◎総説

冠疾患誌 2005; **11**: 48–51

緊急冠動脈再建術における術式の選択：on-pump CABG か off-pump CABG か

吉田　成彦，村井　則之，早苗　努，汐口　壮一，加藤　一平

Yoshida S, Murai N, Sanae T, Shioguchi S, Kato I: **Surgical strategy for emergent coronary artery revasculization: on-pump or off-pump CABG**. J Jpn Coron Assoc 2005; **11**: 48–51

I．はじめに

待機単独冠動脈再建術においては心拍動下冠動脈バイパス術（off-pump CABG: OPCAB）が標準術式として定着してきた[1)]．その最大の理由は，OPCABが人工心肺を用いた冠動脈バイパス術（on-pump CABG）に比べて低侵襲であり，しかも早期臨床成績が on-pump CABG と同等か，より良好なためである[2)]．さらに，集中治療室滞在期間や入院期間の短縮，術後合併症の頻度低下といった利点も指摘されている[3)]．しかし，緊急冠動脈再建術において，OPCAB を選択するか，あるいはon-pump CABGを選択するかについては，明確な結論は出されていない．OPCAB が普及してきた現時点では，手術適応そのものが変化してきているのが実情である．そのため，心原性ショック状態を呈しon-pump CABG を選択せざるを得ないような症例を除き，OPCAB か on-pump CABG かの選択は、各施設あるいは術者により差が大きいのが現状である．

そこで，本稿では，まず OPCAB と on-pump CABG の利点と欠点について論じたのちに，緊急冠動脈再建術における術式の選択について，急性心筋梗塞（acute myocardial infarction: AMI）や不安定狭心症（unstable angina pectoris: UAP）に対して論じる．最後に，緊急冠動脈再建術において OPCAB を行う場合の pitfall について，自験例を含めて論じる．

II．冠動脈バイパス術の低侵襲化への道

わが国においてグラフトとして内胸動脈（internal thoracic artery: ITA）が使用され始めたのは1980年代のことである．当時は低体温法を用いた on-pump CABG が一般的であった．全身的に中等度低体温としたうえで，冷却心筋保護液にて心停止を得て，さらにice slushを用いて心筋の表面冷却（topical cooling）を行っていた．

しかし，1990年代に入り，心臓手術も大きな転換期を迎えた．低体温の全身的な侵襲や，ice slush による心筋低温障害が認識されるようになった．warm heart surgery[4)] が提唱され，blood cardioplegia が使用されるようになった．低体温手術の呪縛からの解放である．これは，両側ITA，胃大網動脈（gastroepiploic artery: GEA），橈骨動脈（radial artery: RA）などの各種動脈グラフトが，一般的に使用され始めた時期に一致する．

冠動脈外科の歴史は，より生理的で低侵襲的な方法の追究の歴史である．現在，その最先端に存在するのが OPCABである．deep pericardial suture，吸引型スタビライザー，heart positionerといった手技や器具などテクノロジーの開発により，さらに良好な手術視野が得られるようになった．そのために，手術適応も拡大し，以前では手術適応外であった症例に対しても外科的冠動脈血行再建が行われるようになってきた．実際，高齢者[5)] や腎不全患者等のハイリスク症例に対する良好な成績も報告されている．

だが，これらの器具や手術手技の発達だけで，OPCABの成績が向上するわけではない．絶対的OPCAB 適応症例には，標的冠動脈の高度な石灰化やびまん性病変が存在するなど，熟練した技術を要する症例が多く含まれている．安全かつ確実にOPCAB を行うには，十分な経験とトレーニングが不可欠である．「神の手」を持つといわれる心臓外科医においても心拍動下手術精度におけるlearning curveが存在する．現在報告されている良好なOPCAB の成績は，learning curve の頂点に達しつつある熟練した心臓外科医の成績であることは忘れてはならないだろう．

心臓外科医だけでなく，麻酔科医にも高度な技術や判断力が要求される．OPCAB の成績向上のためには，心臓外科医の修練だけでなく，術前，術後管理まで含めた心臓外科医を中心とするチーム全体の能力の高さが必須であることは忘れてはならないであろう．

III．緊急冠動脈再建術の適応と手術法の選択

一般的には，緊急冠動脈再建術の適応としてAMI，UAP があるが，どの程度の重症度であれば緊急手術の適応となるかについては必ずしも明確ではない．acute coronary syndrome（ACS）に対するカテーテル治療の不成功症例や不可能症例など緊急冠血行再建手術の絶対適応を除き，緊

新葛飾病院心臓血管外科（〒124-0006　東京都葛飾区堀切 3-26-5）

急冠動脈再建術の適応は施設により異なっているのが現状である．さらにOPCABかon-pump CABGかという術式の選択となると，施設間差や術者間差が大きくなる．

緊急手術の手術成績は，術前状態や病態により異なることは明白であるが，術式も手術成績に大きく影響すると考えられる．

1．UAP に対する緊急冠動脈再建術

a．術前の血行動態管理

左主幹動脈（left main trunk: LMT）病変を含むUAPに対する，緊急手術症例のOPCAB，on-pump CABGの選択は，術前の血行動態に大きく依存する．

各種薬剤により心筋虚血が改善しない場合，大動脈内バルーンパンプ（intra-aortic balloon pumping: IABP）挿入により，心筋虚血を改善し血行動態を安定させることが重要である．IABPを用いても血行動態が改善せず，経皮的心肺補助（percutaneous cardiopulmonary support: PCPS）を使用せざるを得ない場合は，必然的にon-pump CABG（on-pump beating bypassを含む）の範疇に入る．

b．術中管理と OPCAB の利点

術中管理において重要なのは短時間内における冠血流再開と，冠血流再開に至るまでの血行動態管理，そして心筋保護である．

OPCABの主な利点は，有茎動脈グラフトを使用すれば，吻合直後に血流再開が可能となり，最短時間で culprit lesionの血流再建が可能であることである．人工心肺の準備時間が不要であり，手術室入室から，１時間前後で血流再開が可能であること，心停止による心筋障害や体外循環の合併症を回避できることなどを考慮すると，OPCABのほうがon-pump CABGより有利であると考えられる．

c．手術成績

従来からのon-pump CABGでは，LMT病変を有する症例の手術成績は不良といわれてきた．手術死亡の原因の大部分は周術期心筋梗塞であるとされ[6]，術中の心筋保護が問題になる．OPCABのUAPに対する緊急手術成績は，待機手術と遜色ないという報告[7] もあり，術前の血行動態が安定している症例では積極的にOPCABが選択されるべきであろう．

私たちが経験したUAPに対する緊急手術について述べる（表 1）．2000年11月～2004年 8 月で，UAPに対する緊急手術を44例に施行し，その内訳は，on-pump CABG 14例，OPCAB 30例であった．術前よりのIABP挿入症例はon-pump CABG 57.1%，OPCAB 33.3%であった．両群ともに手術死亡例は認めなかった．しかし，OPCABで施行した 2 例（86歳，89歳）は術後 2 カ月，3 カ月後に呼吸不全で死亡した．これらの成績は緊急手術の適応となる患者の重症化，高齢化を示唆している．80歳以上の高齢者は，人工心肺使用により手術死亡率，術中脳梗塞発症率が 4 倍になるという報告もあり，OPCABの積極的適応と考えられる．しかしながら，OPCABにより手術死を避けられても，長期的予後の改善という点では，解決すべき問題がまだ多く残されていると考えられる．

表 1　UAP に対する緊急手術

	on pump CABG	OPCAB
n	14	30
年齢	65.2 ± 7.7	71.8 ± 11.1
左主幹部病変	11（78.6%）	10（33.3%）
pre IABP*	8（57.1%）	10（33.3%）
pre PCPS*	0（0%）	0（0%）
バイパス数	3.1 ± 1.2	2.3 ± 1.1
前下行枝吻合	14（100%）	28（93.3%）
回旋枝吻合	13（92.9%）	10（33.3%）
右冠動脈吻合	10（71.4%）	16（53.3%）
手術死亡	0（0%）	0（0%）
病院死亡	0（0%）	2（6.7%）

*IABP: intraaortic balloon pumping
*PCPS: percutaneous cardiopulmonary support

2．AMI に対する緊急冠動脈再建術

a．術前状態

ＡＭＩの治療の第一選択は冠動脈インターベンション（percutaneous coronary intervention: PCI）であり，外科的に緊急手術を行わざるを得ないということは，PCIが不完全血行再建であるか，何らかの原因で不可能であったかを意味する．心筋虚血がまさに現在進行形である状態であり，外科的により迅速な血行再建が求められる．

b．術式の選択

心原性ショック等の術前血行動態不安定症例に対してon-pump CABGを施行することに対しては異議をはさむ余地はないであろう．また上行大動脈石灰化を伴う症例のごとく絶対的体外循環使用不可能症例では，やむなくOPCABを選択せざるを得ない症例も存在する．その他の症例での術式選択は，心筋梗塞領域，残存病変により左右される．緊急CABGとなる症例は，主要冠動脈の 1 枝あるいは 2 枝が病態を悪化させていることが多く，AMIによる緊急手術症例では，標的冠動脈の70%以上が左前下行枝（left anterior descending artery: LAD）領域であったという報告[8]もある．LAD領域は，吻合時の心臓の脱転が軽度で心機能に影響が少なく，術前の血行動態が許せば，OPCABにて血行再建が可能な症例が多いと考えられる．

c．手術成績

AMI後のon-pump CABGの手術死亡率は，24時間以内の手術では7.6%，2 日から30日以内では4.1%という報告[9] やAMI発症後48時間以降のほうが手術成績は良好であると報告[10] がされている．それは，緊急手術症例には術前の血行動態が不安定で重症例が多数含まれているからにほかならない．AMI後のCABGの危険因子として，術前IABP，左室機能不全，腎機能障害であり，術前状態が安定していれば，急性期であっても待機手術と比べて遜色ない手術成績であるとも報告されている[11]．わが国の報告でも，

表2 急性心筋梗塞に対する緊急手術

	on pump CABG	OPCAB
n	27	25
年齢	69.0 ± 10.2	67.4 ± 11.7
責任病変		
左主幹部	4（14.8%）	2（8.0%）
前下行枝	14（51.9%）	15（60.0%）
pre IABP*	19（70.4%）	13（52.0%）
pre PCPS*	4（14.8%）	0（0%）
バイパス数	3.4 ± 0.9	2.2 ± 1.1
前下行枝吻合	26（96.3%）	23（92.0%）
回旋枝吻合	27（100%）	7（28.0%）
右冠動脈吻合	19（70.4%）	15（60.0%）
手術死亡	2（7.4%）	0（0%）
病院死亡	2（7.4%）	0（0%）

*IABP: intraaortic balloon pumping
*PCPS: percutaneous cardiopulmonary support

表3 待機手術の早期グラフト開存率（2000年11月～2003年4月）

	on pump CABG	OPCAB
n	57	150
使用グラフト別		
左内胸動脈	100%	98%
右内胸動脈	98%	98%
橈骨動脈	100%	98%
右胃大網動脈	96%	92%
大伏在静脈	86%	96%
吻合領域別		
前下行枝	98%	98%
回旋枝	100%	93%
右冠動脈	95%	94%

AMIに対する緊急on-pump CABGの手術死亡は20～30%と高率である．予後不良因子は心原性ショック，LMT病変，および高齢者などと指摘されている[12, 13]．on-pump CABGとOPCABの手術成績を比較した報告は少ない．Mohrらは，AMIに対する緊急OPCABの手術死亡率3.1%と待機手術と遜色ない成績を報告している[14]．対象患者の平均年齢は58.5歳と若く，35%が不完全血行再建で終了している．Lockerらによると，AMIに対する緊急手術成績の比較では，手術死亡率は，on-pump CABGでは24%，OPCABは5%と明らかにOPCABが良好であった．しかしながら，遠隔死亡率，狭心症の再発率，再PCI率は，OPCAB群で高かったと報告されている[15]．OPCAB群の吻合精度の低下や完全血行再建率低下が遠隔成績に反映しているのであろう．OPCABは，緊急手術の侵襲からの回復が有意に早い[16]という報告もあり，今後さらにAMI後の緊急手術にも適応が拡大されるであろう．

私たちが経験したAMIに対する緊急手術について述べる（表2）．2000年11月～2004年8月で，AMIに対する緊急手術を52例に施行し，その内訳は，on-pump CABG 27例，OPCAB 25例であった．術前よりのIABP挿入症例はon-pump CABG 70.4%，OPCAB 52.0%であった．術前よりPCPS挿入例は，on-pump CABGの14.8%（4例）であった．OPCAB群には，手術死亡，病院死亡を認めなかったが，on-pump CABG群では，4例（14.8%）を失った．手術死亡の2例は，広範な心筋梗塞による心臓死，病院死亡の2例は，脳梗塞，縦隔炎であった．少なくとも，病院死亡の2例は，OPCABにより回避された可能性があったと考えている．

IV．OPCABにおける冠動脈吻合の問題点：自験例からの考察

1．OPCABの技術的pitfall

OPCABの利点に対する報告は多く認められるが，pitfallに関する論述は少ない．冠動脈吻合上の注意点について述べる．

緊急手術におけるOPCAB困難症例には，術前の血行動態不安定症例，心拡大を認める低左室機能症例，標的冠動脈の露出，吻合に難渋を予想される症例が含まれる．心拍動下吻合は，心停止下手術のごとく心臓の全虚血を必要としないが，末梢，中枢側の冠動脈を一時遮断して吻合する方法や，内シャント等を冠動脈内に挿入し血流を保ちながら吻合する方法がある．いずれにしろ冠動脈に外的ストレスを及ぼす手技であり，冠動脈損傷を起こしうる．LADや右冠動脈領域吻合時には，血行動態に及ぼす影響は少ないが，回旋枝領域吻合時には心拍出量が20%低下するという報告[17]もあり，術中循環管理が問題になる．ただ，OPCABに必要な基本的操作である，心内圧がかかった状態での脱転，吸引型スタビライザー等による局所的壁ストレスにより，AMI症例では脆弱部の損傷が起こる可能性があり細心の注意を払う必要がある．また，広範な右室梗塞症例に対する回旋枝領域の吻合では，心臓の脱転は血行動態上非常に困難で，on-pump CABGに移行するか，ハイブリッドを考慮し，緊急手術における完全血行再建は断念することが賢明であると考える．

2．自験例からの考察

OPCAB初期150例におけるグラフト開存率に関しての知見を述べる．吻合領域に対する早期グラフト開存率の検討では，右冠動脈およびLADに対するグラフト開存率はon-pump CABG，OPCABともに良好であった．しかし回旋枝領域の早期開存率は有意差を認めないもののOPCAB群では低かった（表3）．この原因として，回旋枝領域吻合時ではworking spaceが狭くかつ視野が悪く，技術的に難易度が高いこと，および血行動態が悪化することによる時間的制約等が考えられる．またOPCAB独自の合併症として，内シャント挿入による冠動脈解離，heart positionerによる心損傷等を起こした症例もあった（図1）．

しかしながら，症例を重ねるにつれ成績が安定すること

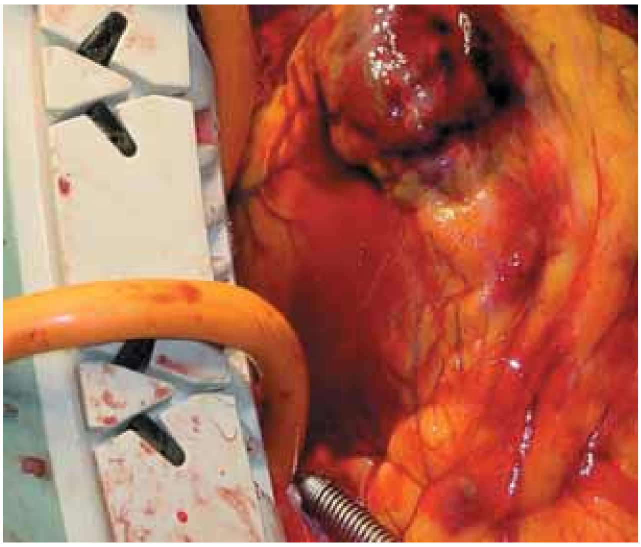

図1　OPCAB時の心損傷

は事実であり，最近では，グラフト開存率や患者予後において満足すべき成績を得ている．

V．まとめ

「ステント時代」といわれる現在において，外科的冠血行再建術は，低侵襲であるだけでなく，良好な遠隔成績を得られる精度の高い手術が要求される．まさに，心臓外科医の腕が問われる時代ともいえる．

人工心肺禁忌症例に対しやむなくOPCABを施行していた時代から，OPCAB困難症例にon-pump CABGを施行するという時代になりつつある．待機手術ではOPCABが第一選択といわれる時代になった．緊急冠動脈再建手術おいてもOPCABの有用性についての報告が最近増加しているが，われわれの検討も含め，その多くは後ろ向き検討であり，患者選択の段階でバイアスがかかっており，かつ症例数が少なく正確に統計上比較検討できていないのが現状である．今後，前向き研究における症例数を重ねた比較検討が必要であることはいうまでもない．しかし，緊急手術が必要であるという切迫した状況では低侵襲性ゆえにOPCABが選択される頻度がさらに増加するであろうと考えている．

文献

1）Cartier R: Systematic off-pump coronary artery revascularization: experience of 275 cases. Ann Thorac Surg 1999; **68**: 1494–1497
2）Sabik JF, Gillinov AM, Blackstone EH, Vacha C, Houghtaling PL, Navia J, Smedira NG, McCarthy PM, Cosgrove DM, Lytle BW: Does off-pump coronary surgery reduce morbidity and mortality? J Thorac Cardiovasc Surg 2002; **124**: 698–707
3）Meharwal ZS, Mishra YK, Kohli V, Bapna R, Singh S, Trehan N: Off-pump multivessel coronary artery surgery in high-risk patients. Ann Thorac Surg 2002; **74**: S1353–1357
4）Lichtenstein SV, Ashe KA, el Dalati H, Cusimano RJ, Panos A, Slutsky AS: Warm heart surgery. J Thorac Cardiovasc Surg 1991; **101**: 269–274
5）Mullany CJ, Darling GE, Pluth JR, Orszulak TA, Schaff HV, Ilstrup DM, Gersh BJ: Early and late results after isolated coronary artery bypass surgery in 159 patients aged 80 years and older. Circulation 1990; **82**: IV229–236
6）大橋博和，堤　泰史，河合隆寛，上田哲之，池田真浩，大中正光：緊急冠動脈バイパス術（acute coronary syndrome 146症例における検討）．胸部外科 1997; **52.8**: 644–647
7）Hirose H, Amano A, Takahashi A, Takanashi S: Urgent off-pump coronary artery bypass grafting. Jpn J Thorac Cardiovasc Surg 2002; **50**: 330–337
8）中野秀昭，大門雅広，林　和秀，岡村　宏：OPCABによる緊急，準緊急手術症例の検討．胸部外科 2001; **54**: 298–304
9）Floten HS, Ahmad A, Swanson JS, Wood JA, Chapman RD, Fessler CL, Starr A: Long-term survival after postinfarction bypass operation: early versus late operation. Ann Thorac Surg 1989; **48**: 757–763
10）Nunley DL, Grunkemeier GL, Teply JF, Abbruzzese PA, Davis JS, Khonsari S, Starr A: Coronary bypass operation following acute complicated myocardial infarction. J Thorac Cardiovasc Surg 1983; **85**: 485–491
11）Lee JH, Murrell HK, Strony J, Cmolik B, Nair R, Lesnefsky E, Chavez A, vanHeeckeren DW, Geha AS: Risk analysis of coronary bypass surgery after acute myocardial infarction. Surgery 1997; **122**: 675–681
12）大橋博和，堤　泰史，村上　晃：急性心筋梗塞に対する緊急冠動脈バイパス術の検討．日本胸外会誌 1996; **44**: 646
13）Kurkciyan I, Meron G, Behringer W, Sterz F, Berzlanovich A, Domanovits H, Mullner M, Bankl HC, Laggner AN: Accuracy and impact of presumed cause in patients with cardiac arrest. Circulation 1998; **98**: 766–771
14）Mohr R, Moshkovitch Y, Shapira I, Amir G, Hod H, Gurevitch J: Coronary artery bypass without cardiopulmonary bypass for patients with acute myocardial infarction. J Thorac Cardiovasc Surg 1999; **118**: 50–56
15）Locker C, Shapira I, Paz Y, Kramer A, Gurevitch J, Matsa M, Pevni D, Mohr R: Emergency myocardial revascularization for acute myocardial infarction: survival benefits of avoiding cardiopulmonary bypass. Eur J Cardiothorac Surg 2000; **17**: 234–238
16）Hirose H, Amano A, Yoshida S, Nagao T, Sunami H, Takahashi A, Nagano N: Emergency off-pump coronary artery bypass grafting under a beating-heart. Ann Thorac Cardiovasc Surg 1999; **5**: 304–309
17）Jansen EW, Grundeman PF, Mansvelt Beck HJ, Heijmen RH, Borst C: Experimental off-pump grafting of a circumflex branch via sternotomy using a suction device. Ann Thorac Surg 1997; **63**: S93–96