

特集

# 小児での各種循環補助手段

平田隆彦\*      公文啓二\*      杉本久\*  
 西垣恭一\*\*    笹子佳門\*\*    妙中義之\*\*\*  
 中谷武嗣\*\*\*   道井洋吏\*\*    鬼頭浩之\*\*  
 八木原俊克\*\*   高野久輝\*\*\*   川島康生\*\*

## 要 旨

当センターにおける小児での IABP, LVAS, VAB (V-A ECMO) の経験を報告した。

小児・乳児用の小容量の IABP バルーンの性能は向上しており、適切なバルーンを用いることで小児においても IABP により十分な循環補助効果を得ることが出来ると思われる。

2例の小児症例において体外循環離脱困難のため LVAS を使用した。両症例とも術後急性期は LVAS に依存していたが、急速に心機能の回復を見て、LVAS より離脱できた。LVAS は小児に対して有効であると思われた。

小型人工肺と Biopump を組み合わせ、全体の充填量が 170 ml の閉鎖回路を作成し、生後11ヶ月、体重 6.3 kg の患児に V-A ECMO を行った。VAB は治療手段として見直す余地があるものと思われた。

## はじめに

循環補助手段として現在成人では、大動脈内バルーンポンピング (Intra-Aortic Balloon Pumping, IABP), 左心室補助装置 (Left Ventricular Assist System, LVAS), 静・動脈バイパス (Veno-Arterial Bypass, VAB) などが用いられているが、小児における経験は成人と比べて少なくまた成績も決して良くはない。ここでは当セン

ターでの小児におけるこれら三種類の循環補助手段の経験を報告する。

## 1. IABP

内科的治療に反応しない LOS が IABP の適応となるが、小児ではこれまであまり効果的でないと言われてきた (表1)<sup>1)2)</sup>。それらの理由に関して、以下のごとく我々の経験に基づいて検討した。

### a) IABP 開始時の心機能

IABP が有効に作動するには最低限度 (成人で 0.8 l/min/m<sup>2</sup>) の心拍出量が必要とされているが、小児心臓手術後の患者では外科的修復が不完全である場合や心拍出量が異常に少ない場合に IABP の適応とならないことが多いのではないかと

表1 小児での IABP の問題点

- a) IABP 開始時の心機能
- b) 小児大動脈の特殊性
  - 大きい大動脈壁のコンプライアンス
  - チアノーゼ性心疾患患児での気管支動脈血流
- c) 小児に適したバルーン・駆動装置の開発

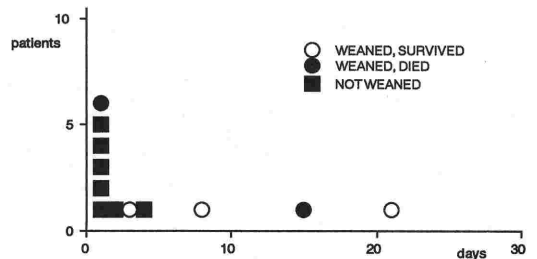


図1 小児症例における IABP 使用期間と予後の関係

\*国立循環器病センター外科系集中治療科

\*\* 同 心臓外科

\*\*\* 同 研究所

と思われる。我々は今までに10才以下の12症例に IABP を使用したが、離脱できなかった症例の多くは1日で IABP の使用をやめている(図1)。これは術後1日以内に死亡したからで、このような症例は適応に問題があり、補助人工心臓など他の手段を取るべきであったと考えられた。

**b) 小児大動脈の特殊性**

小児の大動脈壁は成人の大動脈壁と比べてコンプライアンスが大きい。またチアノーゼ性心疾患患者では気管支動脈血流が多い。小児において IABP を用いた場合これらのことが心拡張期にバルーンにより作り出される圧を減少させ、afterload 軽減効果も減少させるとされてきた。また気管支動脈血流が多いことは心疾患を有する小児において歩行等の運動能力が低下していることとあわせて、通常 IABP の挿入箇所である大

腿動脈が下行大動脈に比して細いことにつながる。しかしこのような患者でも IABP が有効な場合があることを我々は経験したので紹介する<sup>3)</sup>。

症例は体重 19 kg の9才の女児である。診断は房室錯位、両大血管右室起始、共通房室弁口、肺動脈狭窄で、根治術が不可能のため共通房室弁逆流に対して共通房室弁置換術を行ったが、人工心肺離脱後に低心拍状態となり KONTRON 社製 20cc バルーンカテーテルを挿入した。

IABP 開始後尿量は増加し、動脈圧波形上 diastolic augmentation と presystolic dip を認めた。パンピングを 1:1 と 1:2 にした状態での血行動態を比較すると 1:1 の時の方が明かな循環補助効果が認められた(図2)。

患者はその後徐々に全身状態が改善し、術後21日目に IABP の抜去を試みたが、バルーンの破裂のため抜去不能となり、外腸骨動脈損傷も起こし、人工血管による血行再建を必要とした。

この症例を通じて姑息手術後の小児においても適切なサイズのバルーンを用いれば、小児チアノーゼ性心疾患患者の中にも IABP が有効な症例があることを確認出来たが、同時に合併症の重篤性を痛感した。

**c) 小児に適したバルーン、駆動装置**

従来、小児に適したバルーンや駆動装置の開発は遅れていたが、最近の材料や製作技術の進歩によりバルーンの性能は向上してきている。当センター人工臓器部において我々が現在用いている

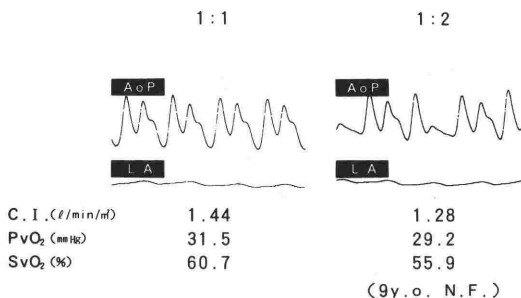


図2 IABP 1:1 と 1:2 における血行動態の比較。  
CI: 心拍出係数, PvO<sub>2</sub>: 右房静脈血酸素分圧, SvO<sub>2</sub>: 右房静脈血酸素飽和度

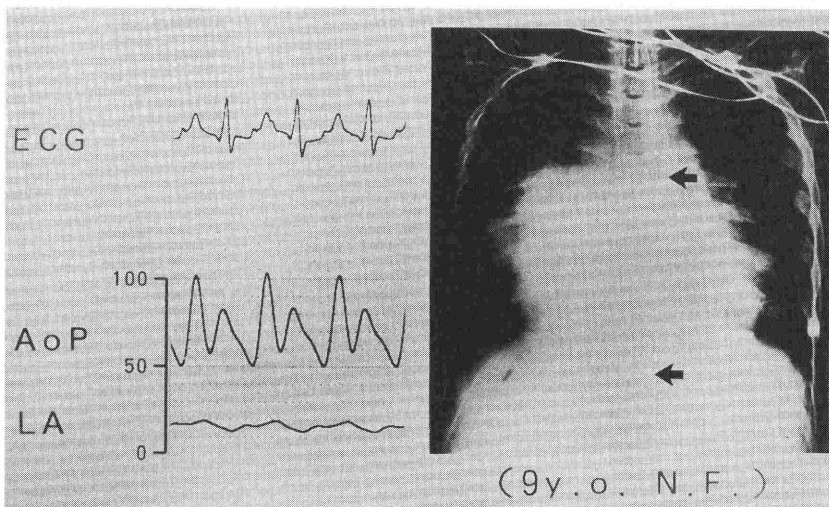


図3 IABP 1:1 作動時の動脈圧波形と胸部X線写真(矢印にカテーテルを示す)

Datascope 社製の小児用バルーンの性能を調べたところ、180 bpm でもバルーンは完全に収縮、拡張しており、頻脈に対する追従性も高いことがわかっている。

バルーンを選択については、通常 stroke volume の50%以上のバルーンを選ぶべきとされている<sup>1)</sup>。IABP を必要とする患児は低心拍出状態にあるため、バルーン挿入時の心係数が例えば 2 l/min/m<sup>2</sup> であると仮定し体表面積と心拍数から stroke volume を推定しバルーンの容積を決定する。次に決定した容積のバルーンのうちから適切な直径および長さのものを患者のレントゲン写真と血管造影像から得られた大動脈の長さと同径に基づいて最終選択する。この際特にバルーンの下端が重要な判断基準となる。このようにして選択したバルーンが有効であった体重 10 kg 以下の症例を紹介する<sup>3)</sup>。患児は体重 7 kg の1才の女児で、Bland-White-Garland 症候群に対し左冠動脈再建と僧帽弁輪縫縮が施行された。術前より左室駆出率が21%であるなど心筋障害が強く、人工心肺離脱困難のため Datascope 社製 5cc バルーンを大腿動脈より挿入し離脱した。

胸部レントゲンの矢印はバルーン的位置を示し、また IABP が心拍に対して1:1で駆動されている時の動脈圧波形を見ると diastolic augmentation と presystolic dip が認められた

(図3)。

術後の血行動態は良好で、十分な尿量の排出を見、静脈血酸素飽和度も次第に改善したため術後7日目に IABP を抜去した。バルーン挿入中は両足指にパルスオキシメータを装着するなど血行障害の早期発見に努めたため合併症は発生しなかった。

この症例で経験したように小容量のバルーンの性能は向上しており、適切なバルーンを用いることで十分な循環補助効果を得ることが出来ると考えられた。

## 2. LVAS

薬物療法や IABP の限界を越えた重症心不全に対しては、心臓のポンプ機能そのものを代行する手段としての補助人工心臓の適応となる。

### a) 急性重症心不全の判定基準と適応基準

急性重症心不全の判定基準と IABP を含んだ重症心不全の予防治療体系を図4に示す<sup>4)</sup>。これらは原則的に小児においても当てはまる。

### b) VAS による循環制御と離脱手順

国立循環器病センター型血液ポンプの容量は 70cc と 20cc の2種類があり、最大拍出量はそれぞれ 7.1 l/min および 2.4 l/min であり、成人用のポンプでは 2.0、小児用では 0.8 l/min 以上の血流量が維持されておれば抗凝固療法は不要であ

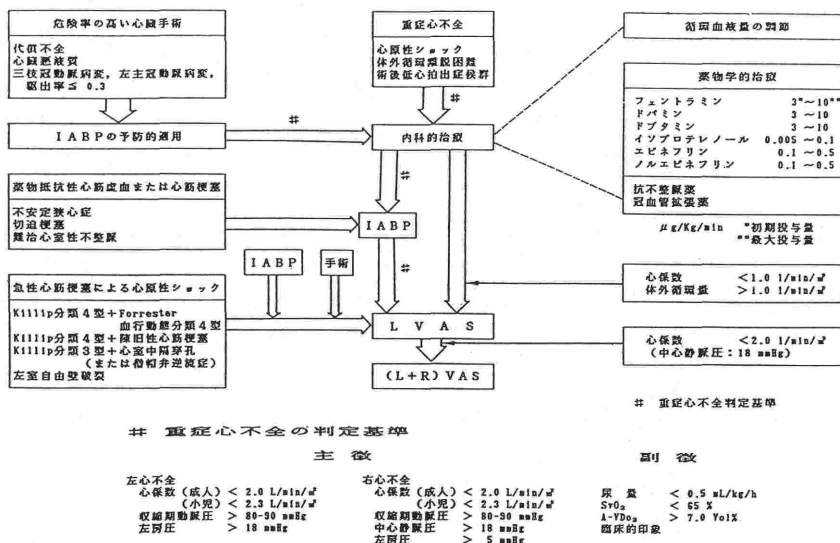


図4 急性重症心不全の判定基準と、IABP を第一選択とし薬物使用を考慮した適応基準、直接左心用 VAS (LVAS) を適応する基準、右心用 VAS (RVAS) の併用基準

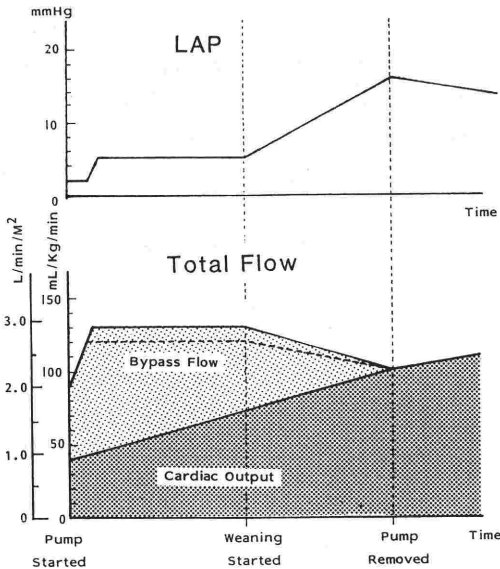


図5 LVAS 装着中の管理方針

る。

LVAS 装着中の管理方針を図5に示す。LVAS 装着中は全身への必要血流量を維持するために総血流量を小児では  $2.7\sim 3.5\text{ l/min/m}^2$  (成人では  $2.5\sim 3.5\text{ l/min/m}^2$ ) に、左房圧は肺鬱血と不全心への前負荷を軽減するために初期には  $0\sim 5\text{ mmHg}$  に制御する。装着前に多量のカテコラミンが使用されている場合はその減量をまず行い、超音波診断法なども参考にしながら同じ前負荷に対する自己心の拍出が増加してきた時点で左房圧を徐々に高く設定し不全心の仕事量を積極的に増加させ、一時的に LVAS を停止しても左房圧が許容範囲にありかつ心拍出量が  $2.5\text{ l/min/m}^2$  以上であれば IABP を挿入し LVAS を除去することにしている。

c) 小児における LVAS

現在まで我々は成人23例、小児2例に LVAS を装着しそれぞれ13例、2例で離脱し得た<sup>5)</sup>。小児症例2例は年齢と体重がそれぞれ3才、12kg と3才、13kg の男児で、前者は心室中隔欠損、後者は心内膜症欠損に対する根治術後で人工心肺よりの離脱が不可能な症例であった。

心室中隔欠損術後症例の血行動態の経過を図6に示す。当初自己心からの拍出を全く認めなかったが、ICU にて急速に自己心の回復がみられ、装着後3日目に LVAS からの離脱が可能となっ

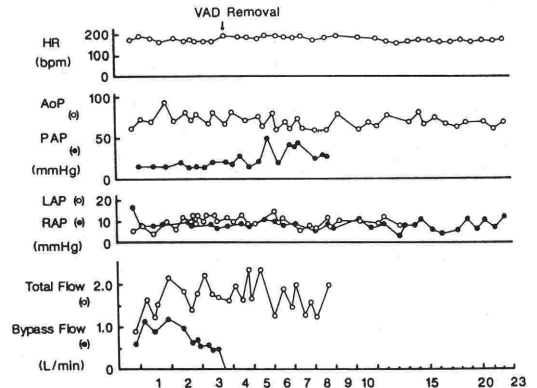


図6 LVAS を装着した心室中隔欠損術後症例の血行動態の経過

た。残念ながら患者は LVAS 除去後20日目に感染症のため亡くなった。他の1例でも当初自己心からの拍出は全く認めなかったが、ICU にて自己心は徐々に回復し装着後7日目に LVAS からの離脱が可能となった。

残念ながら両症例とも救命できなかったが、術後急性期には自己心の拍出を認めず LVAS に全く依存していたにもかかわらず、成人例と比較して急速に心機能が回復し LVAS より離脱できており、LVAS は小児に対して良い適応となる可能性を示しているものと思われた。

3. VAB (V-A ECMO)

最近我々はコンパクトな閉鎖回路による V-A ECMO を行う機会を得たので紹介する<sup>6)</sup>。

a) 回路

用いた人工肺は血液接触面に薄い均質層を有する特殊微小孔膜を使用したクラレ社製小型膜型人工肺“KMO”で、Biopump (BIOMEDICUS 社製 BP50) の送血側に接続し、閉鎖回路のシステムを作製した。人工肺の充填量は  $45\text{ ml}$ 、回路全体の充填量は  $170\text{ ml}$  であった。

b) 症例

症例は生後11ヶ月、体重  $6.3\text{ kg}$  の大血管転位に対する Jatene 手術後の女児で術後7日目より重篤な肺炎に陥り、強力な人工呼吸管理にもかかわらず  $\text{PaO}_2$  を  $40\text{ mmHg}$  以上に保てなくなったため V-A ECMO を開始した。V-A ECMO としたのは Jatene 手術後早期であり血行動態的にまだ不安定で、多少の循環補助効果も期待したから

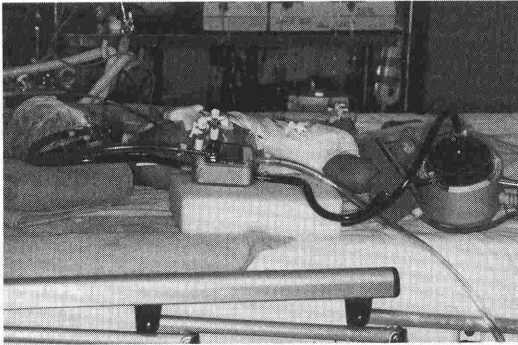


図7 ECMO 回路の全景

である。なお経内頸静脈的に右房より脱血し、総頸動脈より送血した(図7)。

約 400 ml/min の流量で V-A ECMO 開始後 PaO<sub>2</sub> は著名で改善し、尿量も増加したが自己肺は改善の兆しを見せなかった。開始5日目に Biopump 内にできた血栓が人工肺に塞栓し、ガス交換能が低下したため人工肺を交換した。以後次第に ECMO Dependent な状態になり送血量の増加にともない送血管前後での圧較差が急激に増加し、送血管の先端付近のジェット流によると思われる溶血が高度になったため V-A ECMO の継続は困難と判断し治療を中止した(図8)。

V-A ECMO 終了直前、連続使用7日目の時点で、F<sub>1</sub>O<sub>2</sub>=1.0、V/Q 比10の時、酸素透過量(VO<sub>2</sub>)は血流量 400 ml/min で 64 ml/min、850 ml/min で 95 ml/min であり、炭酸ガス透過量(VCO<sub>2</sub>)は血流量が 400~800 ml/min の間ではほぼ 39 ml/min 前後で一定であった。また人工肺による圧損は血流量 400 ml/min では 5 mmHg、850 ml/min では 11 mmHg ときわめて少なかった。

本症例は自己肺が改善せず救命できなかったが、ECMO そのものはきわめてコンパクトであり、V-A Bypass を見直す余地があると思われる。

#### 4. 結 語

小児における IABP, VAS, V-A ECMO の使用例を紹介した。

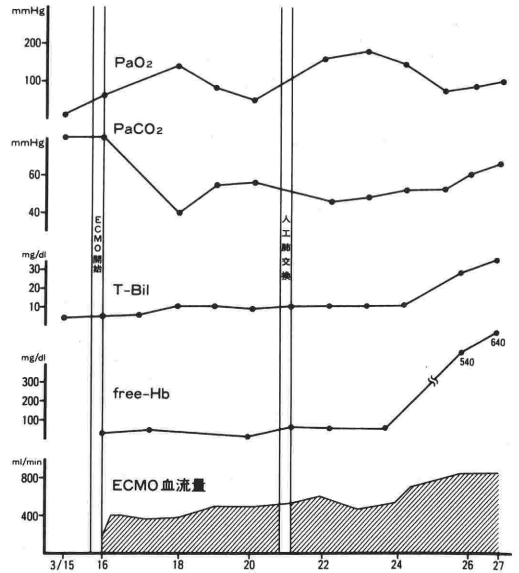


図8 臨床経過 (ECMO 開始5日目に人工肺を交換した)

小児における循環補助手段には改善の余地はあるが、良好な成果が得られつつあるのも事実であると思われる。

#### 参考文献

- 1) Veasy, L. G., Webster, H. F., McGough, E. C.: Intra-aortic balloon pumping; Adaptation for pediatric use. Crit. Care Clin. 2:237-249, 1986.
- 2) Veasy, G. L., Blalock, R. B., Orth, J. L., et al.: Intra-aortic balloon pumping in infants and children. Circulation 68:1095-1100, 1983.
- 3) 鬼頭浩之, 公文敬二, 平田隆彦, 他: IABP が著効した小児開心術後心不全の2症例. 循環器科 28: 308-309, 1990.
- 4) 高野久輝, 許 俊鋭, 中谷武嗣, 他: 東洋紡製国立循環器病センター型人工心臓の臨床的評価. 人工臓器 19: 1432-1443, 1990.
- 5) Taenaka, Y., Takano, H., Noda, H. et al.: Experimental evaluation and clinical application of a pediatric ventricular assist device. Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs 35:606-608, 1989.
- 6) 道井洋吏, 笹子佳門, 巽 英介, 他: クラレ膜型人工肺 "KMO" を用いた乳児 ECMO の1例. 人工臓器 20: 1114-1117, 1991.

### Assisted circulation for pediatric cases

Takahiko Hirata\*, Keiji Kumon\*, Hisashi Sugimoto\*, Kyoich Nishigaki\*\*,  
Yoshikado Sasako\*\*, Yoshiyuki Taenaka\*\*\*, Takeshi Nakatani\*\*\*, Hiroshi Doi\*\*,  
Hiroyuki Kito\*\*, Toshikatsu Yagihara\*\*, Hisateru Takano\*\*\*, Yasunaru Kawashima\*\*

\*National cardio vascular Center, Surgical Intensive Care Unit

\*\*National cardio vascular Center, Cardiovascular Surgery

\*\*\*National cardio vascular Center, Research Institute

Our experience of circulatory support in infants and children was reported.

Intra-aortic balloon pumping (IABP): IABP has been thought to be less effective in infants and children than in adults because of the high elasticity of the aorta of children and the lack of the good equipment for pediatric use. The improvement of the IABP balloon has made it possible to use IABP in infants and children, if appropriately sized balloon catheters are selected.

Left ventricular assist system (LVAS): The pediatric LVAS was clinically used in two children after the open heart surgery. In each case, no arterial pressure waveform produced by the natural heart could be observed during

the early postoperative period, but the natural heart recovered quickly and the LVAS could be removed within a week. LVAS will become a promising therapeutic modality for management of severe pediatric heart failure.

Veno-arterial bypass (VAB): A newly developed membrane oxygenator combined with a Biopump was used for VAB. The system was so compact that the priming volume of the closed circuit was only 170 ml. The ability of the membrane oxygenator to add oxygen and to remove carbon dioxide was well maintained on the 7th day after the bypass started. VAB can become an effective method as assist circulation in infants and children.