響	心挙上, 変形の影響	術野での対策
心前面冠動脈 LAD, RCA	ST 低下, 上昇 血圧低下 RCA : 徐脈	軽度	冠灌流
心後面冠動脈 Cx, RCA 末梢	軽度	血圧低下 不整脈	心圧迫を最小限に短時間に吻合

LAD : 左前下行枝, Cx : 回旋枝, RPD : 右冠動脈末梢枝, RCA : 右冠動脈中枢

の順である。

- 冠動脈の固定 : stabilizer により冠動脈の固定を行う。現在は吸引型が多く用いられている、吸引型を用いても、冠動脈の良好な固定のためには、心臓を圧迫することが普通である。この操作も血圧低下の原因となる。
- 冠動脈遮断 : 吻合予定の冠動脈の中枢側のみを遮断する。冠動脈遮断の影響は、RCA 中枢 > LAD > Dx = Cx = RCA 末梢の順で大きく、血圧低下, ST 変化, 徐脈などの変化が起きる。

灌流域の大きな冠動脈で影響が大きく、特に高齢者の RCA の遮断では影響は大きい。

対策としては、冠動脈内シャントや外シャントを用いて末梢冠動脈の灌流を行う。LAD, RCA 中枢については冠動脈内シャントを用いることを原則としている。

### 術中の不測の事態に対する対応

Off-pump においては術中に、心室細動 (以下, VF) や血圧低下などの重篤な事態に陥ることがある。自験例の検討では、1999年1月より2002年4月までの約3年間に226例に off-pump を計画し222例(98.2%)で off-pump を完遂することが出来た。術中に7例で VF が発生した、心脱転を解除し心臓を元の位置に戻し電気的除細動を行った後、血行動態の回復を待って off-pump を完遂した。VF 発生例で on-pump に移行した症例はなかった。術中に on-pump に移行した4例は全て肺動脈圧の上昇を伴う血圧低下例であった。一般には、血圧低下に対しては、心脱転や冠動脈の固定を解除し心臓を元の位置に戻す、冠動脈吻合中であれば心圧迫を軽減したり末梢冠灌流を開始するなどにより血圧の回復を待つことで対処できた。しかし、4例では血圧の回復が見られず肺動脈圧も上昇したために on-pump に移行した。

Off-pump を計画し術中に on-pump に移行する際には、短時間に人工心肺回路を充填準備する必要がある。この際に多くの施設では経皮的体外循環 (以下, PCPS) の回路を用いて体外循環を行うことが多い。しかし、注意すべきは、通常的人工心肺回路を用いた体外循環では、循環血液量の増減、吸引の使用、左室 vent の使用が可能であるのに対し、PCPS 回路を用いた体外循環ではこれらの事が不可能であることである。従って麻酔科医に求められるのは、体外循環中の出血に対する輸液や、左室が過度に張るような状況ではカテコールアミンを増量し心収縮力を上げることや瀉血により循環血液量を減少させ左室の過伸展を減弱するなどの処置が必要となる。この様に、PCPS 回路を用いた体外循環の特殊性に留意する必要がある。

### 現在の off-pump

現在の off-pump は、aortic-no-touch (以下, ANT),

total arterial revascularization (以下, TAR) を原則としている。

Off-pump を開始した目的は、手術死亡率や合併症発生率を減少させることを期待したものであった。なかでも最も重篤な合併症である術後脳障害の発生を減少させることを期待した。しかし自験例の検討では、off-pump の本格的導入によっても脳障害の発生は減少しなかった (表2)。更に詳しい検討を行うと、術直後の脳障害は、人工心肺の使用に関わらず大動脈操作 (送血管の挿入、大動脈遮断、大動脈部分遮断) を行った症例でのみ発生したことが明らかになった。上行大動脈を操作した事が、脳塞栓につながったと考えられた、Calafiore ら<sup>3)</sup>も同様の報告を行っている。この事により、術直後の脳障害を防止するためには、off-pump のみでなく ANT が重要であることが明らかになった。しかし、大動脈を触らずに CABG を行おうとすれば、in-flow として利用可能なのは、内胸動脈 (以下, ITA) と胃大網動脈 (以下, GEA) のみである、そのような状況で多枝バイパスを行おうとすれば、異なるグラフトを組み合わせた Composite graft が必要となる。また術後の開存率を考えると、動脈グラフトのみによる Composite graft が有利である。このような理由で、ANT, TAR が原則となった。

### Off-pump の適応

Off-pump の適応に関しては、施設により全く異なる状態である。学会においては CABG 全例が off-pump の適応であるとする外科医の声が前面に出ている印象を受ける。しかし、それらの施設に於いても off-pump の割合は CABG 全体の 85-95% である。5-15% の症例で手術室の中で on-pump に変更されたのであれば混乱と言う以外に無いと思われる。著者らは、症例にあった手術方法を選択すべきであると考えている。現在の著者らの方法は、1) 70歳以上、脳血管障害、腎不全、大動脈病変などを合併した high-risk 症例に対する off-pump : CABG 全体の 59%, 2) 合併症を伴わない low-risk 症例に対する on-pump : CABG 全体の 33%, 3) 心筋梗塞急性期、左心機能低下 (EF<30%) に対する on-pump beating : CABG 全体の 8%, 以上の3つの方法を症例により使い分けている (表3)。

著者らの姿勢は、必然性のある症例、または off-pump を行うことにより大きな利益を受ける症例で off-pump を行うべきと考えている。off-pump の適応は、70歳以上の高齢者、脳血管障害、腎不全、大動脈病変などの合併症を有する症例としている。禁忌は、不安定な血行動態、急性心筋梗塞急性期(発症48時間以内)、狭小冠動脈(内径1mm以下)などである。

Off-pump の手術適応については、各施設で大きく異なる現状である。今後の科学的な解析により、手術適応に関しても統一した基準を確立することが今後の課題である。

## Off-pump の新しい話題

IABP 補助下の off-pump<sup>15)</sup>：左心機能低下例、左主幹部(以下、LMT)狭窄(≥90%)例、LAD 近位部狭窄(≥90%)例など、off-pump 施行中に不安定な血行動態が予想される症例で、手術室の中で予防的に IABP を開始し術直後に抜去する方法である。著者らも9例に行った。同僚の麻酔科医より「IABP は患者の血行動態が悪くなって開始するより、悪くなる前に開始する方がはるかに有効である」との賛同を受けている。麻酔科医に過度の負担をかけないためにも有用な方法であると考ええる。

右心バイパス補助下の off-pump<sup>16)</sup>：off-pump にて心後面の冠動脈を露出する為に心臓を脱転すると、右室出路の狭窄を来すことがあり、血行動態の維持に右心バイパスが有効であるとの報告があり、専用の右心バイパスポンプが商品化されている。右心バイパスは、送血が肺動脈であり、全身の塞栓症などの合併症を起こさない点で低侵襲と思われる。適応や流量の設定など今後の課題を残しているが注目される方法であると思われる。

自動吻合器<sup>17)</sup>：大動脈を部分遮断することなく大伏在静脈(以下、SVG)を大動脈に吻合する自動吻合器が国内でも使用可能となっている。術中の触診と経大動脈エコーにて大動脈を検査する

表2 Off-pumpの本格的導入により何が変わったか？  
1999年2月前後での比較

Variable	Before (n=356)	After (n=212)
period	94.6-99.1	99.2-00.12
Off-pump	31(9%)	129(61%)
No. of graft/pt.	1-5 mean 2.8	1-7 mean 2.8
Stroke	6(1.7%)	4(1.9%)
PMI	4(1.1%)	2(0.9%)
IABP	16(4.5%)	5(2.4%)
Hospital mortality	13(3.6%)	2(0.9%)

No of bypass/pt. : 1例当たりのバイパス数, stroke : 術後脳障害, PMI : perioperative myocardial infarction, IABP : intra-aortic balloon pumping

表3 冠動脈バイパス術3つの方法と成績  
数値は、症例数、%, または、平均値にて表示

	CPB, AXCL		On-pump, beating		off-pump	
	症例数	%	症例数	%	症例数	%
平均年齢(歳)	59		61		70	
EF<30%	1	1%	9	33%	6	3%
緊急手術	37	32%	16	59%	75	37%
AMI	7	6%	11	41%	2	1%
CHF	2	2%	10	37%	11	5%
術前 IABP	7	6%	6	22%	10	5%
術前人工呼吸	0	0%	3	11%	1	0.50%
冠病変枝数	2.5		2.6		2.4	
No/bypass/pt.	3.1		3		2.7	
IABP	1	1%	2	7%	8	4%
PMI	0	0%	1	4%	3	1%
病院死亡	0	0%	5	19%	2	1%

CPB : 体外循環, AXCL : 大動脈遮断, EF : ejection fraction, AMI : 急性心筋梗塞, CHF : 心不全, IABP : intra-aortic balloon pumping, No/bypass/pt. : 1例当たりのバイパス数, PMI : perioperative myocardial infarction

ことにより1cm<sup>2</sup>の健常な大動脈を発見できればSVGの吻合が可能となる。高齢者や緊急手術などの遠隔成績よりも急性期の成績が問題になる症例に対して有用な方法である。著者らも、5例に使用し良好な印象を持っている。

新しい縫合材料<sup>18)</sup>：冠動脈吻合のための形状記憶合金製の縫合材料 (U-clip) が使用可能となっている、PTCA用のステントと同じ材料であるニチノール製である。短時間に、結節縫合が可能であり、composite graftの中枢側吻合やsequential graftの側々吻合などの難易度の高い吻合に使用している。我最近1年間に70例に使用し開存率も満足できる結果である。

### おわりに

Off-pumpの導入を円滑に行い、その効果を十分に引き出すためには心臓外科医と麻酔科医の協力が重要であると感じられる。今回の論文が、麻酔科医心臓外科医の相互理解の一助となればと願います。また、この場を借りて我々心臓外科医のわがままにご協力いただいた麻酔科医の方々にお礼を申し上げます。

### 文 献

- 1) Arom KV, Flavin TF, Emery RW, et al : Safety and efficacy of off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 69 : 704-710, 2000
- 2) Calafiore AM, Di Mauro M, Contini M, et al : Myocardial revascularization with and without cardiopulmonary bypass in multivessel disease: impact of the strategy on early outcome. *Ann Thorac Surg* 72 : 456-462, 2001
- 3) Calafiore AM, Di Mauro M, Teodori G, et al : Impact of aortic manipulation on incidence of cerebrovascular accidents after surgical myocardial revascularization. *Ann Thorac Surg* 73 : 1387-1393, 2002
- 4) Ricci M, Karamanoukian HL, Abraham R, et al : Stroke in octogenarian undergoing coronary arterial surgery with and without cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 69 : 1471-1475, 2000
- 5) Stamou SC, Dangas G, Dullum MK, et al : Beating heart surgery in octogenarian: perioperative outcome and comparison with younger age groups. *Ann Thorac Surg* 69 : 1140-1145, 2000
- 6) Puskas JD, Thourani VH, Marshall JJ, et al : Clinical outcomes, angiographic patency, and resource utilization in 200 consecutive off-pump coronary bypass patients. *Ann Thorac Surg* 71:1477-1483, 2001
- 7) Kolessov VI : Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J Thorac Cardiovasc Surg* 54 : 535-544, 1967
- 8) Buffolo E, Andrade JC, Succi JE, et al : Direct myocardial revascularization without extracorporeal circulation: Technique and initial results. *Texas Heart Institute Journal* 12: 33-41, 1985
- 9) 田代 忠, 藤堂景茂, 春田泰伸ら : 人工心肺を用いない心拍動下冠状動脈バイパス術. *日胸外会誌* (4) : 598-602, 1993
- 10) Tashiro T, Todo K, Haruta Y, et al : Coronary artery bypass grafting without cardiopulmonary bypass for high-risk patients. *Cardiovascular Surgery* 4:207-211, 1996
- 11) Spooner TH, Dyrud PE, Monson BK, et al : Coronary artery bypass on the beating heart with the Octopus : A north American experience. *Ann Thorac Surg* 66 : 1032-1035, 1998
- 12) Hart JC, Spooner T, Edgerton J, et al : Off-pump multiple coronary artery bypass utilizing the Octopus tissue stabilization system: Initial experience in 374 patients from three separate centers. *Heart Surgery Forum* 2:15-28, 1999
- 13) Do QB, Goyer C, Chavanon O, et al : Hemodynamic changes during off-pump CABG surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 21:385-390, 2002
- 14) 田代 忠 : なぜいま off-pump CABG? 福岡 off-pump CABG ライブデモンストレーション報告. *LiSA* 7 : 876-878, 2000
- 15) Craver JM, Murrain CP : Elective intraaortic balloon counterpulsation for high-risk off-pump coronary artery bypass operations. *Ann Thorac Surg* 71 : 1220-1223, 2001
- 16) Sharony R, Autschbach R, Porat E, et al : Right heart support during off-pump coronary artery bypass surgery--a multi-center study. *Heart Surg Forum* 5(1):13-16, 2002
- 17) Calafiore AM, Bar-El Y, Vitolla G, et al : Early clinical experience with a new sutureless anastomotic device for proximal anastomosis of the saphenous vein to the aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg* 121 : 854-858, 2001
- 18) Ono M, Wolf RK, Angouras D, et al : Early experience of coronary artery bypass grafting with a new self-closing device. *J Thorac Cardiovasc Surg* 123 : 783-787, 2002