

図6 陰圧吸引補助ライン内の結露  
(文献1より引用)

ンプ使用により静脈貯血槽が陽圧になるのか、陰圧吸引補助ライン内に発生する結露により、ラインに装着したフィルタが閉塞し静脈貯血槽が陽圧になるのかなどの問題点について実験結果をもとに考察した。模擬回路を用いた実験は慶應義塾大学病院と東京女子医科大学附属心臓血管研究所の手術室で2回実施されたが、用いた回路や陰圧コントローラは東京女子医大での事故時のものとは完全には同じものではない。しかし、我々の努力で可能な限り事故時の問題が明らかになるべく模擬回路を作成し、実験方法も当時の状況と同等になるべく努力した。

2回の実験で共通に観察された事項は、①体外循環開始後10～30分で陰圧吸引補助ラインの内壁に霧状の結露が発生し、時間経過とともに陰圧吸引補助ライン内壁の結露は大きくなっていった(図6)、②体外循環開始115～170分後より陰圧吸引回路内の結露が癒合し水滴となり、ライン内の陰圧の変動時には水分はフィルタ内へと吸引された、③開始127～185分後、陰圧吸引補助ラインは閉塞し、静脈貯血槽内圧は急激に上昇し、陰圧吸引補助ライン閉塞後脱血回路からの空気の逆流が始まった。実験後に閉塞したフィルタをデジタル重量計で測定し、1週間乾燥させその重量を測定し、フィルタに含まれていた水分量を計測した。計測した水分量は0.3g、0.7gであった。また、陰圧吸引補助脱血法では、サクシオン・ベントポンプを100回転以上で使用していても静脈貯血槽内は陽圧にはならないが、陰圧吸引補助ラインが閉塞し

た場合、サクシオンやベントポンプの使用により、静脈貯血槽内は急激に陽圧となる。しかし、そのときも陰圧コントローラの圧力計は設定陰圧(-40 mmHg)のままであった。

陰圧吸引補助脱血法を用いた体外循環で静脈貯血槽内が陽圧になる原因として、以下の原因があげられる。すなわち壁吸引の停止または故障、陰圧コントローラの故障、陰圧吸引補助ラインの閉塞が起こった場合にサクシオンやベントポンプを用いることにより、静脈貯血槽内が陽圧になると考えられる。ここで最も可能性の高い原因として考えられることは、陰圧吸引補助ラインの閉塞である。ラインの閉塞はライン閉塞鉗子の誤操作かラインに装着したフィルタが閉塞(目詰まり)を起こした場合に発生する。陰圧吸引補助ラインにフィルタ(ガス用フィルタ)を装着した場合、結露による少量の水分でフィルタが詰まり、閉塞を起こす可能性がある。この場合、過度のサクシオンを行ってれば、静脈貯血槽内は過度のサクシオンに見合っ

て瞬時に陽圧になることが考えられる。今回、我々は陰圧吸引補助ラインにフィルタを装着し、結露により発生した水分でラインが閉塞するか実験を行った。実験により、陰圧吸引補助ラインに結露が発生する原因として、①温度差、②サクシオン・ベントポンプの回転数、③体外循環時間が考えられる。室温と回路内血液温の温度差が大きければ結露は発生しやすい。また、サクシオン・ベントポンプの回転数が高いと陰圧吸引補助ライン内を移動する空気の量、すなわちそれに含まれる水分の量が多くなるため、温度の変化に伴って結露が発生しやすい。同様に体外循環時間が長ければ結露は発生しやすい。この発生した結露によるわずかの水分がフィルタに吸い込まれるとフィルタは目詰まりし、陰圧吸引補助ラインは閉塞する。また、陰圧吸引補助ライン内のフィルタの位置が低い場合、ライン内に溜まった水分が重力で下方に移動し、低い位置にあるフィルタに吸い込まれやすく、閉塞の原因となる。しかし、陰圧

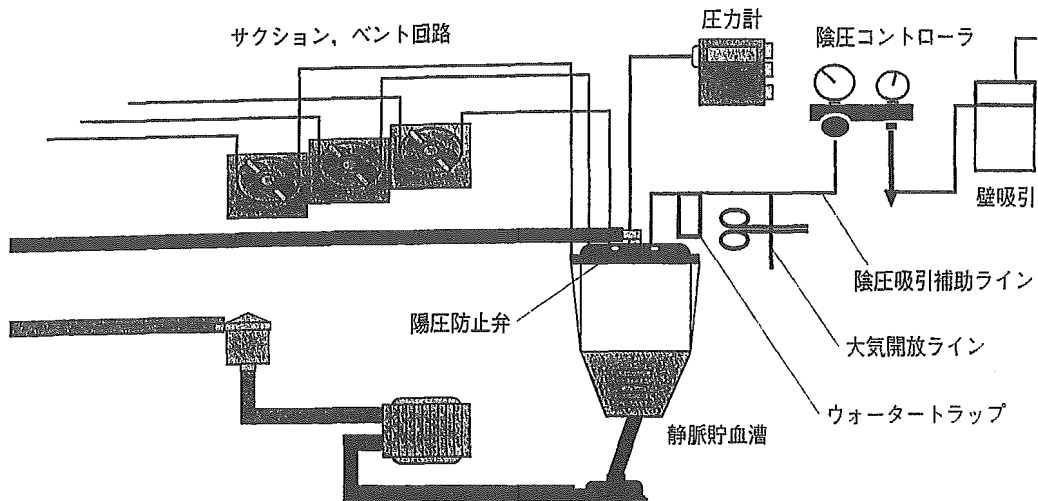


図7 ウォータートラップを使用した陰圧吸引補助脱血体外循環回路構成(文献1より引用)

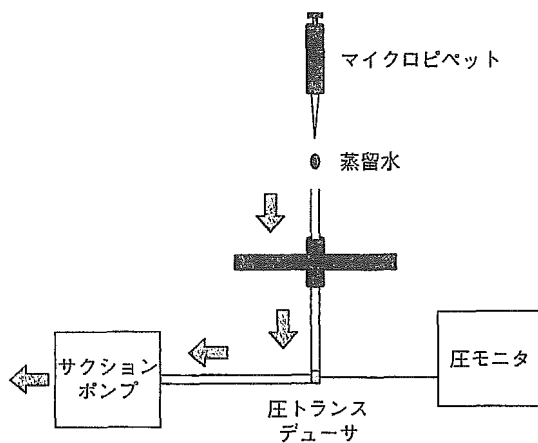


図8 ガスフィルタ目詰まり実験装置(文献1より引用)

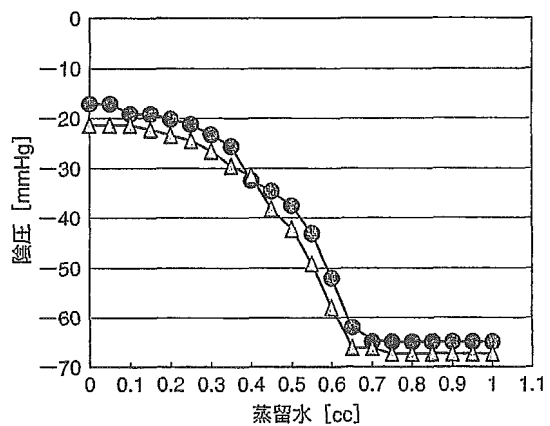


図9 ガスフィルタ目詰まり実験結果(文献1より引用)

吸引補助ラインにフィルタを装着しなければ、結露によって発生する水分があっても、水分はライン内を行き来し移動はするが、ラインを閉塞させず、静脈貯血槽内は陽圧にならない。陰圧吸引補助ライン内に発生する水分に対する対策は、ガスフィルタではなく適当な箇所に位置するウォータートラップを用いることで解決される(図7)。また、より確かな安全を考慮し、静脈貯血槽内の圧力を監視する圧力計と、静脈貯血槽内が陽圧にならないように作用する陽圧防止弁を用いるべきである。

### 5. 陰圧吸引補助ライン内に設置されたガスフィルタに関する検討

陰圧吸引補助ライン内に設置されたガスフィルタに関する検討は東京医科歯科大学生体材料工学研究所システム部門・生体システム分野(高谷節雄教授)で実施された。東京女子医大側から提供されたLifeStream International社製ガスフィルタを用いて作成した三矢メディカル社製「東京女子医科大学病院CO<sub>2</sub>ラインセット(TW-CO2-O2)」を合計3セット実験に使用した。結露による水分浸水によるガスフィルタの目詰まり実験(図8)では、マイクロピペットで加えた

水の量が約0.3 ccまたは0.3 gでガスフィルタ後の圧力は若干マイナスの方向に増加傾向を示し始めた。0.65 gで飽和状態に達し、その後さらに水を追加しても圧力の増加はみられなかったことより、0.65 gまたは0.65 ccの水でフィルタは完全に閉塞状態になったものと考えられた(図9)。

#### 6. おわりに

今回の3学会合同委員会の検討により、東京女子医大で起こった事故は、本来陰圧であるはずの静脈貯血槽内が急激に陽圧になったためであり、その原因は吸引回路の回転数が非常に高かったためではなく、陰圧吸引補助ラインに使用したフィルタが目詰まりを起こし閉塞した可能性があることが、模擬回路による実験で示された。しかも、使用されていたフィルタは本来ガスフィルタで、水分が1 ml以下で完全に閉塞するものである。人工心肺操作中の静脈貯血槽中の湿度が100%となっていて、回路の血液よりも低温になっている室温により、回路の内面には結露が多量に付く。この結露による水滴がフィルタに吸引され、目詰まりを徐々に起こし、ある時点で突然完全な閉塞状態となり、それまで陰圧となっていた静脈貯血槽に陰圧がかからなくなる。吸引回路から血液とともに空気が密閉された静脈貯血槽に送られ、一気に静脈貯血槽内は陽圧に変化する。この急激な変化は吸引のポンプの回転数により多少の差はあるにしろ、根本的にはポンプの回転数によらず起こるものである。したがって、陰圧吸引補助ラインにはフィルタは絶対使用してはならないし、本来フィルタはその末梢側のものを保護するためにあり、このフィルタは近位側にある静脈貯血槽には何ら有益な作用を及ぼさない。

陰圧コントローラを水分の直接流入から守るためには、その手前に水分を取り除くウォータートラップを装着し、水分を取り除けばよい。また、この回路を消毒せずに何回も使用すると、回路内の不潔なものが水滴とともに

表2 体外循環認定技術認定士資格取得条件

受験条件
①指定の体外循環カリキュラムを終了すること 【36単位：6日間のセミナー(2日/年×3年)】
②人工臓器学会教育セミナー3回以上受講 【6日間のセミナー(2日/年×3年)】
③3年以上で30症例以上の臨床例の提示
認定試験
④筆記試験+面接試験

に貯血槽に流れ込んで、患者の体内に送り込まれることになる。その意味で陰圧吸引補助ラインは毎回清潔な新品を使用すべきである。複数回の使用によりフィルタには前回の結露が遺残し、さらに閉塞しやすくなる。

陰圧吸引補助脱血体外循環法を施行する際に大切なことは静脈貯血槽内に常に陰圧がかかっていることで、陰圧吸引補助ラインにだけ陰圧がかかっても役に立たない。上に述べたフィルタが水分で閉塞するだけでなしに、陰圧吸引回路が誤って折れ曲がって閉塞する可能性、また多くの回路が人工心肺の周りがあるので他の回路を遮断しようとして誤って陰圧吸引回路を遮断する可能性などがあり、静脈貯血槽に常に確実に陰圧がかかっていることをモニタするべきである。そして陽圧がかかったときにはアラームが作動し、陽圧を自動的に外部に逃がす陽圧防止弁を静脈貯血槽には装着すべきである。

陰圧をかけるためには、通常、壁吸引を使うことが多い。壁吸引の陰圧は-300~-400 mmHgと陰圧は強いが、壁に設置されているコントローラはあまり精密ではない。陰圧吸引補助脱血体外循環法では陰圧のレベルも適宜変える必要があり、細かな調整が効く陰圧コントローラがぜひ必要である。陰圧発生器を使用する場合も微調整が効くものでなければならない。以上の観点から、3学会合同委員会は、安全な陰圧吸引補助脱血体外循環法のガイドラインを作成して公表することが最も大切な役目であると認識して、5月の最終報告を待たずに平成

a) 基本原則

- ・術者として20例以上手術を行う
- ・第1助手として40例以上手術を行う
- ・総点数250点以上とする

\* 点数加算方法はc)を参照。

b) 体外循環関連基本的手術手技

- ・カニューレーション           b
- ・人工心肺・PCPS操作       b

c) 点数加算表

	手術			基本手技		
	A	B	C	a	b	c
術者	3	4	5	-	-	-
第1助手	1.5	2	2.5	-	-	-
第2助手以下	-	-	-	0.3	0.4	0.5

\* A, B, C, a, b, cは難易度を示す。

図10 心臓血管外科専門医認定の臨床経験評価方式

体外循環にかかわる臨床経験数に規定がなく、さらに、体外循環に関する教育課程受講の義務もない。

15年3月2日、中間報告の形で以下の4項目の勧告を体外循環に従事するすべての関係者に出した。

勧告

1. 陰圧吸引補助ラインにはガスフィルターを使用せず、ウォータートラップを装着する。
2. 陰圧吸引補助ラインは毎回滅菌された新しい回路を使用する。
3. 貯血槽には陽圧アラーム付きの圧モニター並びに陽圧防止弁を装着する。
4. 陰圧吸引補助を施行する際には微調整の効く専用の陰圧コントローラーを使用する。

心臓手術の際の人工心肺操作には数限りないチェックが必要である。しかも、技術、機器は日進月歩で進歩している。このようななかで体外循環にかかわるインシデント・アクシデントが少なからず発生している。体外循環に携わる医師も臨床工学技士も、技術と機器によく慣れるための不断の努力が必要であろう。また学会も安全な体外循環の操作法に関して教育システムの確立の努力が必要であろう。現在、本委員会を構成する3学会が臨床工学技士を対象として認定している体外循環認定技術認定士の資格取得条件を表2に示すが、受験資格に必要な項目として、①6日間の指定の体外循環カリキュラム(36単位)の受講、②6日間の人工臓器学会

教育セミナーの受講、および、③3年以上で30症例以上の臨床例の経験が必要であり、さらに認定試験は筆記試験ならびに面接試験が課され、知識・技量・人格ともに体外循環認定技術認定士としての適正がチェックされる。一方、現時点の心臓血管外科専門医認定の臨床経験評価方式の中に記されている体外循環関連項目は、カニューレーションと人工心肺・PCPS(percutaneous cardiopulmonary support)操作の2項目のみであり、基本的手術手技の点数としては第2助手以下の扱いの0.4点のみで、体外循環にかかわる臨床経験数の規定もなければ、体外循環に関する指定の体外循環カリキュラムや人工臓器学会教育セミナーなどの教育課程の受講義務もまったくない(図10)。もし、このような状態で今後も心臓血管外科専門医が自ら体外循環を駆動するとした場合、現在の心臓血管外科専門医資格の取得条件は、体外循環を駆動するうえで知識・技術は十分だろうか？また、大規模な心臓センターで実際の体外循環業務は臨床工学技士が行うとしても、臨床工学技士法第2条2項に『この法律で「臨床工学技士」とは、厚生大臣の免許を受けて、臨床工学技士の名称を用いて、医師の指示の下に、生命維持管理装置の操作及び保守点検を行うことを業とする者をいう。』と謳われている限りは、心臓血管外科専門医は体外循環を駆動するうえでの基本的な知識・技術をもっている必要がある。なぜなら、もし体外循環事故に見舞われた

とき、医師が基本的な知識・技術をもたなかった場合、臨床工学技士に適切な指示を出し重大事に至ることを回避することができなくなるからである。具体的には、医師に対しても3学会合同で体外循環技術に関するトレーニングを考える必要がある。これらにより一人でも多くの

患者がトラブルなく心臓病から救われ、新たな命を得て社会復帰できることを望んでいる。

■著者連絡先メールアドレス  
eikyō501@saitama-med.ac.jp

#### ■文献

- 1) 日本胸部外科学会, 日本心臓血管外科学会, 日本人工臓器学会: 3学会合同陰圧吸引補助脱血体外循環検討委員会報告書, 平成15年5月
- 2) Cosgrove DM, Sabik JF: Minimally invasive approach for aortic valve operations, *Ann Thorac Surg* 62: 596-597, 1996
- 3) Navia JL, Cosgrove DM: Minimally invasive mitral valve operations, *Ann Thorac Surg* 62: 1542-1544, 1996
- 4) 四津良平, 前原正明, 申 範圭ほか: 低侵襲・小切開心臓手術 Minimally invasive cardiac surgery(MICS), 川田志明(編), 体外循環と補助循環, 日本人工臓器学会セミナー, 日本人工臓器学会, p59-66, 1997
- 5) 四津良平, 申 範圭, 又吉 徹ほか: 内視鏡支援下僧帽弁手術 - Videoassisted Mitral Valve surgery -, *JSES内視鏡外科* 3: 274-282, 1998
- 6) 又吉 徹, 四津良平, 川田志明: 低侵襲小切開心臓手術(MICS)とその体外循環の工夫, 「体外循環」- 落差脱血から吸引脱血へ -, 川田志明(編), 体外循環と補助循環, 日本人工臓器学会セミナー, 日本人工臓器学会, p65-76, 1999
- 7) Schwartz DS, Ribakove GH, Galloway AC, et al: Minimally invasive cardiopulmonary bypass with cardioplegic arrest, *J Thorac Cardiovasc Surg* 111: 556-566, 1996
- 8) Stevens JH, Burdon TA, Reitz BA, et al: Port-Access coronary artery bypass grafting, *Ann Thorac Surg* 62: 435-440, 1996
- 9) 百瀬直樹, 柳沢充延, 金沢宏治ほか: 回路内圧によるローラーポンプの回転制御装置の開発, *人工臓器* 27: 409-412, 1998
- 10) Solomon L, Sutter FP, Goldman SM, et al: Augmented Femoral Venous Return, *Ann Thorac Surg* 55: 1262-1263, 1993
- 11) Rider SP, Simon LV, Rice BJ, et al: Assisted venous Drainage, Venous Air, and Gaseous Microemboli Transmission Into the Arterial Line, *J Extra-Corporal Technology* 30: 160-165, 1998
- 12) Fried DW, Zombolas TL, Weiss SJ: Single pump mechanically aspirated venous drainage(SPMAVD) for cardiac reoperation, *Perfusion* 10: 327-332, 1995
- 13) Galletti PM, Brecher GA: HEART-LUNG BYPASS, *Grune & Stratton*, p174-179, 1962
- 14) 又吉 徹, 四津良平, 川田志明: 低侵襲小切開心臓弁膜手術(MICS)における体外循環の工夫, 川田志明(編), 体外循環と補助循環, 日本人工臓器学会セミナー, 日本人工臓器学会, p67-74, 1997
- 15) Shapira OM, Aldea GS, Treanor PR, et al: Reduction of Allogeneic Blood Transfusions After Open Heart Operations by Lowering Cardiopulmonary Bypass Prime Volume, *Ann Thorac Surg* 65: 724-730, 1998
- 16) Jansen PGM, Velthuis Ht, Bulder ER, et al: Reduction In Prime Volume Attenuates the Hyperdynamic Response After Cardiopulmonary Bypass, *Ann Thorac Surg* 60: 544-550, 1995
- 17) HEART PORT: Port-Access Minimally Invasive Cardiac Surgery Training Manual, Heart port inc., 1998
- 18) 四津良平: 低侵襲小切開心臓手術, - Heartport システムによる Minimally Invasive Cardiac Surgery(MICS) -, 川田志明(編), 体外循環と補助循環, 日本人工臓器学会セミナー, 日本人工臓器学会, p57-64, 1999
- 19) Toomasian JM, Peters WS, Siegel LC, et al: Extracorporeal circulation for Port-Access cardiac surgery, *Perfusion* 12: 83-93, 1997
- 20) Peters WS, Fann JI, Pompili MF, et al: Port-Access cardiac surgery, *Perfusion* 13: 253-258, 1998
- 21) Vanermen H, Vermeulen Y, Praet FV, et al: Port-Access mitral valve surgery, *Perfusion* 13: 249-252, 1998
- 22) Gooris T, Vaerenbergh GV, Vanermen H, et al: Perfusion techniques for Port-Access surgery, *Perfusion* 13: 243-247, 1998
- 23) Toomasian JM: Cardiopulmonary bypass for less Invasive procedures, *Perfusion* 14: 279-286, 1999
- 24) Matayoshi T, Yozu R, Morita M, et al: Development of a Completely Closed Circuit Using an Air Filter in a Drainage Circuit for Minimally Invasive Cardiac Surgery, *Artificial Organs* 24(6): 454-458, 2000
- 25) Morita M, Yozu R, Matayoshi T, et al: Closed Circuit Cardiopulmonary Bypass with Centrifugal Pump for Open-Heart Surgery: New Trial for Air Removal, *Artificial Organs* 24(6): 442-445, 2000
- 26) Shin H, Yozu R, Maehara T, et al: Vacuum assisted cardiopulmonary bypass in minimally invasive cardiac surgery; its feasibility and effects on hemolysis, *Artificial Organs* 24(6): 450-453, 2000

## ● ミニ・コース 循環器疾患 診断・治療の新しい strategy (11)

### 心臓外科の新しい strategy

#### —低侵襲心臓手術(MICS)—

吉武明弘 四津良平

外科領域での低侵襲手術は1980年代より始まった。1987年フランスで腹腔鏡を用い胆嚢摘出術が行われたのが始まりである<sup>1)</sup>。心臓外科領域では、その7年後の1993年、同じフランスで動脈管開存症(PDA)の手術がVATS(胸腔鏡支援)による小開胸でLabordeによって行われた。1995年にはアルゼンチンのBenettiが胸腔鏡を用いて内胸動脈(ITA)を剝離し、小切開左開胸で体外循環を用いずに心拍動下で内胸動脈と左冠状動脈前下行枝(LAD)の冠動脈バイパス手術が行われた<sup>2)</sup>。弁膜症における低侵襲心臓手術は、Cosgroveらが右傍胸骨切開にて大動脈弁手術を行ったのが最初である<sup>3)</sup>。1997年にはChitwoodらは第4肋間開胸および第5肋骨部分切除にて僧帽弁手術を行い、さらにCosgroveらは胸骨横断法によるアプローチを発表し、同年にPort-Accessの新しい手法を取り入れた右小開胸での内視鏡下僧帽弁手術(Micro-Mitral operation)を報告した<sup>4)</sup>。

現在我々は低侵襲心臓手術(MICS: Minimally invasive cardiac surgery)の定義を

- ① 体外循環を使用しないこと
- ② 胸骨全長切開を行わないこと
- ③ またはその両方

これらのいずれかの条件を満たすものと考えている<sup>5)</sup>。

またMICSの利点として、

- ① 7~8 cm と傷が小さい(図1)
  - ② 疼痛が軽い
  - ③ 回復が早く、迅速な就業が可能である
  - ④ 病院滞在日数が少ないので、経済的に優れている
  - ⑤ 胸骨感染、縦隔炎の合併症を軽減できる
  - ⑥ 美容上有利である
- などがあげられる。

MICSは大きく二つに分類される。小さい皮膚切開で人工心肺装置(体外循環)を用いずに冠動脈バイパス術を行うMIDCAB(Minimally invasive direct coronary artery bypass)などの冠動脈バイパス術と、体外循環を用いて小切開で弁膜症などの手術を行う方法である。

#### 1. MIDCAB(低侵襲冠動脈バイパス手術)

皮膚切開は主として左前胸部小切開で行うが、最近、胸骨小切開で入る術者もいる。左内胸動脈を直接剝離する方法と胸腔鏡を用いて剝離する方法がある。初期はITA-LADのバイパス手術で、これをstandard MIDCABというが、最近では切開を上腹部小切開(subxyphoid MIDCAB)や左第V肋間側方切開などに変えて右冠状動脈、左回旋枝などへ左・右ITA、胃大網動脈などを用いて行うバイパス法が開発され、さらに複数本のバイパスが行われている。

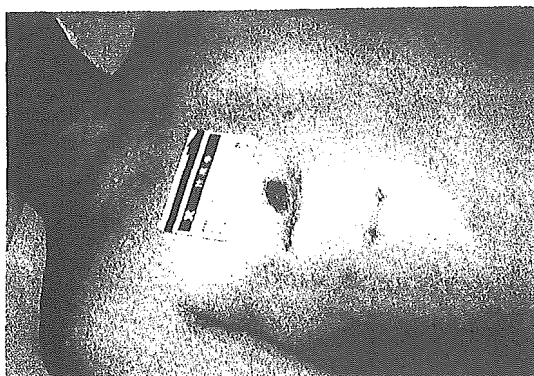


図1 Port-access法による右第4肋間の小開胸創  
(僧帽弁手術)

## 2. 低侵襲心臓外科による弁膜症手術および

### Port-Access system (P-A)

MIDCABとは人工心肺を使用する点で異なるため、small incision cardiac surgery (SICS)という人もいる。また、Port-Access心臓手術は、低侵襲心臓手術法(MICS)の中の一つであり、従来の胸骨正中切開に代わり単一または複数のport(s)から心臓に到達する心臓手術法の総称である。

#### 僧帽弁手術の切開法<sup>9)</sup>

##### ① Mini-sternotomy with lower right-side semi-transverse division (J字法)

Standard MICSでは第2肋間(2nd J字法)で切開しており、Port-access MICSでは大動脈遮断法の工夫により第3肋間以下でのほんのわずかの胸骨切開で手術ができるようになった。なお第3肋間以下の切開(3rd J字法)では上行大動脈へのアプローチは不可能である。

##### ② 右乳房下切開

これは右乳房下に5~7cmの皮膚切開を行い、第4肋間にてミニ開胸する。肺をCollapseさせ心臓を切開すれば、右房および右側左房が露出する。

これらの切開法による僧帽弁手術は、手術視野が小さくまた僧帽弁の位置は非常に深くなる。そのため内視鏡を用いて深い術野を拡大してモニターする工夫や、複雑な操作を容易に行うための内視鏡手術器具が開発されている。

#### 体外循環の工夫

低侵襲の意味からすると体外循環を使用しないことが望ましいが、現時点では弁膜症の心臓手術は体外循環なしには不可能である。ここではMICSに適した体外循環の工夫について説明する。

##### a. カニューーレ

Central CPBの場合、小さな手術視野で手術を行うため小口径のカニューーレが適している。Peripheral CPBの場合は術野にカニューーレがないため視野的に有利である。

##### b. 脱血の工夫

MICSの手術創においてはPeripheral CPBの方が望ましいが、主に脱血不良にてポンプ流量に脱血量が追いつかないことがある。通常脱血は落差脱血で行われているが細かいカニューーレからより多くの流量を出すために種々の方法が考えられている。VAVD (Vacuum assisted venous drainage)は静脈貯血槽に陰圧をかけて脱血を行う方法である。流量はカニューーレの抵抗により変化するが圧力が一定しているのでCollapse現象が起らない。我々はこの方法を用いており、満足のいく結果を出している<sup>7)8)</sup>。

##### c. 大動脈遮断方法

Port-access心臓手術では胸壁にある1つの小切開および複数のポートが唯一の心臓に到達する経路であるため、心臓停止のための上行大動脈遮断は、通常使われている遮断鉗子では行えない。そこで開発された大動脈遮断には大きく分けて2通りの方法がある。①血管内腔から遮断する方法(endoaortic clamp法:EAC法)、②血管外壁から遮断鉗子を用いて行う方法(aortic cross clamp法:AXC法)である<sup>9)</sup>。

##### ① Endoaortic Clamp法(EAC法)

この方法に用いるバルーンには、米国Heartport社で開発されたHeartportシステム(図2)によるものがある。バルーンを下肢末梢動脈から挿入し、上行大動脈まで進め、バルーンを膨らませ血流を遮断する。順行性の心筋保護液の注入やaortic ventが可能である。また、我々は小切開創から上行大動脈に直接挿入できるdirect EACバルーンを独自に開発し使用している<sup>10)11)</sup>。

##### ② Aortic Cross Clamp法(AXC)

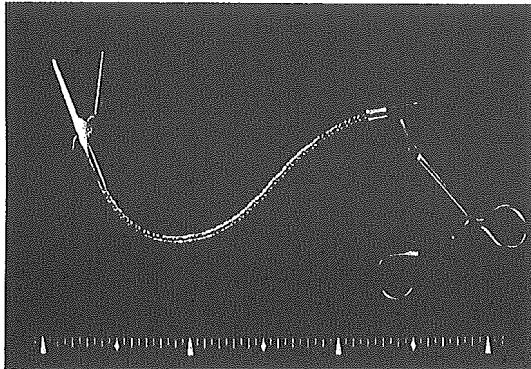


図 2 Cosgrove Flex Clamp. シャフトの部分が自由に曲がり狭小な術野から挿入が可能で大動脈を安全・確実に遮断することができる。

低侵襲心臓手術用の特別な大動脈遮断鉗子で上行大動脈を遮断する方法である。胸壁に空けた port より大動脈を遮断することは、通常の遮断鉗子では出来ないため、それに適した工夫された血管遮断鉗子が開発されている。現在 Chitwood Sliding Clamp と、血管遮断鉗子の柄(シャフト)の部分が自由自在に曲がる Cosgrove Flex Clamp(図 3)がある。

### 3. Robotic Surgery

Port-access 法による心臓手術が新しいコンピューター技術と結びつき、完全内視鏡下での手術を目指した Robotic cardiac surgery ロボット心臓手術による低侵襲心臓手術が行われるようになった。現在、臨床応用されている手術用ロボットには、米国 Intuitive Surgical 社の da Vinci と Computer Motion 社の Zeus があり、いずれも成功例が報告されている。1998 年 5 月にフランスの Carpentier らは da Vinci™ を用いて ASD 閉鎖を行った<sup>12)</sup>のが最初の報告で、さらに僧帽弁手術、人工心臓を用いない完全内視鏡心拍動下冠動脈バイパス術(Totally Endoscopic Off-pump CABG)も報告され、主にヨーロッパで臨床使用されてきた。そして米国でも僧帽弁手術、ASD、CABG における臨床試験が進行中であり、2001 年の末には僧帽弁の手術に対し da Vinci™ の使用が FDA により認可されている。1997.3~2001.6 年の間に行われた da Vinci™ を用いた心臓手術は 2094 例

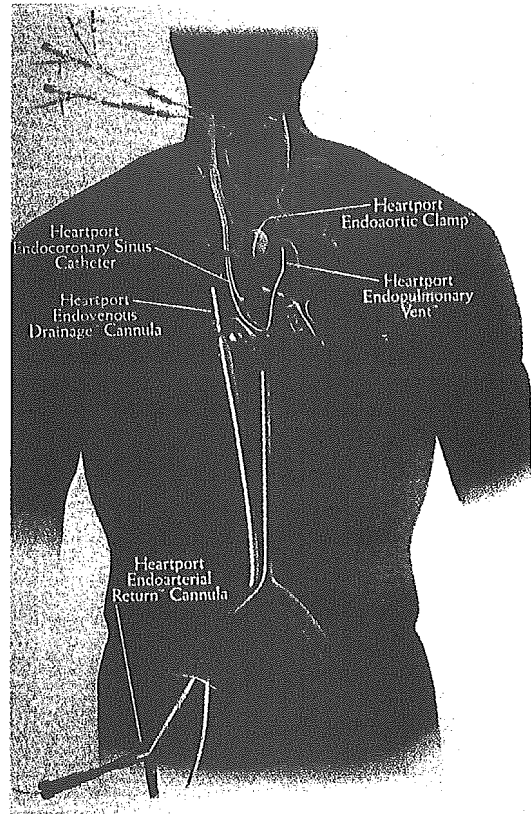


図 3 Heartport システムの各種カテーテルの心腔内位置関係を示す。Endoaortic Clamp Catheter (EAC) のバルーンが膨らんだ状態を示す。

でありその内訳は冠動脈バイパス術での内胸動脈採取が 1171 例、血管吻合術 495 例、僧帽弁膜症手術 112 例、心房中隔欠損閉鎖術 35 例である。また、中期成績として Mohr らは da Vinci™ を用いた心臓手術を 148 例以上行い、患者を選択して行えば安全で手術成績も良いことを報告している<sup>13)</sup>。

### da Vinci™ システム

da Vinci™ システムは以下の部分より構成される。

- ① the surgical instrument cart(手術アームカート) - 実際に手術を行う部分で、内視鏡とロボット左右の腕からなる。内視鏡は高解像度 3 次元硬性鏡で、3 チップカメラを 2 つ内蔵し、本来の視覚と同様の立体画像を提供する。また、



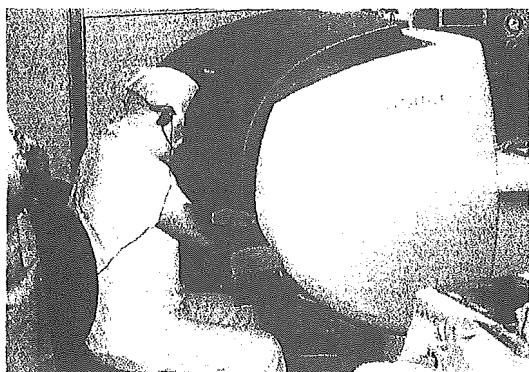


図 4 術者コンソールで操作する術者



図 5 術者の手の動きにあわせ動くエンドリスト

ロボットのアームに接続する Endo Wrist™ instrument は各種の鉗子、持針器などが 10 種類以上揃っており、またエンドリストの関節は 7 方向の可動性があり、人の手首のような自在な動きが可能である(図 4)。

- ② the surgical console(術者コンソール; 図 5) - オペレーターがロボットを実際に操作する場所であり、別室に設置することも可能である。内視鏡からの高解像度 3 次元画像を見ながら操作する。手術器具の動きは手の動きの 1/2 1/5 に変換可能であり、また生理的振動消去機能により手の振るえなどを消すことができる。
- ③ the vision system(ビジョンシステム) - コンソールでオペレーターが見ている endoscope の画像を映し出し、メンバー全員が手術の進行を把握できる。

#### 4. MICS における今後の展望

わが国においては、MICS が欧米ほど広く行われていないことは事実である。そして伝統的な開心術の習得後に新たな MICS のための learning curve があることも事実である。しかしながら、患者サイドに立った医療が求められ、その結果、患者の肉体的、精神的負担の軽減を目的とする低侵襲手術への志向が強くなり、医療経済からみて効率的な医療、すなわち回復期間が短く医療費削減に効果がある医療が求められている現代において、これらの技術が心臓外科手術法の 1 つのオプション、あるいはメニューになって行くことは確実であると考えられる。今後の技術革新によりさらなる発展がなされ、多くの患者に利益がもたらされることを期待したい。

#### § 文献

- 1) Litynski GS : Profiles in laparoscopy : Mouret, Dudois, and Perissat : the laparoscopic breakthrough in Europe(1987-1988) . *JLS* 1999 ; 3 : 163-7
- 2) Benneti FJ, Ballester C, Sani G, et al : Video-assisted coronary bypass surgery. *J Card Surg* 1995 ; 10 : 620-25
- 3) Cosgrove DM, Sabik JF : Minimally invasive approach for aortic valve operation. *Ann Thorac Surg* 1996 ; 62 : 596-9
- 4) Chitwood WR Jr, Elbeery JR, Chapman WH, et al : Video-assisted minimally invasive mitral valve surgery : The "Micro-Mitral" operation. *Thorac Cardiovasc Surg* 1997 ; 113 : 413-4
- 5) Ryohei Yozu, et al : Minimally Invasive Cardiac Surgery by the Port-Access Method. *Artificial Organs* 2001 ; 26 : 430-437
- 6) 四津良平, 申範圭, 前原正明, ほか : 低侵襲心臓手術(MICS)における基本的アプローチとその選択. *日外会誌* 1998 ; 99 : 810-16
- 7) Yozu R, Shin H, Maehara T, et al : Port-Access minimally invasive cardiac surgery : Experience with 34 cases at Keio University Hospital. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg* 2001 ; 49 : 360-4
- 8) 四津良平, 三丸敦洋, 申範圭, ほか : 低侵襲心臓手術のアプローチ法の変遷 - 慶應義塾大学病院における 136 例の検討 -. *慶應医学* 2001 ; 78 :

151-8

- 9) 四津良平：Minimally invasive cardiac surgery (MICS). 新井達太(編)：心臓弁膜症の外科, 医学書院 東京 2003 ; p 503-525
- 10) 四津良平：Port-Access 法による弁膜症を中心とした心内修復術. 許俊鋭(編)：低侵襲心臓手術. 診断と治療社 東京 2002 ; p 146-155
- 11) Ryouhei Yozu, Hankei Shin, Atsuhiro Mitsumaru, et al : A New End-Aortic Occlusion Balloon for Limited Access Cardiac Surgery : Development and Clinical Evaluation. *ASAIO Journal* 2001 ; 47 : 254-6
- 12) Carpentier A, et al : Computer-assisted cardiac surgery. *Lancet* 1999 ; 353 : 379-380
- 13) Mohr FW, et al : Computer-enhanced robotic cardiac surgery : experience in 148 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001 ; 121 : 842-53

低侵襲心臓手術における手術器具の  
発展と改良\*慶應義塾大学医学部外科（心臓血管）  
森 光 晴 四津 良平\* Development and improvement of the devices for minimally invasive cardiac surgery  
キーワード：低侵襲心臓手術，port-access MICS，direct EAC パルーン

要旨：心臓外科手術は他の領域と同様，低侵襲化の方向に向かっている。現在，本邦で行われている低侵襲心臓手術（minimally invasive cardiac surgery：以下，MICS）は多くあるが，筆者らは主に胸骨部分切開によるいわゆる standard MICS，右第4肋間を主とした小開胸，内視鏡補助下で行う port-access MICS による弁膜症，心房中隔欠損症，左房粘液腫などの手術を多数積極的に行っている。こういった術式では術野が狭小なため，鉗子やカニューレ，大動脈遮断法に至るまで様々な手技や器具が開発，改良されてきた。その一部は通常の胸骨正中切開による開心術に應用されている。心臓外科手術は今後も新しい手技や器具の開発，改良に伴い，さらなる低侵襲化に向かっていくことが期待される。

## ■ ■ ■

## はじめに

近年外科手術の分野において患者に優しく，侵襲が少なく，術後回復の早い腹腔鏡や胸腔鏡手術が日常の臨床で進歩・発展するようになってきた。心臓外科領域も例外ではない。筆者らは以前から積極的に低侵襲心臓手術（minimally invasive cardiac surgery：以下，MICS）を行ってきた<sup>1)</sup>。主に胸骨部分切開による standard MICS およびより低侵襲な port-access MICS（胸骨切開を伴わない肋間小開胸による MICS）による弁膜症手術を数多く行っている。心臓手術は伝統的に胸骨を縦に全長にわたって切離す胸骨正中切開により行われてきた。それに対し，MICS は胸骨部分切開や傍胸骨切開（standard MICS：図1）や右小開胸（port-access MICS：図2）など切開部位を必要最小限にとどめ，術後の疼痛や感染（胸骨感染や縦隔炎）を軽減し，美容上も優れた心臓手術のアプローチである。MICS は患者の QOL 向上と迅速な

社会復帰を促進する<sup>2)</sup>。

ここでは主に弁膜症における低侵襲心臓手術の発展とともに開発，工夫され，通常の胸骨正中切開による開心術にも應用されるようになった手術器具ならびに手技について述べる。

## ■ ■ ■

## 低侵襲心臓手術の発展

1993年フランスで Dr. Laborde によって動脈管開存症（PDA）の手術が小開胸による VATS（胸腔鏡下手術）で行われた。1995年には冠動脈バイパス手術がアルゼンチンの Dr. Benetti により行われ，そして1996年にはフランスの Dr. Carpentier により心内手術の僧帽弁の手術が行われた。1997年 Chitwood らは第4肋間開胸および第5肋骨部分切除にて僧帽弁手術を行い，同年に新しく port-access 法を取り入れた右小開胸での内視鏡下僧帽弁手術を報告した<sup>3)</sup>。この時期から port-access MICS が行われるようになった。その後その技術が新しいコンピューター技術と結びつき，



図1 胸骨部分切開による MICS の切開創



図2 Port-access 法による右第4肋間小開胸創

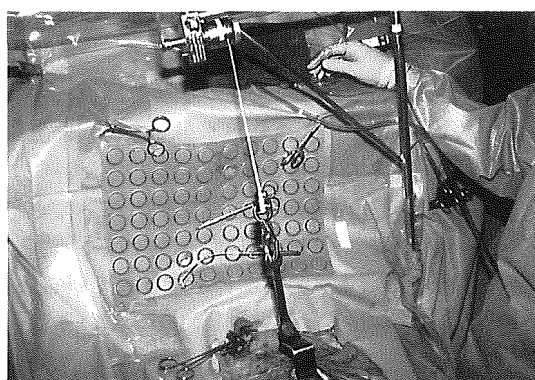


図3 胸骨リトラクター

胸骨を上方へ持ち上げ、胸骨下のスペースを確保するのに有用である。

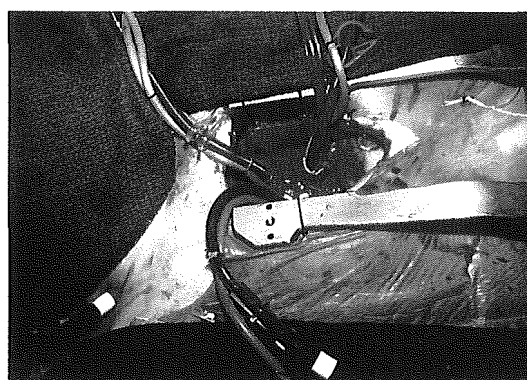


図4 Standard MICS における術野

左上が PCPS 用の送血カニューレで上行大動脈から刺入している。細く、フレキシブルなため術野の妨げにならない。左下が右内頸静脈から挿入した SVC の脱血カニューレで右上が心筋保護液注入ライン、右下に向かうのが左室ベント。

近年のロボットを用いた robotic cardiac surgery へとつながってきている。



## Standard MICS における手技、器具

胸骨部分切開で行う standard MICS では通常胸骨正中切開と比較し、その術野はかなり狭小なものとなる(皮膚切開 8~9 cm)。そのため使用する器具、人工心肺のカニューレや鉗子、手術操作などに工夫が必要で、種々の器具が開発・改良された。

### 1. リトラクター

MICS では胸骨下のスペースに制限があるため上行大動脈の一部が胸骨下に隠れてしまい、大動脈遮断やカニューレ挿入が困難なことがある。そのような症例に対し胸骨と上行大動脈との間にスペースを確保するため、胸骨を頭側へ牽引するリトラクターが開発された(図3)。これはパイパ

ス手術の際に使用する胸骨リトラクターを改良したもので、鉤の部分は各種サイズがあり、患者に最も適したものを選択する。これにより安全に大動脈遮断や、カニューレ挿入が可能となった<sup>4)</sup>。

### 2. 人工心肺

送血カニューレは上行大動脈から PCPS 用の 16~20 Fr のものを用いる。これは通常の送血カニューレより細く、フレキシブルなため術野の妨げにならない(図4)。脱血カニューレは大動脈手術など 1 本脱血の場合、右房直接あるいは右内頸静脈や大腿静脈から挿入する。僧帽弁手術など 2 本脱血の場合、右内頸静脈から SVC に、右房あるいは大腿静脈から IVC にカニューレ挿入を行う。また SVC、IVC に対するテーピングは SVC は

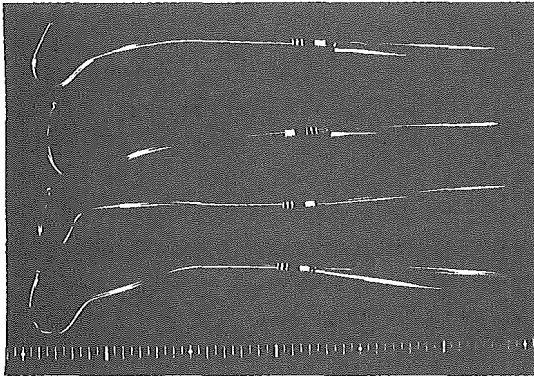


図5 下大静脈テーピング用のIVCデシャン  
湾曲を変化させることが可能で、非常に深い場所でも比較的容易にテーピングが可能である。

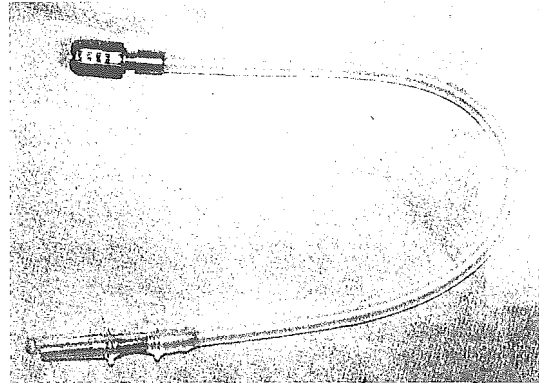


図6 バスケットサクシオンとして用いる  
Yozu-DOBON®  
サクシオン先端が金属のため重みがあり、安定して  
同じ場所の吸引が可能。

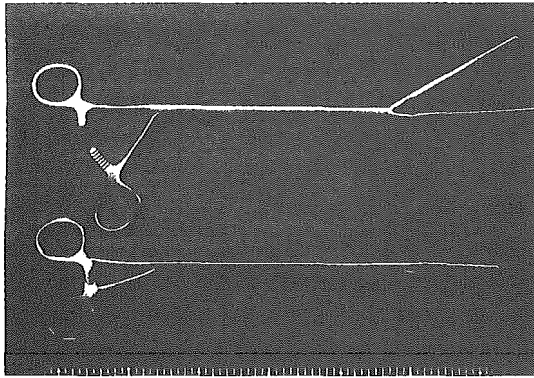


図7 Chitwoodのsliding大動脈遮断鉗子  
第2または第3肋間胸壁外より刺入し使用する。

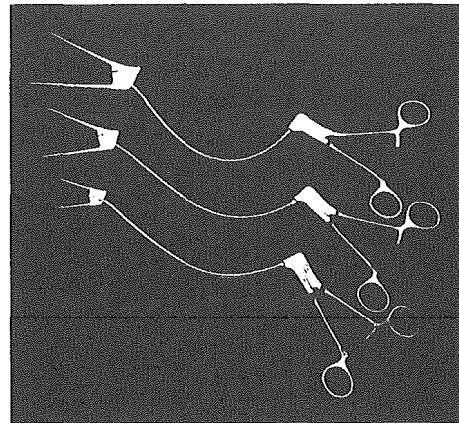


図8 Cosgrove Flex Clamp®  
シャフトが自由に曲がり、狭小な術野から挿  
入可能。

比較的容易に行えるが、IVCに関しては術野が狭小なため困難である。そこでテーピングを容易にするためIVCデシャン（Yozuデシャン、図5）を開発した。これは3次元的なカーブを持ち、個々の症例で湾曲を変化させることができる。これにより非常に深い場所でも比較的容易にテーピングが可能となった。その後、陰圧吸引補助脱血法を取り入れることによりIVCのテーピングが不要となり、現在筆者らはstandard MICS, port-access MICS どちらにおいても基本的にIVCのテーピングは行っていない。陰圧吸引の加減とIVCの右房開口部に心内吸引のバスケットサクシオン（Yozu-DOBON®, 図6）を留置することにより術中良好な視野が得られる<sup>5)</sup>。

### 3. 大動脈遮断

狭小な術野では大きな遮断鉗子は手術操作の妨

げとなる。そこで工夫された遮断鉗子が開発された。経胸壁的に挿入するChitwood Sliding Clamp（図7）は通常右第2肋間に小孔を開けて大動脈遮断を行う。鉗子のシャフト部がフレキシブルなCosgrove Flex Clamp®（図8）はシャフト部を手術操作の妨げにならないように曲げられ、またどのような方向からでも大動脈遮断できるため狭小な術野で非常に扱いやすい。



### Port-access MICSにおける手技、器具

僧帽弁や心房中隔欠損に対する手術の場合、通常右乳腺下の第4肋間開胸で行う。皮膚切開は約5cmである。Standard MICSと比較するとより狭

小な術野となる。術者以外は術野がほとんど確認できないため内視鏡補助下に手術を行う。また、心臓内操作部位までの到達距離も胸腔を介するためより遠くなる。そのため使用する鉗子や大動脈遮断法、カニューレ、吊り上げ鉤など様々な手技、器具が開発、改良されている。ここでは主に筆者らが多く行っている僧帽弁、心房中隔欠損症に対する port-access MICS について記述する<sup>6)</sup>。

### 1. 人工心肺

人工心肺の回路は末梢からの体外循環で行う。通常右大腿静脈から1本の脱血カニューレ(1本脱血)を経皮的に挿入し、先端を経食道心エコーのガイド下に上大静脈まで挿入する。2本脱血が必要であれば前もって右内頸静脈に留置した5Frのシースを用い、経皮的にSVCに脱血カニューレ(通常18Frの送血カニューレを脱血用に代用)を追加する。あるいは術野から経右房的に挿管チューブ(スパイラルチューブ)をSVCカニューレとして挿入する。送血カニューレ(通常18または20Fr)はカットダウンによって大腿動脈に挿入している。カットダウンにする理由は術後3~5日で歩行または退院するためである。送血カニューレ挿入時もガイドワイヤーが確実に下行大動脈内腔にあることを経食道心エコーで確認する。

陰圧吸引補助脱血法を採用しているため、基本的には standard MICS の部分で記した通り IVC のテーピングは不要である。IVC の右房開口部にバスケットサクション (Yozu-DOBON<sup>®</sup>—前述) を留置する。

### 2. 術野の展開

軽度脱血した部分体外循環下に心膜を横隔膜神経に注意しながらその上部を電気メスで切開する。上行大動脈付近の心膜は症例によって前縦隔脂肪組織が多く付着しており、その場合この部の心膜切開は完全な止血を目的に jaw 型のハーモニック スカルペル<sup>®</sup>を用いる。切開された心膜を手術視野を良好にするような位置に経皮的 (end-close を用いる) に糸針で牽引し、皮膚に固定する。また膨隆した横隔膜を同じように経皮的に尾側に牽引し、皮膚に固定する。これにより視野が格段

に良くなる。左心ベントとして右上肺静脈から左室にベントカテーテルを挿入する。

### 3. 大動脈遮断法

Port-access MICS における大動脈遮断法には2通りある。1つは血管内腔から遮断する方法 (endo-aortic clamp 法: 以下, EAC 法), もう1つは血管外壁から遮断鉗子を用いる方法 (aortic cross clamp 法: 以下, AXC 法) である。EAC 法は特別に開発された心筋保護液の注入ラインを併せ持つ“大動脈内閉塞用バルーン”を使う。AXC 法は standard-MICS の部分で述べた特殊な血管遮断鉗子を用いる。

#### ① Endo-aortic clamp 法 (EAC 法)

この方法に用いるバルーンには米国 Heartport 社で開発された Heartport システムによるものと四津が開発した direct EAC (Yozu balloon) によるものがある。

##### a. Heartport システム法

Heartport システムは Heartport, Inc., によって開発された心臓手術の minimally invasive approach のシステム名称である。Heartport システムの主要な部分は endo-aortic clamp catheter (EAC) である (図9)。この EAC はトリプル・ルーメンの 10.5 Fr, 約 100 cm のカテーテルで、先端に大動脈内閉塞用バルーン (endo-aortic clamp balloon) が付いている。バルーンを大腿動脈から挿入し、上行大動脈まで進め、バルーンを膨らませ血流を遮断する。順行性の心筋保護液の注入や aortic vent が可能である。当院では 1997 年以来 26 例にこのシステムを用い MICS を行った。この Heartport システムは現在本邦で入手困難であり詳細を省略する (他文献を参照)。

##### b. Direct EAC (Yozu balloon) 法

Heartport システムの endo-aortic clamp catheter (EAC) の問題点 (末梢動脈が細いなど問題があると使用できない。バルーンが移動しやすい。入手ができないなど) を解消する EAC があればより広い患者に port-access MICS が適応になると考え、独自に direct EAC balloon (Yozu balloon) を開発した (東海メディカルプロダクト: 春日井市・愛知県)<sup>7)</sup>。このバルーンは外 3.6 mm, 全長 40

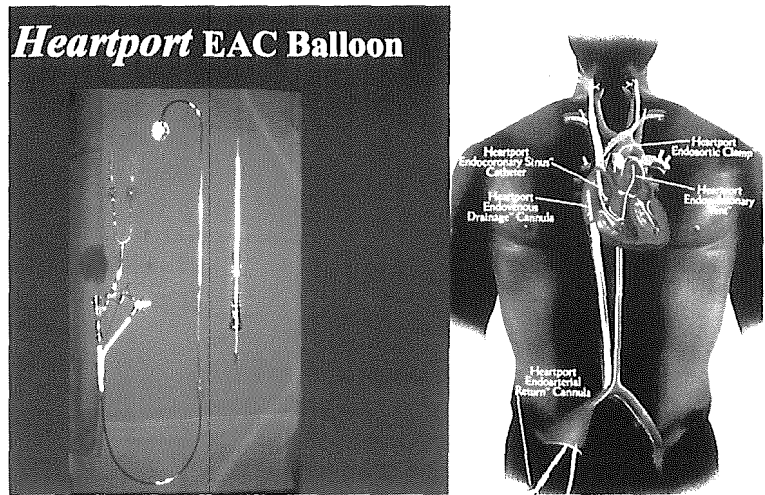


図9 Heartport システム  
Heartport 社により開発された大動脈遮断用バルーンシステムである。大腿動脈から挿入し上行大動脈まで進めて大動脈遮断を行う。現在本邦では入手困難。

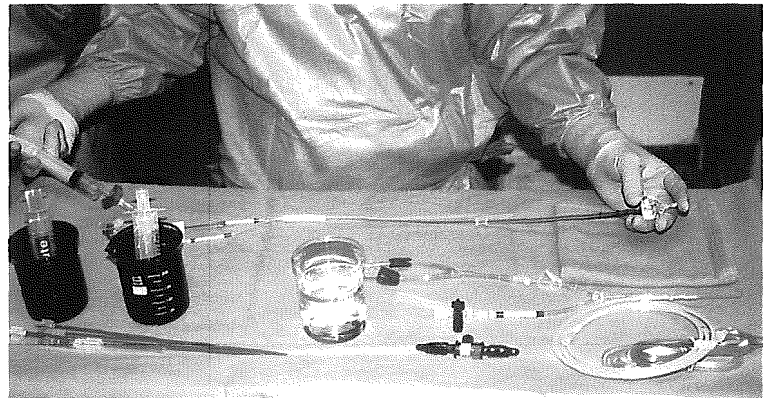


図10 Direct EAC バルーン (Yozu バルーン)

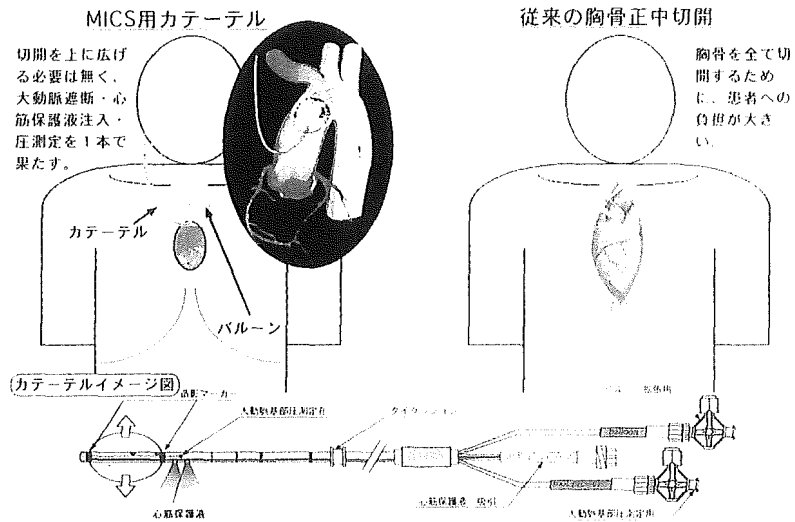


図11 Direct EAC バルーン (Yozu バルーン)  
3 腔構造になっており、大動脈遮断、心筋保護液注入、大動脈ペント、大動脈基部圧モニターが行える。上行大動脈から直接刺入するため全長は 40 cm と短い。

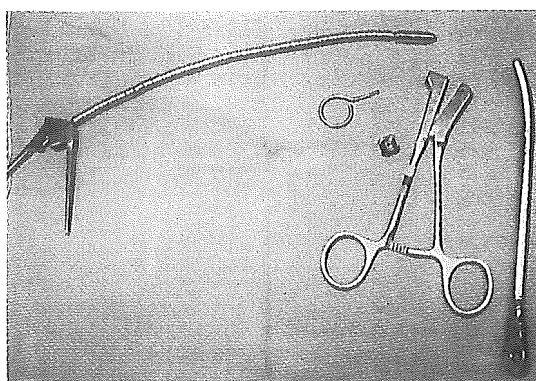


図 12 Cosgrove-Yozu Flex Clamp

Cosgrove Flex Clamp®をシャフト部分とハンドルの部分を分解，組み立てができるよう改良したもの。経胸壁的に挿入し大動脈遮断を行うためさらに小切開での手術が可能となった。

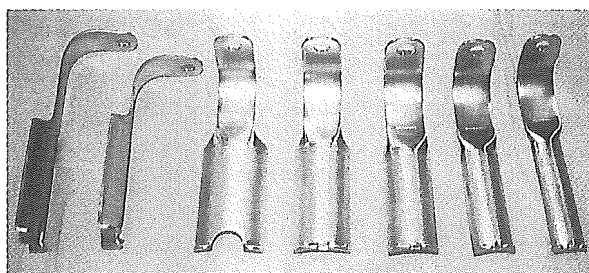


図 13 Port-access 法のために開発した僧帽弁用のリトラクター

へら面は僧帽弁前尖弁輪のカーブに似た彎曲がついている。また，滑りにくいように工夫がされている。各種サイズがあり，最も適したものを選択する。

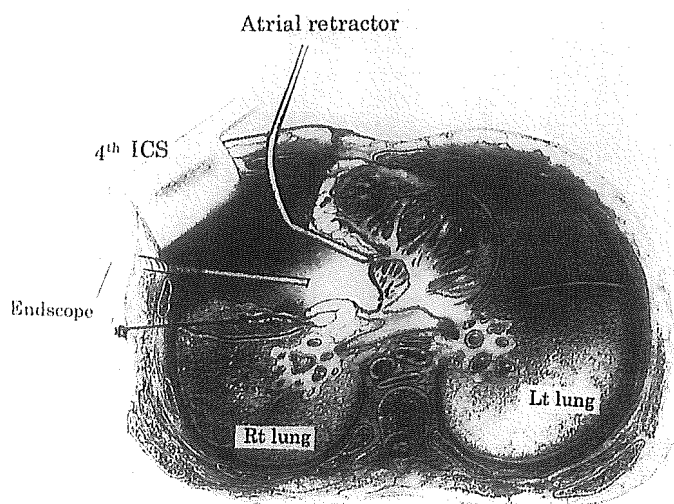


図 14 Port-access 法による僧帽弁手術の視野の展開

僧帽弁全体がよく展開されているのがわかる。

cm のトリプル・ルーメンから成るバルーンカテーテルである。切開創から距離のある上行大動脈に直接バルーンをタバコ縫合にて動脈内に挿入する。心筋保護液注入と aortic vent が行える (図 10, 11)。この特徴は Heartport のバルーンと異なり，その適応が末梢の動脈や胸腹部・弓部大動脈の性状・形状に制限されないことである。また挿入や抜去が容易で，かつ刺入部でタバコ縫合を用いターニケットで固定されているのでバルーンの migration (移動) が起きない。また Yozu balloon の応用としては通常の開心術症例での強度の石灰化大動脈症例や再手術症例で大動脈を剥離しないで大動脈遮断が可能である。

## ②Aortic cross clamp 法 (AXC 法)

前述した特別な遮断鉗子を用いる方法である。また，新たに Cosgrove Flex Clamp®をシャフトの部分とハンドル (ラチェット) の部分を分解・組み立てできるように工夫したものを開発した。すなわち Cosgrove Flex Clamp®を Chitwood Sliding Clamp のように経胸壁的に挿入し，大動脈遮断を行うものである (図 12)。この改良 (Cosgrove-Yozu Flex Clamp) により Chitwood Sliding Clamp と Cosgrove Flex Clamp®の両方の長所が生きた鉗子が誕生した。これにより更なる小切開で，より安全・確実・簡便に port-access MICS が行えるようになった。



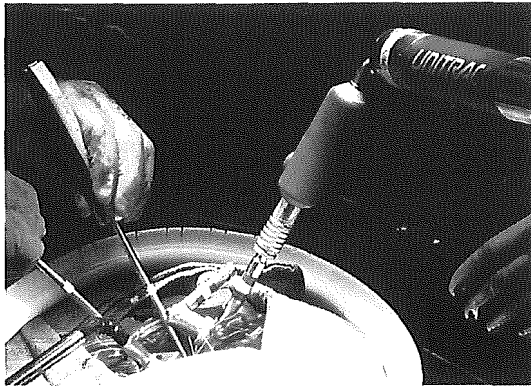


図 15 僧帽弁用リトラクターの固定  
AESCULAP 社のユニットラック・リトラクションシステムを用いる。Port-access 法で僧帽弁形成術を行っているところ。視野固定の解除・再固定がボタン 1 つの one action で迅速かつ確実にできる。

#### 4. 大動脈遮断法の選択

これらの方法のなかでどの tool を選択・使用するかは手術を円滑に行うために重要である。筆者らは術前 CT を参考にして術中の解剖学的見地から大動脈に無理な外力が架からない自然な形で遮断できる最適な方法を症例毎に選択している。すなわち Heartport システムの EAC バルーン (現在は入手困難)、Direct EAC balloon (Yozu balloon)、Chitwood Sliding Clamp そして Cosgrove Flex Clamp<sup>®</sup>、modified Cosgroove Flex Clamp の中から選択する。

#### 5. 僧帽弁手術における atrial retractor

Port-access MICS における僧帽弁手術では基本的に右側左房切開で左房内に到達するが、視野が狭小で深いため従来の吊り上げ鉤での展開が困難であるため、独自に僧帽弁の atrial retractor を開発した (図 13)。これはサイズが各種あり、個々の症例で適したものを選択する。これを中隔にかけて上方に牽引し、僧帽弁を展開すると非常に良好な視野が展開される (図 14)。この retractor の固定には AESCULAP 社のエアーススペンション式のユニットラック・リトラクションシステムを用いる (図 15)。このシステムを用いると間歇的に

行う心筋保護液注入時 (順行性) の視野固定の解除・再固定がボタン 1 つの one action で迅速、確実に行える。また、助手に指示しなくても術者自身で視野の展開、固定が容易に行える<sup>8)</sup>。



#### おわりに

以上、MICS の発展とともに開発、改良されてきた手術手技、器具に関して述べたが、いずれの手技、器具に関しても通常の胸骨正中切開による開心術に応用可能であり、実際に使用されている。心臓外科領域における内視鏡下手術は現在発展途上であり、今後さらなる種々の器具、手技の開発、改良とともにより低侵襲で安全な手術の確立が期待される。

#### 文 献

- 1) 四津良平, 三丸敦洋, 申 範圭, 他: 低侵襲心臓手術のアプローチ法の変遷—慶應義塾大学病院における 136 例の検討. 慶應医学 78: 151-158, 2001
- 2) Walther T, Falk V, Metz S, et al: Pain and quality of life after minimally invasive versus conventional cardiac surgery. Ann Thorac Surg 67: 1643-1647, 1999
- 3) Chitwood WR, Elbeery JR, Moran JF, et al: Minimally invasive mitral valve repair using transthoracic aortic occlusion. Ann Thorac Surg 63: 1477-1479, 1997
- 4) 四津良平: 低侵襲小切開心臓手術 (Minimally Invasive Cardiac Surgery: MICS). 日本体外循環技術研究会教育セミナーテキスト, 第 14 号 75-82, 1998
- 5) Shin H, Yozu R, Maehara T, et al: Vacuum assisted cardiopulmonary bypass in minimally invasive cardiac surgery —Its feasibility and effects on hemolysis. Artificial Organs 24: 450-453, 2000
- 6) Yozu R, Shin H, Maehara T, et al: Port-Access minimally invasive cardiac surgery; Experience with 34 cases at Keio University Hospital. Jap J Thorac Cardiovasc Surg 49: 360-364, 2001
- 7) Yozu R, Shin H, Mitsumaru A, et al: A New End-Aortic Occlusion Balloon for Limited Access Cardiac Surgery; Development and Clinical Evaluation. ASAIO J 47: 254-256, 2001
- 8) 四津良平: 低侵襲心臓手術—Port-access 法による僧帽弁膜症手術. 日本人工臓器学会第 19 回教育セミナーテキスト, 2003, pp89-96

(MORI Mitsuharu, et al 慶應義塾大学医学部外科 (心臓血管): ☎ 160-8582 東京都新宿区信濃町 35)

# 解説! 心臓血管手術

7

## 低侵襲心臓手術 (MICS)

慶應義塾大学医学部外科 (心臓血管) 吉武明弘 教授 四津良平  
Yoshitake Akihiro Yozu Ryohei

### はじめに

心臓外科手術では、一般に人工心肺を使用し、胸骨正中切開で行われてきた。1980年代より消化器外科領域での低侵襲手術が行われるようになり、1987年フランスで腹腔鏡を用い胆嚢摘出術が行われた。心臓外科領域でも、その7年後の1993年、同じフランスで動脈管開存症 (patent ductus arteriosus ; PDA) の手術がVATS (胸腔鏡支援) による小開胸で行われた。それ以降、胸骨横断法によるアプローチや、Port-access法、そして最近ではコンピュータ技術と結び付いたRobotic surgeryなどの低侵襲心臓手術 (minimally invasive cardiac surgery ; MICS) が世界的に広がっている。

### MICSの定義

現在われわれはMICSの定義を以下のように考える。

- ①体外循環を使用しないこと。
  - ②胸骨全長切開を行わないこと。
  - ③またはその両方。
- これらのいずれかの条件を満たすもの。

### MICSの利点

従来の胸骨正中切開、人工心肺使用の心臓外科手術に比べて、MICSの利点としては以下のことがあげられる。

- ①7~8cmと傷が小さい (図1)。
- ②疼痛が軽い。
- ③回復が早く、迅速な就業 (社会復帰) が可能である。

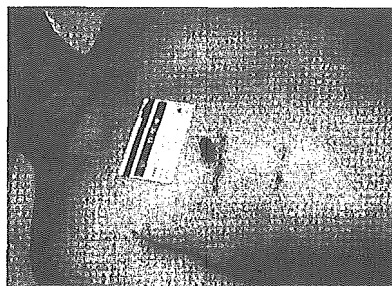


図1 Port-access法による右第4肋間の小開胸創（僧帽弁手術）

- ④病院滞在日数が少ないので、経済的に優れている。
- ⑤胸骨感染、縦隔炎の合併症を軽減できる。
- ⑥美容上有利である。

## MICSの分類

MICS は大きく2つに分類される。小さい皮膚切開で人工心肺装置（体外循環）を用いずに冠動脈バイパス術を行うMIDCAB（minimally invasive direct coronary artery bypass）などの冠動脈バイパス術と、体外循環を用いて小切開で弁膜症などの手術を行う方法である。

### 1 MIDCAB（低侵襲冠動脈バイパス手術）

皮膚切開は主として左前胸部小切開で行うが、最近、胸骨小切開で入る術者もいる。左内胸動脈を直接剥離する方法と胸腔鏡を用いて剥離する方法がある。

初期はITA-LADのバイパス手術で、これをstandard MIDCABというが、最近は切開創を上腹部小切開（subxyphoid MIDCAB）や左第IV肋間側方切開などに変えて右冠状動脈、左回旋枝などへ左・右ITA、胃大網動脈などを用いて行うバイパス法が開発され、さらに複数本のバイパスが行われている。

### 2 低侵襲心臓外科による弁膜症手術およびPort-Access system（P-A）

MIDCABとは人工心肺を使用する点で異なるため、small incision cardiac surgery（SICS）という人もいる。また、Port-Access心臓手術は、低侵襲心臓手術法（MICS）の中の1つであり、従来の胸骨正中切開に代わり単一または複数のport（s）（＝挿入孔）から心臓に到達する心臓手術法の総称である。

## 僧帽弁手術の切開法

### 1 Mini-sternotomy with lower right-side semi-transverse division（J字法）

Standard MICSでは第2肋間（2nd J字法）で切開しており、Port-access MICSでは第3肋間以下でのほんのわずかの胸骨切開で手術ができるようになった。

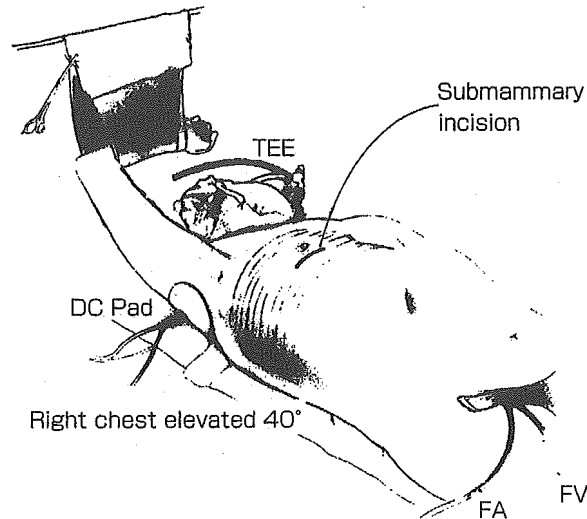


図2 手術体位

右腕を頭の上に持ち上げるようにつるし、40°左側臥位にする。経食道心エコー（TEE）プローベを挿入し背側に除細動パッド（DC pad）を貼付し、右乳房下切開を行う

## 2 右乳房下切開（図2）

これは右乳房下に5~7cmの皮膚切開を行い、第4肋間にてミニ開胸する。肺を虚脱させ心膜を切開すれば、右心房および右側左心房が露出する。これらの切開法による僧帽弁手術は、手術視野が小さくまた僧帽弁の位置は非常に深くなる。そのため内視鏡を用いて深い術野を拡大してモニターする工夫や、複雑な操作を容易に行うための内視鏡手術器具が開発されている。

## 体外循環の工夫

低侵襲の意味からすると体外循環を使用しないことが望ましいが、現時点では弁膜症の心臓手術は体外循環なしには不可能である。ここではMICSに適した体外循環の工夫について説明する。

### 1 カニューレ

Central CPBの場合、小さな手術視野で手術を行うため小口径のカニューレが適している。Peripheral CPBの場合は術野にカニューレがないため視野的に有利である。

### 2 脱血の工夫

MICSの手術創においてはPeripheral CPBの方が望ましいが、主に脱血不良にてポンプ流量に脱血量が追いつかないことがある。通常脱血は落差脱血で行われているが細いカニューレからより多くの流量を出すために、静脈貯血槽に陰圧をかけて脱血を行うVAVD（vacuum assisted venous drainage）をわれわれは用いている。