

大学における小児開心術の麻酔管理

井上 敏*, 平木 達弘*, 田山 慶一郎*
山下 典雄*, 津田 英照*, 無敵 剛介*

要 旨

過去1年3カ月88例の小児開心術の麻酔管理を、(1)導入より体外循環まで、(2)体外循環中、(3)体外循環後の3期にわけ retrospective に検討した。体外循環前ではファロー氏四徴症 (TOF) 群の肺血流の維持が問題となった。体外循環中では灌流状態と術後カテコラミン使用日数について検討してみたところ総体外循環時間、大動脈遮断時間に偏相関関係がみられた。その他は有意な関係はみられなかった。体外循環離脱後、VSD+PH 症例では術前よりの Pp/Ps の程度に応じて PaO₂ が低下した。手術成績は88例中手術死亡5例 (5.6%) であった。各疾患固有の病態をふまえたうえで、個々の麻酔管理が必要と考えた。

はじめに

小児開心術の麻酔管理には、先天性心疾患 (以下 CHD) 自体の血行動態の特異性の理解とともに体外循環という非生理的環境下での病態の理解が必要とされる。当大学では年間約80例前後の小児開心術を行っている。この10年の間により幼少、より複雑心奇形へとその適応は拡大したが成績はその外科的修復の困難さや合併する術前よりの循環や呼吸不全状態で一概に良好とはいえない。1992年1月より1993年3月までの小児開心術症例は88例であったが手術死5.6% と決して満足できるものではなかった。(図1, 図2)。私達は術中麻酔管理は次の3点に集約されると考えている。

(1) 心不全群での不全心の心収縮力とチアノーゼ群での有効な肺血流 (動脈血酸素飽和度) をい

かにして体外循環まで維持するか。

- (2) 体外循環中の至適な組織灌流の保持、また十分な心筋保護とその確認はどうすればよいか、そして安全な体外循環からの離脱とは。
- (3) 心筋の再灌流障害の把握、心内修復後の循環動態および呼吸状態の評価をいかにして行うかである。

この3点について我々の麻酔管理を述べたい。

1 搬入より体外循環まで

搬入時に血行動態の悪化をきたしやすいのはチアノーゼ性心疾患、特に日常生活でも anoxic spell 発作を合併した TOF (ファロー氏四徴症) である。TOF では肺血流が肺血管抵抗と体血管抵抗のバランスのうえに維持されている。搬入後意識下で静脈ルートが確保できなかったものは緩徐導入 (GO-ハロタン) を用いたが、肺血流の低下はわずかな体血管抵抗の低下で起こりうるので

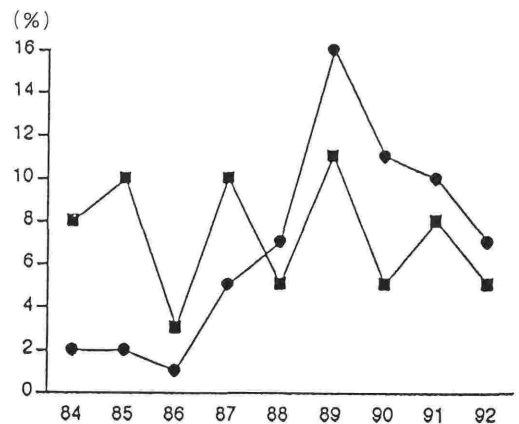


図1 過去9年間の3カ月未満症例, 死亡症例の推移
3カ月未満症例 (年間症例に対する%) —■—
死亡症例 (年間症例に対する%) —●—

*久留米大学医学部麻酔科

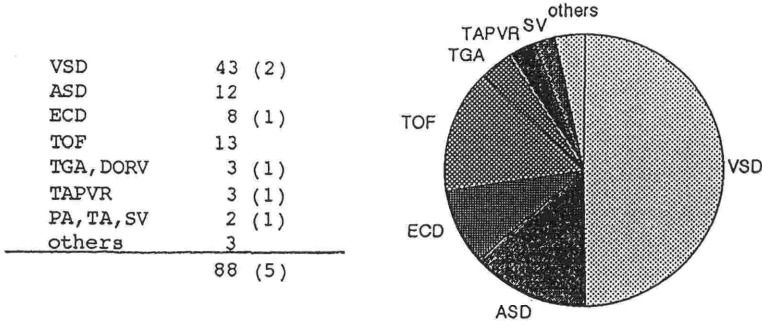


図2 1992年1月～1993年3月までの小児開心術症例の内訳

吸入気セロハン濃度の増量はゆっくり行った。同様に静脈ルートが確保できた導入の場合も麻薬の使用量は平均42 μg/kgと VSD などの肺血流増加群 (平均50 μg/kg) と比較し少なめとなった。我々の経験した TOF 13症例では導入時血行動態の憎悪をきたさなかったが手術中の血行動態の変化は他疾患に比べ多かった (4例/13例)。低血圧の際には、その原因が循環血液量の変化、心収縮力の低下、それとも低酸素状態からの2次性のものであるか、病態の血行動態を把握したうえで対応せねばならない。動脈血酸素飽和度の低下から心筋収縮力の低下をきたす TOF では心筋への最低レベルの酸素供給のために肺血流を維持せねばならない。そのためにはいたずらに心収縮力を増し右室流出路の狭窄を押し進める inotropic な薬の使用はひかえ、むしろ体血管抵抗を上げるメトキサミンのような α 刺激剤を使用している。また肺血管抵抗を上げぬようアシドーシスや過換気による PaCO₂ の低下を避けている。しかしながら以上のような注意したにもかかわらず特に体外循環に移行する前に低血圧に陥った症例が3例あった。これはいずれも肺動脈へのテーピングや肺動脈圧測定を誘因とした。外科操作に伴う血行動態の悪化は薬剤が有効でないことも多くこれらの場合、体外循環への移行は急を要した。また反対に VSD + PH 群のように術前よりの著しい肺血流増加群では心収縮力の低下と呼吸器合併症が問題となる。心収縮力の低下は慢性的容量負荷、肺血流増加から肺血管抵抗上昇による右心不全、2次性の冠灌流の低下に起因するため、この心機能低下に対しては容量負荷の軽減、変力効果をもつ薬で対処している。麻酔の維持は心抑制が少ないこと

より全症例フェンタニールを主とし笑気はその心抑制効果のため乳幼児以下では使用しないようにしている。また人工呼吸器は SERVO 900C を使用し volume control としている。気道内圧は 20 mmHg を越えぬようしているが術前よりの呼吸器合併症を併発しているものはバッグを實際手で押して肺の硬さを確かめその肺容量にみあった換気量に設定している。しかし VSD31例中4例に術後無気肺を起こした。

通常我々は、EKG (V5と四肢誘導)、動脈ライン (左橈骨動脈を第一選択)、右内頸静脈から挿入した中心静脈ライン、S_pO₂、ETCO₂ および直腸温、膀胱温をモニターしているが、PLSVC (左頸静脈遺残) 症例では左内頸静脈を、Fontan 手術では下大動脈へも圧ラインを挿入するなど疾患や術式に応じてモニターを追加している。さらに最近では経食道エコーや脳波もモニターしている。新生児や乳児では循環血液量が少ないため、送脱血チューブのカニューレションでのわずかな出血でも重篤な低血圧を招くのでいつでも急速の輸血ができるようにしている。また、輸血製剤は術前に radiation をしている。

2 人工心肺中

新生児、10 kg 未満の乳児では拍動流を併用している。人工肺は模型人工肺を使用しており心肺回路の充填量は約1100 ml で濃厚赤血球と凍結血漿ならびに NaHCO₃ (3 ml/kg) の有血充填として予想 Ht 値を 25 % に定めている。無血充填での体外循環開始時は送血が十分に mixing されるまでは pump flow をあげないように、さらに Total flow ができるまでは血圧低下を避けるため血管拡

張薬は投与していない。灌流圧は平均80mmHgを越えぬよう PGE1 (0.04 μ /kg/min) などの血管拡張薬にてコントロールしている。さらに灌流圧が30mmHgを下回るほど極端に低いときには Pump flow を約10%まで増やしているが、血管収縮剤は使用していない。心筋保護液は1990年までは当大学心臓外科作製の Crystalloid Cardioplegia を使用していたが、20 kg 以下の症例では昨年度より1%アルブミン添加の Crystalloid Cardiople-

表1 久留米大学における心筋保護液ならびに注入方法
Cardioplegia in Kurume University

Infant	
Composition	Crystalloid (+ albumin)
Temperature of solutions	4 $^{\circ}$ C
Infusion pressure	100 smHzO
Interval of infusion	20-30 min
Topical cooling (without ice)	(+)
Rectal temperature	26-28 $^{\circ}$ C
Myocardial temperature	8-22 $^{\circ}$ C
ECC flow (l/m ² /min)	2.6-3.0
Pulsatile	(+)

Composition of cardioplegic solutions

Component	Crystalloid	
	Infant	Adult
Na ⁺ (mEq/L)	125.0	116.7
K ⁺	10.0	25.0
Cl ⁻	127.0	127.0
Ca ⁺⁺	2.0	2.0
Mg ⁺⁺	2.0	2.0
HCO ₃ ⁻	10.0	16.7
SO ₄ ⁻⁻	2.0	2.0
Mannitol (mmol/L)	104.3	87.8
Glucose (mmol/L)	(-)	(-)
THAM (mmol/L)	(-)	(-)
CPD (ml/L)	(-)	(-)
Hematocrit (%)	(-)	(-)
Albumin (g/L)	10.0	(-)
PH	7.8	7.8
Osmolarity (mOsm/L)	350.0	350
Colloid osmotic pressure (mmHg)	4.2	0

gia を使用している (表1)。このアルブミン添加により cardioplegia 中の膠質浸透圧を維持し体外循環中の心筋浮腫を軽減させるものと考えている¹⁾²⁾。

体外循環中は心奇形の程度 (肺静脈の還流障害、Bronchial return の量) などにより外科的手技はもちろん体外循環のやり方も一様でない。いずれの場合でも新生児や乳児の未熟心筋、また不全心筋や肥大心筋へ充分な心筋保護を行い、体外循環に伴う全身の末梢循環不全をいかに防ぐかが重要となってくる。しかしながら小児開心術の心筋保護の評価および術後心機能の予想は体外循環中から離脱までの臨床的なパラメータからは難しい。

体外循環中、至適な組織灌流がおこなわれているかどうか(1)灌流圧と流量、(2)B. E、(3)尿量、(4)SvO₂を指標として体表面積が0.8以下の61例を対象に術後有効なカテコラミンドパミン(DOA) 5 μ g/kg/min以上、もしくはドブタミン(DOB、ノルエピネフリン、イソプロテレノールなどを使用)の使用日数で3群(A群20例、カテコラミン未使用、B群21例、同投与1~3日間、C群20例、同4日以上)にわけ各群間での有意差を検討した(図3)。A群とC群間では総体外循環時間、平均灌流圧、心筋保護液の使用量に有為差(P<0.01)がみられた。さらに表2の各因子と術後カテコラミン使用日数について重回帰分析をおこなったところ大動脈遮断時間が、最大の偏相関係数を持ちその他では離脱期ST変化および心筋保護液注入間隔、心筋保護液量には負の相関係数がみられた(図4)。近年体が循環技術の進歩によりより長時間の体外循環も可能となったが、やはり時間の要素は大きいと考えられた⁸⁾。また健常乳幼児の心筋は成人と比べ虚血状態に耐えるといわれているが³⁾、肥大心筋や不全心筋では心内膜下層の冠血流の不均等分布に陥りやすく、心筋保護液の注入に関してはその有効性を麻酔科医自身が確認する必要がある。組織灌流の結果としての、体外循環中の尿量、代謝性アシドーシスの進行の程度、SvO₂、各部位での温度変化などが術後循環状態の予想指標となりうるかを検討したが有意な相関係数をもつものはなかった。しかしながら統計学的には有為なものはいまだせなかったが臨床的にはやはりこれらの指標を重視している。

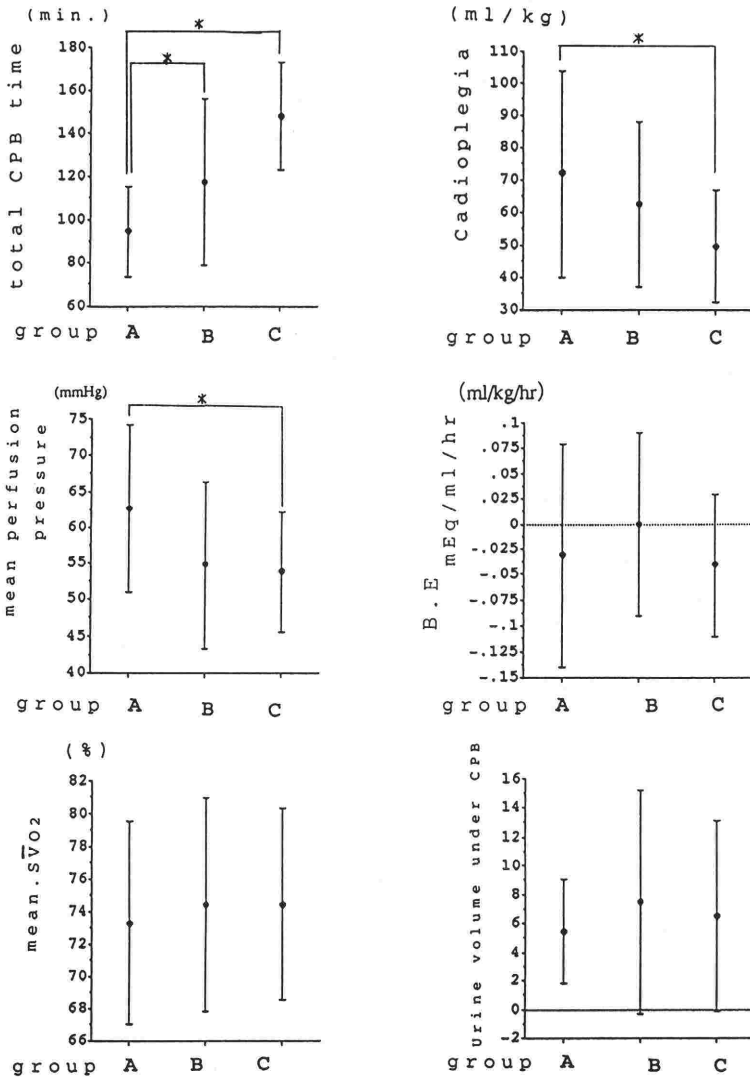


図3 各群間での諸指標の有為差 (* = $P < 0.05$)

3 体外循環よりの離脱

大動脈遮断解除後、30例 (34.0%) は心拍動が得られなかったため除細動を施行した。vf によっては左室心筋酸素消費量は empty beating に比べ著しく増す⁴⁾。また beating 下では心筋内血流分布が正常に近いいため心内膜側の回復が期待できる。そこでこの vf の間をできるだけ短くするために除細動をかけるが、心筋温が低いと除細動が効果的でないことが多いため心内修復の終了のタイミングをはかって復温させている。また数回の除細動で心拍動が得られないときはリドカイン

を 1 mg/kg 使用している。自己心拍再開後、rate が少ないときはベーシングで心拍数が増えるまで、また伝導障害があるときはまず誘因の除去を試み回復が見られないときは A-V sequential pacing も使用する。心電図にて ST 変化がなく肉眼的にも心臓の動きが充分で、色調も変化がないと判断したら体外循環よりの離脱を試みる。深部体温ならびに心筋温が復温するまで、また電解質が正常範囲になるまでは心室に負荷をかけない。離脱は CVP 負荷に対する動脈圧波形、脈圧、心拍数の変化をみながら試みている。前負荷の指標は右房圧を用い、術前よりの重度の左心系の未発達な

表2 体外循環中の諸指標

心筋保護に関する指標	Cardioplegia 注入間隔 (min)	
	注入量 (ml/kg/hr)	
	離脱時 ST 変化	
	ポンプ前麻薬量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
	離脱時間 (大動脈遮断解除から心肺停止までの時間)	
	補助循環時間比 \sim 離脱時間/大動脈遮断時間	
	大動脈遮断時間	
	総体外循環時間	
	組織灌流に関する指標	流量 灌流量 (ml/kg/min)
		灌流指数 (L/m^2)
圧 平均灌流圧 (mmHg)		
尿量 総尿量		
体外循環中尿量		
体外循環後尿量		
復温時尿量		
B. E 合計 B. E / 総体外循環時間 ($\text{mEq}/\text{ml}/\text{min}$)		
脱血側 SvO_2 冷却時最低 SvO_2		
復温時 \cdots 最低 SvO_2		
平均 SvO_2		
$\text{SvO}_2 < 60\%$ の時間		
体外循環中平均 SvO_2		
$\text{SvO}_2 < 60\%$ の時間		
最低 Ht.		
希釈率		
体温 最低直腸温		
復温率		

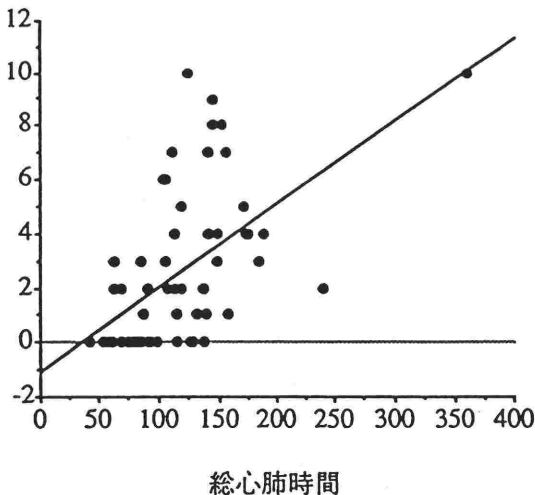


図4 総心肺時間と術後カテコラミン使用日数との関係 ($r=0.575, p=0.001$)

もの、離脱困難例を除いては左房圧は挿入していない。術中心筋保護が不良で離脱困難が予想される場合には経食道エコーも挿入し、左房の大きさや左室の動きをモニターしながら離脱を試みている。離脱時前後から血行動態に応じてカテコラミンおよび血管拡張薬を投与している。一般には乳児の心筋では β 受容体が未発達であるためイソプロテレノールが第一選択との報告もあるが同剤の血管拡張作用が陽性変時効果より強かった臨床例も何度か経験しており、心拍数(特に心室のrate)の少ない場合の投与を除いては、DOAを第一選択としている。DOAは88例中81例(92%)と大部分の症例に持続投与したが、うち35例は $4\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 以下で、残り46例が $5\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 以上で変力作用を期待して持続投与した。DOAは

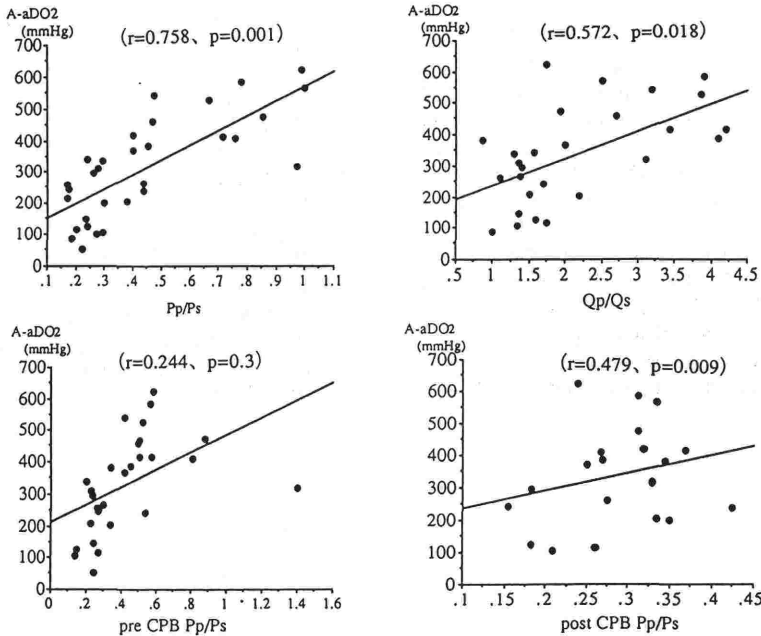


図5 術前 Qp/Qs Pp/Ps ならびに術中測定 Pp/Ps とポンプ離脱後の A-aDO₂ との関係

10 μg/kg/min 以上の投与で肺血管抵抗を増加させることもあるためそれ以上の assist を必要ときは DOB (初回量 4 μg/kg/min.) を、またさらに低血圧のため離脱が困難なさいにはノルエピネフリン (同 0.02 μg/kg/min.~) も併用している⁵⁾。ノルエピネフリンの持続投与で症例中、特に尿量の低下はみられなかった。血管拡張薬はプロスタグランジン E₁ (PGE₁) (0.02 μg/kg/min.~) を第一選択としている。ニトログリセリン (TNG) (0.5 μg/kg/min.~) は心電図上、ST 変化がある場合に使用している。

4 離脱後の low PaO₂

我々は術前からの PH (肺高血圧症症例 Pp/Ps >0.6) には体外循環後の肺血管拡張ならびに有効な肺胞血流の増加を期待し体外循環中より PGE₁ を投与している。しかしながら体外循環離脱後の肺動脈圧測定では肺動脈圧はコントロールしているにもかかわらず体外循環離脱後より搬出までの間に、短時間での急激な PaO₂ の低下 (A-aDO₂ の開大) をしばしば経験している。この A-aDO₂ の開大は術前の心カテデータの Pp/Ps に相関がみられた (図 5)。その原因として、慢性の

PH のため肥厚した肺動脈に不可逆性の部分が多い可能性、体外循環後一過性に肺動脈が攣縮しやすいこと、換気血流の不均等などが考えられた^{6) 7)}。TNG はシャント様効果で A-aDO₂ の開大をさらに増悪させる可能性があるため特に肺高血圧症例での離脱後には投与しない。有効な換気肺胞の血流を増やす管理をさらに検討中である。また VSD+PH 症例では体外循環から手術終了時にかけて無気肺が容易におこりうるため用手換気も頻回におこなっている。

ま と め

昨年度の術中死亡、手術死亡は各 2 列、3 列あった。うち 2 例は重度の低心拍症候群 (LOS) であった。我々の施設には小児の大動脈バルーンポンプ (IABP)、膜型人工肺 (ECMO) などの補助循環設備はないため体外循環よりの離脱が困難なさいには体外循環を続け心収縮力はじめ全身状態の改善を持つしか手はないのが現状である。多種多数のモニターからの情報をいかに具体的に評価し、その後を予想しえるかが私たちの今後の課題である。

文 献

- 1) Bodenhamar R M, et al : The effect of adding mannitol or albumin to crystalloid cardioplegia solution. A prospective and randomized clinical study. *Ann. Thorac. Surg* **40** : 374, 1985
- 2) 米永国宏, 安井久喬, 角秀秋ほか : 乳児開心術における心筋保護法 — albumin 加 crystalloid cardioplegia 法の検討 — *胸部外科* **40** : 646-651, 1987
- 3) Bove E L, Stammer A H. : Recovery of left ventricular function after hypothermic global ischemia. *J Thorac Cardiovasc Surg* **91** : 115-122, 1986
- 4) Buckberg G D, Brazier Nelson R L, et al : Studies of effects of hypothermia on regional myocardial blood flow and metabolism during cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc* **73** : 87-94, 1977
- 5) Mentzer R M, Alegre C A, Nolan S P. : The effects of dopamine and isoproterenol on the pulmonary circulation. *J Thorac Cardiovasc Surg* **71** : 807-814, 1976
- 6) Ravinovitch M, Haworth S G, et al : Lung Biopsy in Congenital Heart Disease: A Morphometric Approach to Pulmonary Vascular Disease, *Circulation* **58** : 1107-1122, 1978
- 7) 後藤俊介, 津田英照, 清水大一郎ほか : 肺高血圧症を伴う心室中隔欠損症の麻酔管理. *麻酔* **35** : 1181-1187, 1985
- 8) Kirklin J K, Blackstone E H, et al : Intracardiac surgery in infants under age 3 months: Incremental risk factors for Hospital Mortality. *The Am J Cardiol* **48** : 500-506, 1981