

# 体外循環および人工心肺の最近の進歩

松本年史<sup>†</sup> 菊池洋一<sup>\*</sup>

IRYO Vol. 70 No. 8/9 (349-355) 2016

## 要旨

人工心肺や心筋保護、補助循環などの体外循環技術の進歩とともに心臓大血管手術の成績は安定し、虚血性や弁膜症、動脈瘤が複合した複雑手術症例や複数回手術症例など危険率が高い手術においても比較的安全に修復されるようになった。しかしながら、手術適応患者の重症化や高齢化にともない体外循環技術も個々の病態に応じた最適化が必要となりつつある。人工心肺および体外循環の最近の進歩について、開放型人工心肺では神経認知機能障害対策としてガス状微小塞栓 (GME) を減じるための方法と対策、複雑な再手術例において安全に手術を施行するための体外循環方法の紹介。また、大動脈遮断困難例の応用例や心筋保護、閉鎖型回路の臨床効果と今後の可能性などを解説する。

キーワード 人工心肺, 体外循環技術, 心筋保護

## はじめに

人工心肺や体外循環技術の進歩とともに心臓大血管手術の成績は安定し、虚血性や弁膜症、動脈瘤が複合した症例や複数回にわたる再手術など危険率が高い手術においても比較的安全に修復されるようになった。しかしながら、手術適応患者の重症化にともない体外循環技術も個々の病態に応じた最適化が必要となりつつある。また、駆動部分である人工心肺装置は、さまざまな医療機器の組み合わせによって構成されるため、自動制御が難しく職人的技術の介入により施行されているのが現状であり、未だ進歩の余地が存在する。人工心肺および体外循環の最

近の進歩について自施設の経験を踏まえて紹介する。

## 開放型人工心肺

心臓大血管の治療に用いられる人工心肺は、人工肺や静脈貯血層、人工心肺回路やラインフィルター、各種センサーなどの医療材料を組み合わせられて構成される。近年はデバイスの進歩や体外循環技術者の工夫が相まって充填量が減少し無輸血にて施行されるようになったが、一方で血液希釈による合併症の報告もあり<sup>1)-3)</sup>、施設によってはさらに回路の細径化や可能な限りの短縮などをはかって充填量を減少させている。しかし、過度な短縮回路や細径化された

国立病院機構帯広病院 医療機器安全管理室 \*心臓血管外科 †臨床工学技士  
別刷請求先: 松本年史 国立病院機構帯広病院 医療機器安全管理室 〒080-8518 北海道帯広市西18条北2丁目  
e-mail: matsu0521@gmail.com

(平成27年10月29日受付, 平成28年5月13日受理)

Recent Progress of Extracorporeal Circulation

Toshifumi Matsumoto and Youichi Kikuchi\*, Medical Equipment Safety Management Center, Obihiro National Hospital,

\*Department of Cardiovascular surgery, Obihiro National Hospital

(Received Oct. 29, 2015, Accepted May. 13, 2016)

Key Words: cardiopulmonary bypass, extracorporeal technology, myocardial protection

回路での体外循環は安全性を損なう可能性も潜んでいるため、帯広病院（当院）では十分な安全性を確保した回路構成としている。また、細径回路にて十分な脱血量を維持するためには吸引補助脱血が必要であり、過度な陰圧での吸引補助脱血や低い貯血レベルの維持は、マイクロバブルを増加させガス状微小塞栓（Gaseous microemboli: GME）の原因となる<sup>4)</sup>。最近の報告では、GMEは毛細管虚血と内皮細胞損傷につながり<sup>5)</sup>、術後の神経学的症状の悪化なども懸念されている<sup>6)7)</sup>ことから、十分な安全域を確保した体外循環管理が望まれる。以下にGME対策や複雑な再手術例、大動脈遮断困難例、など最近の体外循環の工夫について述べる。

### 1. ガス状微小塞栓（GME）対策

体外循環中のガス状微小塞栓（GME）は、術後せん妄や認知機能障害の要因の一つであることが着目されている<sup>7)8)</sup>。高齢者の症例が増加している現在では、せん妄などの術後認知機能障害は離床を遅延させる原因であり、その対策はきわめて重要である。体外循環中のマイクロバブル（Microbubble: MB）発生機序は、静脈側からの気泡混入によりポンプや不均一な流路によって粉碎された微小気泡とされ、症例や体外循環方法、回路構成などによっても違いがあると報告されている<sup>9)</sup>。

当院における開放型人工心肺、開放型人工心肺吸引補助脱血、閉鎖型人工心肺のMB送血調査では<sup>10)</sup>、開放型人工心肺吸引補助脱血が開放型人工心肺と閉鎖型人工心肺に比較し、有意にMB送血量が多い結果より（図1）、吸引補助脱血は、脱血回路内への気泡引き込み量の増加や陰圧による気泡粉碎が促進されることによって、MB送血が増加することが示唆された。吸引補助脱血法は良好な脱血を得るため必要不可欠な補助脱血方法ではあるが、-40 mmHg以上の陰圧レベルはGMEが増加する<sup>11)</sup>報告より、適正な陰圧レベルでの操作が重要と考える。また、統計学的有意差は認められなかったが、最低直腸温が低い症例においてMB発生量が多い傾向であった。これは低温の血液が加温状態の熱交換器に接触すると、血中に溶存した気体が膨張しMBを形成する。その温度勾配が10℃以上のときにはさらに増加するとの報告もある<sup>12)</sup>ことから、低体温を使用した症例では温度勾配管理を含めたGME対策が必要と考える。

一方、発生したMBの除去方法は未だ未解決である。現時点では人工肺が最もMBを多く除去で

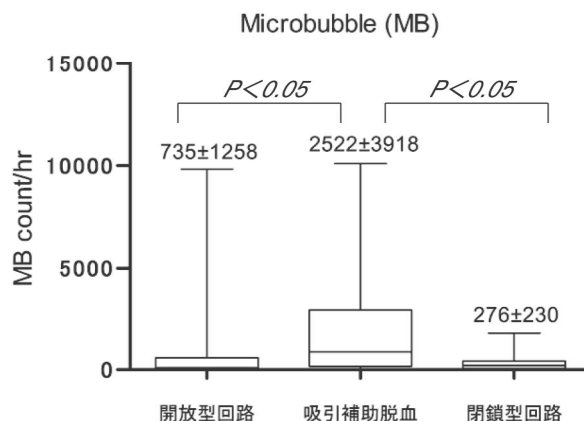


図1 体外循環方法の違いによるマイクロバブルの発生数（文献10）より引用）

きるデバイスであるが、人工肺によって除去率に違いがある<sup>13)</sup>。すなわち、除去効率のよい人工肺を選択することでMB送血量を減少させることは可能であるが、完全に除去できるデバイスは存在しない。したがって、MBは、‘発生させないこと’が重要であり、チーム共通の認識とすることによって、術後の神経認知機能障害を軽減させることができる可能性がある。

### 2. 複数回手術症例の体外循環

心臓大血管の手術成績が安定するとともに複数回にわたる手術症例も増加している。心臓大血管の再手術は、①胸骨再正中切開時の縦隔内臓器損傷、②癒着剥離時の出血、③縦隔内臓器圧迫（大血管や心臓）が問題であり、心臓圧迫時の循環制御や出血時の循環血液量管理がきわめて重要となる。当院では、①②③が事前に予測される場合、胸骨再正中切開前に大腿動静脈より体外循環を確立させている<sup>14)</sup>。体外循環を胸骨再正中切開前に先行する利点は、再胸骨正中切開時の縦隔内臓器損傷を軽減させ、癒着剥離時の出血、縦隔内周囲組織剥離時の臓器圧迫による循環動態の制御が可能であり、ハイリスクな複数回手術症例においても安全かつ確実に手術を進行させることができると考える。当院での胸骨再正中切開前に体外循環を先行させた群（pre-ECC）と胸骨再正中切開・癒着剥離後に体外循環を施行した群（post-ECC）の比較検討では（表1）、pre-ECC群がpost-ECC群に比較して体外循環時間は延長し（ $p=0.01$ ）、低体温や循環停止などと相まって輸血量は増大した（ $p<0.001$ ）。しかし、pre-ECC群において手術危険率が高いにもかかわらず、post-ECC群と遜色ない臨床結果から（表2）、胸骨再正中切開前

表 1 複数回手術の対象症例 (文献15)より引用)

	Pre-ECC群	Post-ECC群	p value
性別 (男/女)	11/8	16/4	0.13
年齢	72.83 ± 8.09	65.9 ± 12.69	0.05
手術			
・冠動脈	0	3 (15.0%)	0.23
・弁膜症	6 (31.5%)	14 (70.0%)	0.021
・動脈瘤	2 (10.5%)	0	0.22
・複合手術	11 (57.0%)	3 (15.0%)	0.057
再手術回数			
・1st redo	13 (68.0%)	18 (90.0%)	0.12
・2nd redo	6 (31.0%)	1 ( 5.0%)	0.04
・3rd redo	0	1 ( 5.0%)	—
過去の手術			
・冠動脈	2 ( 8.0%)	4 (18.2%)	0.39
・弁膜症	7 (32.0%)	12 (54.0%)	0.13
・動脈瘤	10 (40.0%)	2 ( 9.0%)	0.02
・複合手術	6 (24.0%)	4 (18.2%)	0.73
Euro Score (%)	28.84 ± 18.0	12.45 ± 10.41	0.008

表 2 複数回手術の結果 (文献15)より引用)

	Pre-EC群	Post-ECC群	p value
体外循環時間 (min)	226 ± 83.1	150.5 ± 84.6	0.01
体外循環先行時間 (min)	51.2 ± 21.11	14.7 ± 14.4	<0.001
大動脈遮断時間 (min)	100.3 ± 63.6	128.3 ± 61.0	0.2
最低直腸温 (°C)	25.6 ± 4.6	31.4 ± 17.1	<0.001
循環停止 (例)	9	2	0.08
輸血量 (ml)	1975 ± 1143.5	746.6 ± 503.8	<0.001
FFP (ml)	1170 ± 797.8	160 ± 306	<0.001
体外循環バランス (ml)	-281.4 ± 1289.7	129.5 ± 2675.4	0.5
手術死亡	0	0	—
術後早期死亡 (30日)	0	1	0.52

に体外循環を先行させることで完全に人工心肺で循環を制御させ、循環不全に陥ることなく安全に手術を進行させることが可能と考える<sup>14)</sup>。

また、複数回手術では手術の安全域を広げるため、必要に応じて低体温を用いる<sup>16)</sup>。とくに以前の手術にて人工血管が存在している場合は肺動脈や上大静脈などと強固に癒着し、大動脈遮断に難渋する場合がある。その場合は中等度～超低体温まで冷却し一旦循環停止とした上で大動脈遮断を行うのが安全な方法と考える<sup>17)</sup>。さらに、低体温は適正灌流量の可変が可能となるため<sup>18)</sup>、無血術視野の確保が困難な場合、流量を軽度低下させることにより術視野が改善する場合がある。

### 3. 大動脈遮断困難例の心停止法 (Systemic hyperkalemia 法)

複数回手術による周囲臓器との高度癒着や上行大

動脈の高度石灰化など大動脈遮断が危険かつ困難な場合、大動脈遮断を行わずに手術をせざるを得ない。非大動脈遮断下の心内修復方法は、心拍動下や心室細動下、超低体温循環停止下などが報告されている<sup>19)20)</sup>。しかし、心拍動や心室細動下では静止視野が得られず手術操作が困難であり、空気塞栓の問題があること、超低体温循環停止では許容時間が短いことから、当院では大量の塩化カリウム溶液を静脈貯血層に投与し血清カリウム濃度を上昇させて心停止を得る全身高カリウム化法 (Systemic hyperkalemia 法)<sup>21)</sup>によって心内修復術を施行している。方法は塩化カリウム溶液またはアスパラギン酸カリウムを40-100mEq/l (1 mEq/l/kg 程度)を静脈貯血槽内へ急速投与し心停止を得る。時間経過とともに血清カリウム濃度は低下し心臓は再拍動をするため、心内操作が終了するまでの間血清カリウム濃度を目



標値 8-10mEq/l 程度となるよう適時静脈貯血槽内へ投与する。血清カリウムの正常化には血液浄化を必要とするが、高流量血液透析と希釈式血液濾過の併用で概ね30-40分程度にて電解質の正常化が可能である<sup>22)</sup>。

## 心筋保護法

心筋保護法は施設によってさまざまな方法や選択肢が存在し、組成液、投与方法ともに複雑化しているのが現状であるが、晶質液単体の心筋保護よりも晶質液と血液を一定の比率で混合した血液心筋保護 (BCP) の優れた臨床効果<sup>23)</sup>から BCP が一般的に用いられている。しかし、BCP は晶質液と酸素化血を混合し心臓に注入するため、複雑な修復になればなるほど晶質液が注入され、体外循環回路などによって血液希釈した血液を心筋保護液によってさらに希釈してしまう過剰希釈が問題であった。一方で、酸素化血液へ直接カリウムやマグネシウムを混注する Mini-cardioplegia<sup>24)</sup>が血液心筋保護と遜色ない方法として報告され<sup>25)</sup>、この方法がさまざまな添加液を正確に血液へ混注可能な心筋保護液注入装置 MPS (クエストメディカル社、米国) を用いた微量心筋保護 (Microplegia<sup>TM</sup>) として進歩した。当院においても血液心筋保護を用いていたが、2010年より晶質液を必要としない Microplegia<sup>TM</sup> へと移行した<sup>26)</sup>。当院における Microplegia と BCP の比較検討を(1)大動脈遮断時間が3時間未満の症例、(2)大動脈遮断時間が3時間以上の症例、(3)慢性透析症例、に分類し以下に要約する。

### 1. 大動脈遮断時間が3時間未満の症例

大動脈遮断が3時間未満の症例の BCP と Microplegia の比較検討では、Microplegia は BCP に比較し、心筋保護液注入量や体外循環中血糖値が有意に減少し、大動脈遮断解除後の自然心拍動率や術後の左室駆出率に差がない結果から Microplegia は BCP と遜色ない心筋保護であることが示唆された<sup>26)</sup>。

### 2. 大動脈遮断時間が3時間以上の症例

大動脈遮断時間3時間以上の症例の BCP と Microplegia の比較検討では、Microplegia は BCP に比較し心筋保護液注入量、体外循環中血糖値が有意に減少し、大動脈遮断解除後の自然心拍動率や、術後 CK が有意に低い結果 (表3) を踏まえると、複雑な修復術を必要とし大動脈遮断時間が長い症例ほど心筋保護効果が高く、体外循環管理を容易にす

ることが示唆された<sup>28)</sup>。

## 3. 慢性透析症例

厳密な水分管理を必要とする慢性透析症例において BCP + 希釈式血液濾過 (Dilutional ultrafiltration: DUF) と Microplegia + 血液透析 (Hemodialysis: HD) の比較検討では、Microplegia + HD は、BCP + DUF に比較して、HD が DUF よりアルブミンリークが少ない特性より、術後総蛋白と血清アルブミンが有意に高値であった (図2)。さらに、術中出血量に差を認めないにもかかわらず、輸血量が増加し、術後 Ht が低値であることから、血液透析のアルブミン保持と Microplegia の間質性浮腫を軽減する<sup>29)</sup>相乗効果によって循環血液量を保持し、良好な循環動態を維持することが可能であり、人工呼吸時間や在院期間が有意に短縮した結果 (表4) より、慢性透析症例に対して Microplegia と体外循環中血液透析は早期離床を促すことが示唆された<sup>30)</sup>。

## 閉鎖型人工心肺の可能性

Mini circuit など閉鎖型人工心肺は、人工心肺を用いない冠動脈バイパス術より1年後の狭心症が少なく完全血行再建に有利なこと、ハイリスク症例において術後早期死亡率が低く、輸血量・強心薬の使用量が減少する<sup>31)-33)</sup>などの優れた臨床報告によって、欧米各国では冠動脈バイパス手術を中心に普及し、本邦でも一部の施設ではあるが徐々に導入されている<sup>34)35)</sup>。

当院では、完全閉鎖回路による気液分離と低充填化、術野出血の洗浄処理により低侵襲化し、さらに人工心肺装置に装備される安全装置に連動させることによって安全性を高めた人工心肺システム (Minimally Circulatory Support System; MCSS) (図3) を導入し、冠動脈バイパス手術を中心に施行している<sup>36)-38)</sup>。

当院における開放型人工心肺と MCSS の比較検討では、MCSS は開放型人工心肺に比較し体外循環中の血中乳酸値上昇が有意に減少し (図4)、昇圧薬や抗凝固薬などの使用量が少ないことから、生体にとって低侵襲な体外循環方法であることが示唆された。しかしながら、Mini Circuit は現在の構造上、すべての心臓手術や動脈瘤適応することは難しく、拡張性や汎用性では、症例数の蓄積された開放型人工心肺が高いことが現状である。それは、閉鎖型人工心肺システムは開放型人工心肺の装置や医療

表3 大動脈遮断時間3時間以上 Microplegia の結果 (文献27)より引用)

	BCP	Microplegia	p value
体外循環時間 (分)	286.8 ± 63.5	281.0 ± 42.5	NS
大動脈遮断時間 (分)	223.1 ± 47.4	208.8 ± 27.3	NS
人工心肺バランス (ml)	-212.5 ± 1066.2	-640.4 ± 1492.8	NS
術中バランス (ml)	530.7 ± 1970.0	186.4 ± 2341.7	NS
心筋保護液注入量 (ml)	2312.9 ± 787.5	243.0 ± 109.6	<0.001
心肺中血糖値 (mg/dl)	514.4 ± 108.3	229.5 ± 59.1	<0.001
自然心拍動率 (%)	42%(5/12)	73%(8/11)	NS
ICU入室時P/F ratio	266.3 ± 97.2	264.1 ± 96.7	NS
術後CK (1日後)	2227.9 ± 1363.0	1342.6 ± 628.7	<0.05

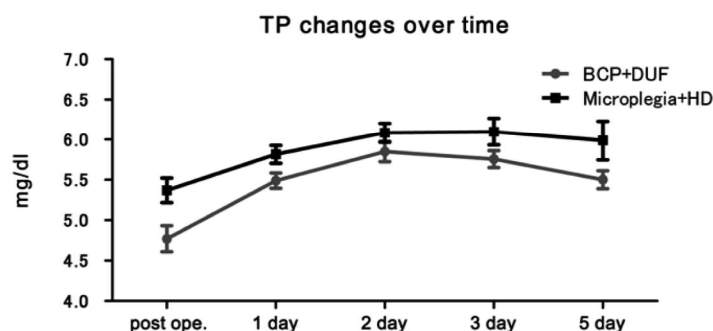


図2 術後総蛋白の推移 (第39回日本体外循環技術医学会大会 (2013年) ラウンドテーブルディスカッション)

表4 透析症例における Microplegia 結果 (第39回日本体外循環技術医学会大会 (2013年) ラウンドテーブルディスカッション)

	BCP+DUF	Microplegia+HD	p-value
体外循環時間 (分)	149.2 ± 11.7	127.0 ± 5.3	NS
大動脈遮断時間 (分)	99.0 ± 7.3	104.0 ± 6.7	NS
輸血量 (ml)	658.0 ± 72.45	1278 ± 93.9	<0.001
術中出血量 (ml)	-421.1 ± 358.0	872.4 ± 219.6	NS
人工心肺バランス (ml)	-1231 ± 239.7	261.0 ± 216.1	0.0002
術中バランス (ml)	-421.1 ± 358.0	872.4 ± 219.6	0.0034
人工呼吸時間 (時間)	7.7 ± 15.1	4.0 ± 0.37	<0.01
ICU滞在時間	3.4 ± 1.2	1.5 ± 0.2	NS
在院期間	54.3 ± 10.58	30.7 ± 3.0	0.02

材料を流用しているのが現状であり、体外循環や人工心肺の低侵襲化を推し進めるためには専用の装置設計や医療材料の開発など、産学一体の取り組みが必要と考える。また、当院においても固定概念にとらわれず、多角的な視点で閉鎖回路の可能性を模索し、研究を積み重ね進歩させていきたい。

おわりに

人工心肺および体外循環の最近の進歩を報告した。

日頃から基礎研究を積み重ね、体外循環のさらなる進歩を期待し今後の展望としたい。

著者の利益相反：本論文発表内容に関連して申告なし。

[文献]

1) DeFoe GR, Ross CS, Olmstead EM et al. Lowest hematocrit on bypass and adverse outcomes associated with coronary artery bypass grafting. Ann Thorac Surg 2001 ; 71 : 769-76.

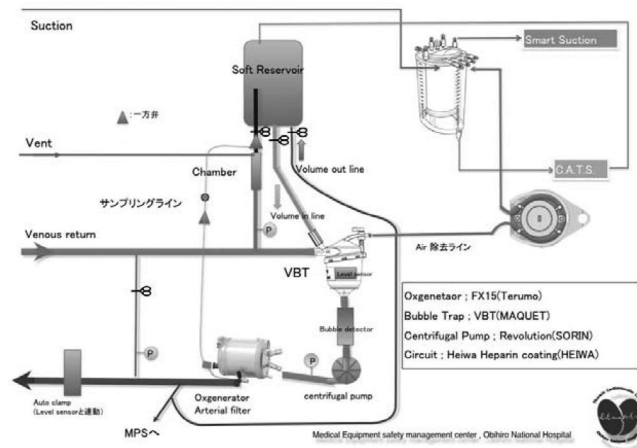


図3 Minimally Circulatory Support System ; MCSS (文献38) より引用)

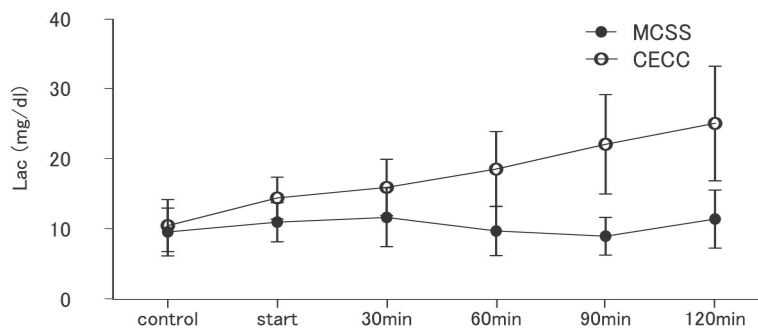


図4 体外循環中血中乳酸値の推移 (日本医工学治療学会第29回学術集会 (2013年))

- 2) Karkouti K, Beattie WS, Wijeyesundera DN et al. Hemodilution during cardiopulmonary bypass is an independent risk factor for acute renal failure in adult cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005 ; 129 : 391-400.
- 3) Karkouti K, Beattie WS, Wijeyesundera DN et al. Hemodilution during cardiopulmonary bypass is an independent risk factor for acute renal failure in adult cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005 ; 129 : 391-400.
- 4) Carrier M, Cyr A, Voisine P et al. Vacuum-assisted venous drainage does not increase the neurological risk. *Heart Surg Forum* 2002 ; 5 : 285-8.
- 5) Muth CM, Shank ES. Gas embolism. *N Engl J Med*. 2000 ; 342 : 476-82.
- 6) Rodriguez R, Rubens FD, Wozny D et al. Cerebral emboli detected by transcranial Doppler during cardiopulmonary bypass are not correlated with postoperative cognitive deficits. *Stroke* 2010 ; 41 : 2229-35.
- 7) Bokeriia L, Golukhova EZ, Polunina AG, et al. Post-operative delirium in cardiac operations: microembolic load is an important factor. *Ann Thorac Surg* 2009 ; 88 : 349-50 ; author reply 350-1 .
- 8) Pugsley W, Klinger L, Paschalis C et al. The impact of microemboli during cardiopulmonary bypass on neuropsychological functioning. *Stroke* 1994 ; 25 : 1393-9.
- 9) Zanatta P, Forti A, Minniti G et al. Brain emboli distribution and differentiation during cardiopulmonary bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2013 ; 27 : 865-75.
- 10) 谷口真吾, 松本年史, 川南聡ほか. 体外循環方法の違いによるマイクロバブル発生量. *日本体外循環医学会北海道地方会誌*. 2016 ; 14 : 16-8
- 11) Jones TJ, Deal DD, Vernon JC et al. Dose vacuum-assisted venous drainage increase gaseous microemboli during cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 2002 ; 74 : 2132-7 .
- 12) Geisser, HJ, Allen SJ, Mehlhorn U et al. Cooling gra-

- dients and formation of gaseous microemboli with cardiopulmonary bypass : an echocardiographic study. *Ann Thorac Surg* 1997 ; 64 : 100-4.
- 13) 笹山幸治, 柿本将秀, 平本芳恵. 人工心肺中のマイクロバブル発生と対処方法の検討. *体外循環技* 2014 ; 41 : 131-8.
  - 14) 松本年史, 朝井裕一, 谷口慎吾ほか. 心臓大血管の再手術における体外循環戦略. *体外循環技* 2012 ; 39 : 54-7.
  - 15) 谷口真吾, 加藤裕希, 松本年史ほか. 体外循環の違いによるマイクロバブル発生量, 日本体外循環技術医学会北海道地方会誌 2016 ; 14 : 16-18.
  - 16) 松本年史. 体外循環中の低体温による臓器保護効果. *臨体温* 2012 ; 30 : 28-33
  - 17) 菊地洋一. 右開胸アプローチによる僧帽弁手術. *CIRC Up-to-Date* 2010 ; 5 : 111.
  - 18) Hickey RF, Hoar PF. Hole body oxygen consumption during low-flow hypothermic cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983 ; 86 : 903-6.
  - 19) 倉島直樹, 荒井裕国, 小堺昭ほか. 大動脈非遮断心拍動下僧帽弁形成術における体外循環の比較-心停止下 MVP と心拍動下 MVP の比較-. *体外循環技* 2009 ; 36(2) : 135-8.
  - 20) 関口 敦, 樺澤寛二, 吉田譲ほか. 心室細動下僧帽弁手術時の体外循環. *体外循環技* 2005 ; 33 : 338.
  - 21) Ramanathan T, Shekar P, Fitzgerald D et al. Systemic hyperkalemia for cardiac arrest on CPB with or without cross-clamping. *J Card Surg*. 2008 ; 23 : 611-3.
  - 22) 松本年史, 朝井裕一, 清水良ほか. 大動脈遮断困難例における体外循環方法の検討. *体外循環技* 2012 ; 39 : 170-3.
  - 23) Buckberg GD, Dyson CW, Emerson RC et al. Techniques for administering blood cardioplegia : blood cardioplegia. In : Engelman RM, Levitsky S ed. *A Textbook of clinical cardioplegia*. Mount Kisko, N. Y., Futura, 1982 : 305-16.
  - 24) Le Houerou D, Singh AI, Romano M et al. Minimal hemodilution and optimal potassium use during normothermic aerobic arrest. *Ann Thorac Surg* 1992 ; 54 : 815-6.
  - 25) Calafiore AM, Teodori G, Mezzetti A et al. Intermittent antegrade warm blood cardioplegia. *Ann Thorac Surg* 1995 ; 59 : 398-402.
  - 26) 加藤裕希, 松本年史, 谷口慎吾ほか. Microplegia の心筋保護臨床効果. *体外循環技* 2011 ; 38 : 509-11.
  - 27) 谷口真吾, 加藤裕希, 松本年史ほか. 長時間の大動脈遮断症例における Microplegia の有用性. *日本体外循環技術医学会北海道地方会誌* 2012年 ; 10 : 9-12.
  - 28) 谷口真吾, 松本年史, 朝井裕一ほか. 長時間の大動脈遮断症例における Microplegia 法の有用性. *日本体外循環医学会北海道地方会誌* 2013 ; 5-8.
  - 29) Menasché P. Do We Still Need to Dilute? *Ann Thorac Surg* 1996 ; 62(4) : 957-60.
  - 30) 松本年史, 朝井裕一, 清水良ほか. 慢性透析患者に対する Microplegia および術中透析の有用性. *体外循環技* 2013 ; 40 : 365.
  - 31) Mazzei V, Nasso G, Salamone G et al. Prospective Randomized Comparison of Coronary Bypass Grafting With Minimal Extracorporeal Circulation System (MECC) Versus Off-Pump Coronary Surgery. *Circulation*. 2007 ; 116 : 1761-7.
  - 32) Bauer A, Diez C, Schubel J et al. Evaluation of Hemodynamic and Regional Tissue Perfusion Effects of Minimized Extracorporeal Circulation (MECC®). *J Extra Corpor Technol* 2010 Mar ; 42 : 30-9.
  - 33) Munos E, Calderon J, Pillois X et al. Beating-heart coronary artery bypass surgery with the help of mini extracorporeal circulation for very high risk patients. *Perfusion* 2011 ; 26 : 123-31.
  - 34) 百瀬直樹, 小久保領, 山越理恵ほか. 新しい Mini-Circuit (Smart Circuit) の考案. *体外循環技* 2008 ; 35 : 325-30.
  - 35) 高田 裕, 境真生子, 佐竹麻美ほか. Closed Circuit を用いた体外循環の拡張性の追求. *体外循環技* 2008 ; 35 : 339-42.
  - 36) 松本年史, 朝井裕一, 千葉章弘ほか. 完全気液分離型人工心肺が生体に及ぼす影響. *日臨工技士会誌* 2013 ; 48 : 136.
  - 37) 松本年史, 朝井裕一, 千葉章弘ほか. 冠動脈バイパス術における完全気液分離型人工心肺 (Minimally Circulatory Support System ; MCSS) の有用性. *医工治療* 2013 ; 25 : 188.
  - 38) 松本年史, 朝井裕一, 千葉章弘ほか. 閉鎖回路におけるラインフィルターおよびバブルトラップの実験的検討. *体外循環技* 2013 ; 40 : 28-33.