S-2-1 新生児期開心術補助手段の工夫

東京女子医科大学附属日本心臓血管研究所循環器小児外科

澤 渡 和 男	今 井 康 晴	星 野 修 一	石 原 和 明
瀬 尾 和 宏	寺 田 正 次	竹 内 敬 昌	三 隅 寛 恭
新 岡 俊 治	太 田 淳	杉 山 喜 崇	久 保 英 三
大 野 英 昭	長 嶋 光 樹	野 地 智	平 井 雅 也
柏 木 潤 一	斉 藤	聡 滝 口	信

新生児開心術は、臓器組織の未熟性と脆弱性への認識と対策が要求される分野である。ここではわれわれの教室での新生児開心術の成績を示し、補助手段の工夫に論点において新生児開心術の現況を述べたい。

新生児開心術成績の現況

1988 年から 1992 年の間に東京女子医科大学循環器小児外科において施行した新生児期開心術は 147 例であり、手術死亡は 32 例 (22%) であった。手術症例の内訳 (表 1) は、完全大血管転位症あるいは両大血管右室起始症に対する Jatene 手術 77 例、総肺静脈還流異常症 23 例、総動脈管症 6 例、左室低形成症候群 14 例、心内膜欠損症 2 例、大動脈縮窄複合 5 例、大動脈縮窄を伴った完全大血管転位症 1 例、大動脈縮窄や大動脈離断に aortic obstruction を伴った 8 例、その他 7 例であった。手術死亡率は、総動脈管症、大動脈縮窄や大動脈離断に aortic obstruction を伴った例、左室低形成症候群などで依然として高いが、他の疾患では症例の増加とともに低下傾向にある。手術死亡原因をみると、総肺静脈還流異常症では高度の肺静脈閉塞や肺静脈低形成の合併、心内膜床欠損症や総動脈管症では脆弱な逆流弁の合併など修復が困難か不可能なものが主因を占めている。手術時日齢と死亡率の関係をみると、両者は逆相関の関係にあった。また、手術時体重と手術死亡率の関係でも、3 kg 以上 (71 例) の 15.5% に比べて 2~3 kg (68 例) では 23.5%、2 kg 以下 (8 例) では 50% となっており、重症な複雑心奇形ほど当然のことながら日齢が低くて低体重のときに外科治療に踏み切らなければならない事実を示している。

開心術補助手段

1. 人工心肺、拍動流人工心肺装置

COMPO (トノクラ社製) を開発し、使用している。本装置はポンプのケーシングに特徴を有する。すなわち従来型のポンプで存在した、ローラーがチューブを離れるときに発生する backward flow を、スリーブ型ケーシングの採用でローラーをチューブから徐々に離脱させることで防止するものである。送脱血共にポンプを使用して、中等度低体温 (直腸温 28°C)、低流量 (80~100 ml/kg/min) を原則とした。動脈カニューラは操作性と圧力減衰特性を両立させた改良型極薄金属チップ (外径 2.5 mm、内径 2.0 mm) 製を用いた。また人工肺は膜型人工肺 VPCML (COBE 社製) を使用した。充填液は新鮮血を基本とし、必要に応じて新鮮凍結血漿を添加するが、希釈率は 20% 以内にとどめ、Ht 値は開始時から 25~30% に維持し、加温とともに正常域になるまで限外濾過で水分を除去し、人工心肺離脱時の Ht 値を 35% 以上に上昇させた。人工心肺中の液量平衡と人工心肺時間の関係を図 1 に示したが、両者間に相関はなく、人工心肺時間の延長に伴う液量平衡の破綻は認めなかった。

2. 心筋保護法

Hypothermic hyperkalemic crystalloid cardioplegia (K^+20 mEq/l) を用い、局所冷却を重視併用している。心筋保護液には $NaHCO_3$ 5 ml と mannitol 11 ml を加えて osmolarity 340 m Osm/l、pH 7.4 とし、初回投与量 20 ml/kg の後、40 分ごとに 10 ml/kg を追加した。また心筋虚血後の再還流には特に留意し、再還流初期圧を低値に保つことを原則とした。総肺静脈還流異常症では、大動脈遮断を施行せずに心筋を自然拍動あるいは自然細動状態に保ったままで、posterior approach を第一

表 1 新生児期開心術症例の手術成績 (1988~1992 年)

Diagnosis	No. of patients	Early deaths
d-TGA (DORV)	77 (+1*)	8(10%) +1*
TAPVC	23	4(17%)
CoA+d-TGA	1	0
CoA+VSD+PDA+PH	5	0
IAA+VSD+PDA+PH	3	0
Persistent truncus arteriosus	6	3
CoA+Aortic atresia (obstruction)	3	3
IAA+Aortic obstruction	5	3
HLHS	14	9
Common AV canal	2	2
Miscellaneous	7	0
1*: Senning operation	147	32(22%)

選択として心内修復術を施行した。

3. 人工心肺, 心筋保護時のカルシウム環境

われわれは低温による心筋保護効果を第一義としており, 人工心肺および心筋保護液中へのカルシウムの添加は行わなかった。図 2 に開心術中の血中カルシウムイオン濃度を示す。新生児では乳児に比べて血中カルシウムイオン濃度は低く, $1.94 \pm 0.85 \text{ mEq/l}$ と正常値 ($2.21 \sim 2.52 \text{ mEq/l}$) 以下であり, 人工心肺開始 5 分時点で $0.28 \pm 0.1 \text{ mEq/l}$, 大動脈遮断解除直前 $0.53 \pm 0.04 \text{ mEq/l}$, 大動脈遮断解除 10 分で $0.39 \pm 0.1 \text{ mEq/l}$ と常に低値を示

した。

考 察

新生児期開心術の問題点は, 未熟で受攻性の強い心臓その他の諸臓器に対して手術侵襲を加えなければならないことである。しかも, 基本的には重症で複雑な手術手技を要する疾患ほどより早期の外科治療を必要とし, より低体重で幼弱である。われわれの施設の成績をみても, 手術死亡率は手術時日齢が低いほど高いが, これはこの時期に外科治療を必要とする疾患の重症度に起因するものである。

このような新生児に対する人工心肺操作にあたっては, 侵襲の少ない操作手技とできるかぎり生理的な環境を維持しうる装置が必要とされる。別府らが考案したスリープ型ポンプヘッドは, backward flow を防止することによって, 送血ポンプとしての基本性能を向上させるとともに, 有効な拍動率の発生に大きく寄与するものである^{1,2)}。さらにわれわれの用いている中等度低体温下での低流量 ($80 \sim 100 \text{ ml/kg/min}$) の人工心肺操作を可能にしている。またわれわれが改良を加えた金属チップカニューラは, 低形成大動脈への挿入操作をも容易にし, 挿入に伴う侵襲を最小限にすることが可能である³⁻⁵⁾。

新生児心筋は未熟な細胞構築, 代謝, および収縮能をもち, 低酸素症には耐性をもつが, 虚血に対しては受攻性が強く, また再還流障害に敏感である⁶⁻⁹⁾。新生児心筋の一つの特質として surface/wall thickness 比の大きさがあげられるが, ここに心筋保護法における局所冷却の重要性が立脚される。つまり surface/wall thickness が大きいために均等で効果的な表面冷却が容易となることである¹⁰⁾。新生児の心筋保護において心筋保護液に何をを用いるか, 何を添加するかに関しては, 未だ議論のあ

図 1 人工心肺時間と液量バランスの関係

図 2 開心術中のカルシウムイオン濃度

るところである。特に、カルシウムの添加に関しては賛否両論に分かれるのが現状であろう¹¹⁻¹⁴⁾、われわれは人工心肺充填液と心筋保護液にカルシウムを添加せず、人工心肺中のカルシウム濃度を低値に維持している。Aoki ら¹⁵⁾は新生児羊を用いた実験で心筋保護液投与前の低心筋温が虚血再還流後の心機能回復に影響を与え、カルシウムを含む人工心肺充填液や心筋保護液を使用した場合、心機能の回復が低下することを示した。脆弱な新生児心筋にとって再還流の方法論は心筋保護法そのものよりも重要であるともいえ、留意すべき事柄である。著者らは、再還流において還流初期圧を低く保つことや生理的範囲内の酸素分圧を維持することで再還流障害を軽減することを実験により示した^{16,17)}。虚血再還流は心筋細胞にとってあらゆる意味での大きな変換点であり、その他の条件も含めて再還流環境を調整することが大切である。

われわれの施設での新生児開心術補助手段の工夫について最近の外科治療成績とともに報告した。新生児開心術の外科治療成績向上のためには心臓血管系を含めた未熟で脆弱な諸臓器が許容しうる生理的環境の確立を目指した補助手段が求められる。

文 献

- 1) 別府俊幸, 副島健市, 今井康晴ほか: 特殊ヘッド形状をもったローラー型拍動流送血ポンプの開発. 人工臓器 **16**: 564-567, 1987.
- 2) 別府俊幸, 今井康晴, 黒澤博身ほか: ローラー型拍動流ポンプの開発と臨床応用. 人工臓器 **17**: 1396-1399, 1988.
- 3) 別府俊幸, 福井康裕: マイクロコンピュータを利用した体外循環自動制御の実験的研究. 日本エム・イー学会誌 **25**: 198-204, 1987.
- 4) 別府俊幸, 今井康晴, 黒澤博身ほか: 体外循環自動記録・自動制御装置の開発. 人工臓器 **19**: 543-546, 1990.
- 5) 別府俊幸, 福井康裕, 今井康晴: PI 制御法を用いた人工心肺自動制御システム. 電子情報通信学会論文誌 **74**: 1309-1317, 1991.
- 6) Chiu, R.C. J. and Bindon, W.: Why are newborn hearts vulnerable to global ischemia? The lactate hypothesis. *Circulation* **76**: 146-149, 1987.
- 7) Corno, A., Laks, H., Davtayan, H.G et al.: The effects of acute hypoxia and re-oxygenation on function and metabolism of the isolated neonatal heart. *J. Am. Coll. Cardiol.* **9**: 354, 1987.
- 8) Otani, H., Engelman, R.M., Rousou, J.A. et al.: The mechanism of myocardial reperfusion injury in neonates. *Circulation* **76**: 161-167, 1987.
- 9) Corno, A., Bethencourt, D.M., Laks, H. et al.: Myocardial protection in the neonatal heart. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **93**: 163-172, 1987.
- 10) Buckberg, G.D.: Heart function during and after extracorporeal circulation. In *Thirty Years of Extracorporeal Circulation*, eds. by Hagl, S., Klovekorn, W. P., Mayr, N., Sebening, F., pp. 157-177. Deutsches Herzzentrum, Munchen, 1984.
- 11) Bove, E.L., Stammers, A.H. and Gallaghes, K.P.: Protection of the neonatal myocardium during hypothermic ischemia. Effect of cardioplegia on left ventricular function in the rabbit. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **94**: 115-123, 1987.
- 12) Magovern, J.A., Pae, W.E., Jr., Miller, C.A. et al.: The immature and the mature myocardium. Responses to multidose crystalloid cardioplegia. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **95**: 618-624, 1988.
- 13) Kempsford, R.D. and Hearse, D.J.: Protection of the immature myocardium during global ischemia. A comparison of four clinical cardioplegic solutions in the rabbit heart. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **97**: 856-863, 1989.
- 14) Watanabe, H., Yokosawa, T., Eguchi, S. et al.: Functional and metabolic protection of the neonatal myocardium from ischemia. Insufficient protection by cardioplegia. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **97**: 50-58, 1989.
- 15) Aoki, M., Nomura, F., Kawata, H. et al.: Effect of calcium and preischemic hypothermia on recovery of myocardial function after cardioplegic ischemia in neonatal lambs. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **105**: 207-213, 1993.
- 16) Sawatari, K., Kadoba, K., Bergner, K.A. et al.: Influence of initial reperfusion pressure after hypothermic cardioplegic ischemia on endothelial modulation of coronary tone in neonatal lambs: Impaired coronary vasodilator response to acetylcholine. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **101**: 777-782, 1991.
- 17) Sawatari, K., Kawata, H., Assad, R.S. et al.: Effects of PaO₂ level during reperfusion after hypothermic cardioplegia in neonatal lambs. *Circulation* **82**(Suppl. III): 146, 1990.