

## 体重 25 kg 以下の小児拡張型心筋症例に対する 成人用東洋紡製補助人工心臓の現状と問題点

栢岡 歩<sup>1)</sup>, 加藤木利行<sup>1)</sup>, 鈴木 孝明<sup>1)</sup>, 岩崎 美佳<sup>1)</sup>  
小林 俊樹<sup>2)</sup>, 先崎 秀明<sup>2)</sup>, 石戸 博隆<sup>2)</sup>, 岩本 洋一<sup>2)</sup>  
西村 隆<sup>3)</sup>, 許 俊鋭<sup>3)</sup>

埼玉医科大学国際医療センター小児心臓外科<sup>1)</sup>, 小児心臓科<sup>2)</sup>,  
東京大学心臓外科<sup>3)</sup>

### Key words:

left ventricular assist device, cardio-  
myopathy, end-stage heart failure

### Successful Use of the Toyobo Left Ventricular Assist Device in Pediatric Patients Weighing under 25 Kilograms

Ayumu Masuoka,<sup>1)</sup> Toshiyuki Katogi,<sup>1)</sup> Takaaki Suzuki,<sup>1)</sup> Mika Iwazaki,<sup>1)</sup> Toshiki Kobayashi,<sup>2)</sup> Hideaki  
Senzaki,<sup>2)</sup> Hiroataka Ishido,<sup>2)</sup> Yoichi Iwamoto,<sup>2)</sup> Takashi Nishimura,<sup>3)</sup> and Shunei Kyo<sup>3)</sup>

Department of <sup>1)</sup>Pediatric Cardiac Surgery, <sup>2)</sup>Pediatric Cardiology, Saitama International Medical Center, Saitama Japan,

<sup>3)</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Tokyo University, Tokyo Japan

**Background:** In Japan, adult-sized Toyobo-National Cardiovascular Center ventricular assist devices (VADs) are used, but VADs designed mainly for pediatric patients are not clinically available.

**Methods:** We present here 3 difficult cases of adult-sized Toyobo VADs used in pediatric patients weighing less than 25 kilograms. All 3 patients were suffering from cardiogenic shock, pulmonary edema, and multiple organ failure before the implantation of the VAD.

**Results:** In Case 1 (patient weighing 24 kg), after the implantation of a VAD, the post-operative course was complicated by bleeding, but the mode of driving the VAD was uneventful. The child was transferred to Germany for heart transplantation, but a serious cerebral infarction precluded him from receiving it. He returned to Japan and died 697 days after the implantation of the VAD. In Case 2 (patient weighing 16 kg), the VAD was driven at a pumping rate of 105 beats per minute, but the driving chamber was only half filled because of the low body weight. Ten days after the implantation of the VAD, a device-related cerebral infarction occurred. After the infarction, we completely changed the driving mode. The VAD pumping rate was decreased to 50 beats per minute, and the pumping chamber was fully filled for each stroke. This mode of driving caused extremely high blood pressure for this small child, and the vigorous use of antihypertensive drugs was mandatory. She was transferred to the United States and received a successful heart transplant. The driving mode of Case 3 was governed by the lessons learned from Case 2. The pumping rate was set to 46 beats per minute, but driving modes from 100% full to 100% empty caused hypertension. Vigorous use of antihypertensive drugs was mandatory in this case also. She was transferred to Germany and received a successful heart transplant.

**Conclusions:** Using adult-sized VADs for small children is difficult. Implantation in itself is not very difficult even with their small thoraxes. However, the post-implant management is very difficult due to the relatively large size of the pump; reducing the stroke volume of the VAD according to body weight is complicated by clot formation and cerebral infarctions. We changed our driving strategy from reducing the stroke volume to extremely reducing the pump rate to avoid clot formation. The large stroke volume causes hypertension for these small children, and large doses of antihypertensive drugs were needed to protect them from complications such as cerebral bleeding.

### 要 旨

背景：2009年の法改正により本邦での小児心臓移植治療が法的には可能となるが、現状では長期間の移植待機が予想される。移植待機中に危機的狀態に陥った患児の救命手段は補助人工心臓しかない。しかし本邦では小児専

平成 22 年 2 月 3 日受付

別刷請求先：〒 350-1298 埼玉県日高市山根 1397-1

平成 22 年 6 月 8 日受理

埼玉医科大学国際医療センター小児心臓外科 栢岡 歩

用 VAD は市販されておらず、成人用 VAD 装着以外に救命手段がないのが現状である。

**対象：**2004 年 6 月から 2007 年 5 月までの 3 年間に 15 歳未満の小児例 5 例に対し成人用東洋紡社製 VAD による循環補助治療を施行した。その内体重 25 kg 以下の 3 例をその臨床経過と体重(体表面積)に合わせた VAD 至適駆動条件の変遷について検討した。

**結果：**Case 1 10 歳 男児 BW 24 kg (BSA 0.93 m<sup>2</sup>) : LVAD 装着後、速やかに MOF を克服し、移植目的に渡独。VAD 装着後 225 日目に渡航先で脳梗塞を発症し、移植適応外となり帰国。VSD 装着後 697 日目に死亡。Case 2 6 歳 女児 BW 16.4 kg (BSA 0.72 m<sup>2</sup>) : LVAD 装着直後 105 回/分の条件で駆動。術後 10 日目に脳梗塞発症。その後血管拡張薬にて血圧をコントロールしながら、full-fill full-empty mode (50 回/分)の条件で駆動し、VAD 装着後 122 日目に米国にて移植手術を施行。Case 3 3 歳 女児 BW 16.2 kg (BSA 0.66 m<sup>2</sup>) : 症例 2 の経験をふまえ、LVAD 装着直後より大量の血管拡張薬を使用しながら、full-fill full-empty mode (46 回/分)の条件で駆動し、血栓などのトラブルもなく、VAD 装着後 145 日目に独国にて移植手術を施行。

**結語：**小児例の少補助流量による pump 内血栓形成を回避するためには、VAD 駆動回数を下げ、高血圧対策を行いつつながら、VAD 駆動条件を full-fill full-empty mode に維持することが重要であった。

## 背景

小児慢性心疾患患児が外科的修復術や、薬物治療の限界を超えた危機的心不全状態に陥ったときの救命手段は心臓移植以外にはない<sup>1)</sup>。2009 年の法改正により 2010 年 7 月より本邦での体重 30 kg 以下の小児心臓移植治療が法的には可能となるが、本邦での成人を含めた脳死移植数は増加せず、国内での小児心臓移植適応患児は成人よりさらに長期間の移植待機が予想される。海外渡航移植も、心不全末期状態では移送そのものの危険が大きく<sup>2)</sup>、また国際移植学会の勧告もあり海外渡航移植が不可能となる可能性が高い。そのため、危機的状況に陥った拡張型心筋症などの心移植適応小児例に対する国内での救命手段は機械的な心機能の補助しか残されていない。V-A bypass (ECMO: extracorporeal membrane oxygenation) では一時的な補助は可能ではあるが、1 カ月以上の長期間に亘る補助継続は不可能であり、また小児症例において補助循環からの離脱の可能性を示唆する報告<sup>3)</sup>もあるが、現時点では原疾患の自然予後から考えると現実的ではない。このことを考慮すると補助人工心臓 (VAD: ventricular assist device) を装着せざるを得ない。しかし本邦では小児専用 VAD は市販されておらず、薬物治療の限界を超えた患児の救命手段は成人用 VAD 装着以外にないのが現状であるが、これまで 30 kg 未満の小児例に対しては不適応とされていた。

## 対象と方法

2004 年 6 月から 2007 年 5 月までの 3 年間に 15 歳未満の心移植適応のある危機的状況に陥った拡張型心

筋症・激症型心筋炎小児例 5 例 (平均年齢 9.0 歳 : 3~14 歳) に対し成人用東洋紡社製 VAD (左室脱血 : 成人用 70 ml) による循環補助治療を施行した。その内体重 25 kg 以下の 3 例をその臨床経過と体重(体表面積)に合わせた VAD 至適駆動条件の変遷について検討した。

また症例 3 において、血行動態からみた VAD 至適駆動条件を決定するため、駆動条件を一時的に変更し、それぞれの駆動条件下での末梢循環の変動について検討した。VAD 装着後 2 週間目にミダゾラム (0.05 mg/BW) にて軽度鎮静下 (自発呼吸下) に VAD 駆動条件を full-fill full-empty mode (42 回/分, % sys34) と half-fill half-empty mode (90 回/分, % sys50)、この二つの駆動条件の中間の駆動回数 (70 回/分, % sys45) に変更し、変更 3 分後に耳介、動脈 line から採血。それぞれの駆動条件下での末梢循環の指標として末梢血中の乳酸値 (耳介から末梢血を採血し、ARKRAY 社製ラクテート・プロ™ センサーにて測定)、動脈血中の norepinephrine 値、この 3 分間の間に心エコーにて VAD 送血管 (直径 12 mm) の断面積を用いて VAD 駆出量を計測した。

## 結果

### 1. 10 歳 男児 体重 24 kg (BSA 0.93 m<sup>2</sup>) (Table 1)

生来健康で心疾患の指摘は受けなかったが、7 歳時の学校検診にて心電図異常を指摘された。近医を受診するが異常なしと診断。翌年、易疲労感と感冒様症状にて近医を受診し、重度の心不全と診断された。小児専門病院にて拡張型心筋症と診断された。内科治療を行うが心不全が進行したため、治療開始 1 カ月後に外科的治療を含めたさらなる加療目的に当院へ紹介となった (Fig. 1)。

β-blocker, angiotensin-converting enzyme inhibitor の

Table 1 Baseline characteristics of patients and clinical outcomes

	Case 1	Case 2	Case 3
Baseline characteristics			
Age (yr)	10	6	3
Sex	Male	Female	Female
Body surface area (m <sup>2</sup> )	0.93	0.72	0.66
Weight (kg)	24	16.4	16.2
Diagnosis	Dilated cardiomyopathy	Dilated cardiomyopathy	Dilated cardiomyopathy
Clinical outcomes			
LVAD duration (days)	697	122	145
Pump rate (bpm)	70–85	40–50	42–45
%sys (%)	40–50	35–40	35–40
Outcome	Death	Transplant	Transplant
Complications	Cerebral embolism and bleeding septicemia (multi episodes)	Cerebral embolism and bleeding	Septicemia (one episode)

LVAD: left ventricular assist device

内服に加え、catecholamine, phosphodiesterase III inhibitorの持続点滴などの内科治療を強化したが心不全・多臓器不全症状の進行を認め、VAD治療の適応と判断された。当院へ転院1カ月後に成人用東洋紡社製補助人工心臓(左室脱血:成人用70 ml)を装着した(Fig. 2)。

人工心肺からの離脱に問題はなく、VADは人工心肺離脱直後には駆動回数70~85回/分、%sys 40~50% (half-fill half-empty mode)で駆動した。成人症例と比較し若干収縮期血圧が高くなる(max 150 mmHg)傾向があり、calcium antagonistの持続静注をphosphodiesterase III inhibitorと併用し対処した。術後1週間目頃より、成人症例とほぼ同様の設定(65~70回/分、%sys 40~50%、full-fill full-empty mode)が可能であり、収縮期血圧も110 mmHg前後で安定した。VAD装着後は速やかに多臓器不全を克服し、VAD装着後37日目に移植目的に渡独した。渡航先でVAD pump内血栓によるpump交換が頻回となったため、東洋紡社製補助人工心臓からMedos社製補助人工心臓(小児用30 ml)に交換された。その後pump内血栓による広範囲な出血性脳梗塞を発症し、移植適応外と判断され帰国。VAD装着後697日目に敗血症にて死亡した。

## 2. 6歳 女児 体重16.4 kg (BSA 0.72 m<sup>2</sup>) (Table 1)

生来健康で心疾患の指摘は受けていなかった。5歳時に易疲労感、発熱を主訴に某大学病院を受診し、拡張型心筋症と診断された。同院にて入退院を繰り返していたが、心機能の改善を認めず、10カ月後には完全房室ブロックが出現したため、小児専門病院へ転院



Fig. 1 Case 1: Chest radiography before implantation of the left ventricular assist device.

し渡米移植が計画された。転院後2カ月目に発熱を契機として、心不全が増悪し人工呼吸器管理となった。強力な内科的治療にも反応せず、VAD装着目的に当院へ紹介となった(Fig. 3)。

転院翌日に成人用東洋紡社製補助人工心臓(左室脱血:成人用70 ml)を装着した(Fig. 4)。

105回/分の駆動条件(half-fill half-empty mode)で



Fig. 2 Case 1: After implantation of the Toyobo-NCVC left ventricular assist device.

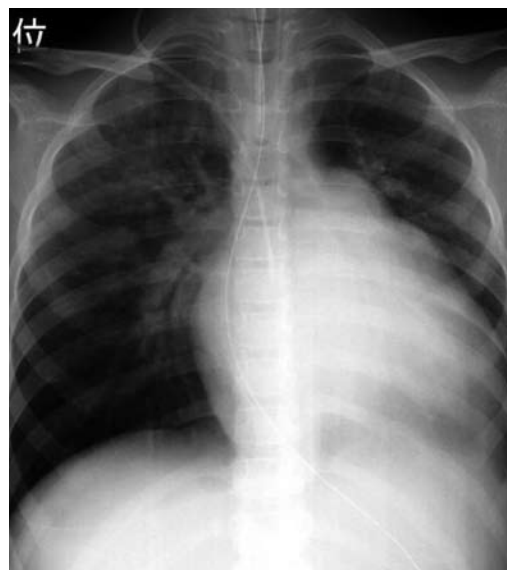


Fig. 3 Case 2: Chest radiography before implantation of the left ventricular assist device.

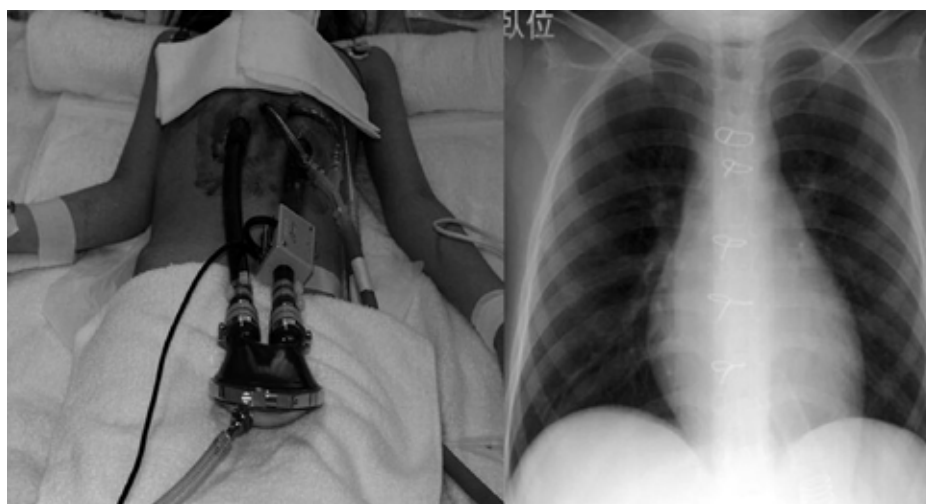


Fig. 4 Case 2: After implantation of the Toyobo-NCVC left ventricular assist device.

VAD 治療を開始した。術当日に抜管し、1 POD より activated clotting time (ACT) 160 秒前後を目標としたヘパリンによる抗凝血療法を開始した。術後経過は良好であり、経口摂取も術後 2 日目から開始された。ワルファリンの投与も開始されたが、術後 10 日目に pump 内血栓によると思われる広範囲な出血性脳梗塞を発症した。

Pump 交換とともに 100 回 / 分、% sys 40~45% の VAD 駆動条件を 40 回 / 分、% sys 35~40% (full-fill full-empty mode) に変更した。変更後 160~170 mmHg 前後の収縮期高血圧が出現したため、大量の血管拡張薬

(chlorpromazine 5 $\gamma$ , human atrial natriuretic peptide 0.5 $\gamma$ , olprinone hydrochloride 0.5 $\gamma$ ) を使用し血圧をコントロールしながら、full-fill full-empty mode (50 回 / 分前後) の条件で駆動した。その後、pump 内血栓の再発を認めず、VAD 装着後 88 日目に米国へ渡航し VAD 装着後 122 日目に心臓移植手術が施行された。現在、神経学的後遺症はほとんど認めず、普通学級に通学中である。

3. 3 歳 女兒 体重 16.2 kg (BSA 0.66 m<sup>2</sup>) (Table 1)  
 生来健康で心疾患の指摘は受けていなかった。2 歳

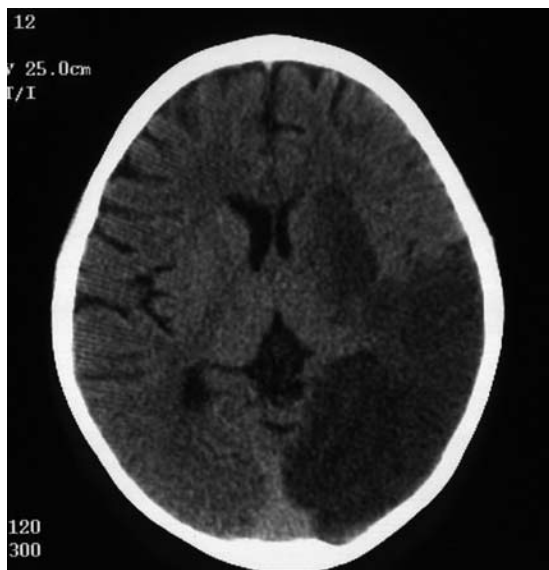


Fig. 5 Case 2: Illustrative brain computed tomography findings of infarct.



Fig. 6 Case 3: Chest radiography before implantation of the left ventricular assist device.

8カ月頃から倦怠感を訴えるようになった。その約8カ月後から、感冒罹患後の長引く咳嗽を認めため、近医を受診したところ、心機能の著明な低下と中等度の僧帽弁閉鎖不全症を認めた。同日拡張型心筋症疑いにて当院へ緊急入院した(Fig. 5)。

内科的治療を行うも心不全と多臓器不全の進行を認めたため、内科治療開始後2カ月目に成人用東洋紡社製補助人工心臓(左室脱血：成人用70 ml)を装着した(Fig. 6)。

症例2の経験をふまえ、VAD装着直後より大量の血管拡張薬を使用しながら、full-fill full-empty mode(42~45回/分、% sys 35~40%)の条件で駆動した。術当日からヘパリンによる抗凝血療法を開始し、ヘパリン投与量の指標をACTからactivated partial thromboplastin time(APTT：目標値70~80秒)へ変更した。経口摂取が可能となった時点で、ヘパリンからワルファリン(目標値：PT-INR 3~3.5)と抗血小板薬に変更した。経過中pump内血栓による脳梗塞などのトラブルはなく、VAD装着後90日目に心臓移植目的に渡独し、VAD装着後145日目に心臓移植手術が施行された。現在元気に通学している。この症例3において、各駆動条件下での乳酸値・norepinephrine・VAD駆出量はTable 2に示した通りである。

各駆動条件下において、末梢血での乳酸値・norepinephrine・LVAD駆出量には大きな差は認められなかった。

## 考 察

日本の臓器移植法が改正され、小児症例に対する脳死移植の実施が現実味を帯びてきた。しかし国内脳死心臓移植再開後、移植実施件数が伸び悩んでいる現状では、小児患児の国内での心臓移植は、成人心臓移植適応患者よりも長期間の移植待機が予想される。その移植待機中に薬物治療の限界を超え末期的心不全に陥った患児の救命手段は補助循環療法しかない。しかしわが国には使用可能な小児専用補助人工心臓は存在しない。このため、本論文3症例の様に緊急避難的に成人用補助人工心臓を装着するしかないが、これには様々な問題がある。

第一に成人用のため脱血管、送血管のサイズの問題がある。成人を対象に設計されているため、送血用の人工血管径と患児の上行大動脈径のミスマッチの問題があげられる。補助人工心臓側の人工血管を細くすることでサイズの問題については対応可能であったとしている報告<sup>4)</sup>があるが、本症例3例ではいずれもそのまま上行大動と端側吻合が可能であった。体重が15 kg前後までであり、上行大動脈径が8 mm以上あれば通常の端側吻合で可能であると考えている。

第二にすでに報告<sup>5, 6)</sup>しているが、補助人工心臓装着後の難治性高血圧の問題がある。東洋紡VADは成人用のポンプであるため一回駆出量が多く、必要以上の心拍出量が得られ、多臓器不全からの離脱には成人

Table 2 Hemodynamics changes according to pumping rate

LVAD rate	LVAD output (L/min)	BP (mmHg)	Lactate (mmol/L)	SVRI	Norepinephrine (pg/mL)
42 bpm %sys 34	3.79	135/40	1.1	949.39	443
70 bpm %sys 45	4.00	110/51	0.9	949.44	-
90 bpm %sys 50	3.52	111/60	0.8	1108.89	434

LVAD: left ventricular assist device, SVRI: systemic vascular resistance index



Fig. 7 Case 3: After implantation of the Toyobo-NCVC left ventricular assist device.

装着症例よりも遙かに有利ではあるがその反面、小児の血管床に対し一回駆出量が過多のため難治性の高血圧となる。Copeland<sup>7)</sup>らの体重 17 kg の男児に Thoratec LVAD を装着した報告では、術直後は auto mode (fill filing full empty) で駆動したが、血圧のコントロールがつかず、駆動条件をポンプ内から血液が完全に駆出されない設定 (fix rate+% sys を 60% に固定) にし、一回駆出量を低下させることで高血圧に対応した。しかし設定変更後、pump 内血栓によると思われる出血性脳梗塞を発症している。症例 2 では上記の報告を参照し、収縮期血圧の著明な上昇による様々な合併症を考慮して、VAD の駆動条件を half-fill half-empty mode とした。このため VAD pump 内に血液がうっ滞することに起因すると思われる pump 内血栓にて出血性脳梗塞を発症した。この後 full-fill full-empty mode に変更し、幸いにも重度の後遺症は残らず、米国へ安全に渡航することが可能であった<sup>5)</sup>。この経験を生かし、症例 3 では VAD 装着直後から full-fill full-empty mode (42~45 回/分、% sys 35~40%) で駆動を開始し、大量の血管拡張薬を使用することで収縮期高血圧を予防し、また血栓症などの

合併症を起こすことなく渡航心臓移植に到達することが可能であった<sup>6)</sup>。しかし、full-fill full-empty mode (42~45 回/分、% sys 35~40%) で駆動することは脈拍が 42~45 回/分ということであり、VAD 装着下では自己心による心拍出はほとんど 0 に等しいので、3 歳児の正常範囲心拍数の約 1/2 程度の有効脈拍数という重度な徐脈が、心拍出量 (VAD 駆出量) が保たれていたとしても、患児にとって生理的な状態とは考えられない。そこでこの非生理的な状況での末梢循環の指標として末血での乳酸値を測定したところ、VAD 駆動条件を half-fill half-empty mode から full-fill full-empty mode へ変更しても末血中での乳酸値に大きな変動はなかった。これは心拍出量 (VAD 駆出量) が保たれている状況下では、徐脈であっても末梢循環に大きな問題を認めず、VAD 駆出条件を full-fill full-empty mode (42~45 回/分、% sys 35~40%) に設定しても問題はないことを表していると考えている。

第三に抗凝固療法の問題がある。従来、心臓手術直後の小児例へのヘパリンやワルファリンを用いた抗凝固療法は不安定なことが多く、出血などの合併症を経

験することがある。Brigite<sup>8)</sup>らの Berlin Heart LVAS を装着した症例では、ヘパリン投与量のコントロールを当初は ACT を指標としていたが、術後早期に出血に伴う再開胸や、ポンプ内血栓による塞栓症を認めていた。そのため、一日数回の APTT 測定値をヘパリン投与量の指標にすることで出血、塞栓の合併が減ったと報告している。症例 2 では脳梗塞発症直後まで 3 時間毎の ACT 値を指標としてヘパリン投与量をコントロールしていたが、出血の危険性も考慮し、ACT 値を 160~180 秒としていたこともあるが、ポンプ内血栓によるものと思われる脳梗塞を発症した。この脳梗塞の発症後より、一日 2 回の APTT 測定値をヘパリン投与量の指標とする方針とした。この方針変更後、全身状態が安定したことも寄与していると思われるが、VAD 駆動条件の変更とあわせ塞栓症を起こすような pump 内血栓の形成は認めなかった。この経験から、症例 3 では術直後から、ACT ではなく APTT にてヘパリン投与量をコントロールすることで、的確な抗凝血療法が可能となり、塞栓症を起こすことなく渡航移植を施行することが可能であった。

症例数は少ないが本症例 3 例の経験から、体重 15 kg 前後以上であれば小児心臓移植適応患者に対し、保険償還されている成人用東洋紡 VAD を装着し危機的心不全状態からの救命は可能と考えている。しかし国内移植を前提とした場合、現状では移植待機が長期間となり VAD 装着が長期に亘ることが予想される。国内外での小児症例に対し成人用 VAD を長期間装着した報告はない。成人用 VAD の小児症例への長期使用が、数カ月の装着では認めなかった様々な合併症を起こす可能性は否定できない。

現在、MicroMed DeBakey VAD (MicroMed Cardiovascular, Inc. Houston, TX)<sup>9)</sup>、Berlin Heart (Berlin Heart AG, Berlin, Germany: pump 容量 10 ml, 25 ml, 30 ml, 50 ml, 60 ml)<sup>8)</sup>、Medos pump (Medos Medizintechnik AG, Stolberg, Germany: pump 容量 LVAD 用 10 ml, 25 ml, RVAD 用 9 ml, 22.5 ml) が欧米にて臨床使用可能であり、また北米および豪州においては現在、Cleveland Clinic での PediHeart<sup>10, 11)</sup> や豪州での VentrAssist (Ventracor Limited, Chatswood, Australia)<sup>12)</sup> などの第 3 世代の小児用 VAD の開発が進められている。このことから本邦での小児用 VAD の早期開発が望まれる。

## 結 語

体重 25 kg 以下の心臓移植適応患児 3 例に成人用東洋紡社製 VAD (左室脱血: 成人用 70 ml) を装着した。3 例とも危機的心不全状態から離脱し、安全に移植目

的に海外渡航が可能であった。しかし 1 例は渡航先にて出血性脳梗塞を合併し、移植適応外と判断され帰国。VAD 装着後 697 日目に失った。

また小児例では pump 内血栓による塞栓症を回避するためには、VAD 駆動回数を下げ、高血圧対策を行いながら、VAD 駆動条件を full filling-full empty mode にすることが重要であった。VAD 装着後のヘパリンによる抗凝血療法は APTT を指標とすることで、的確な抗凝血療法が可能となり、pump 内血栓による塞栓症の発症を防ぐことが可能であった。

## 【参考文献】

- 1) Katogi T: Heart transplantation or mechanical circulatory support: problems of pediatric patients with terminal stage cardiac failure in Japan. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2005; **11**: 355
- 2) Matsuwaka R, Matsuda H, Kaneko M, et al: Overseas transport of a patient with an extracorporeal left ventricular assist device. *Ann Thorac Surg* 1995; **59**: 522-523
- 3) Mohapatra B, Vick GW 3rd, Fraser CD Jr, et al: Short-term mechanical unloading and reverse remodeling of failing hearts in children. *J Heart Lung Transplant* 2010; **29**: 98-104
- 4) Reinhartz O, Copeland JG, Farrar DJ: Thoratec ventricular assist devices in children with less than 1.3 m<sup>2</sup> of body surface area. *ASAIO J* 2003; **49**: 727-730
- 5) Masuoka A, Katogi T, Asano H, et al: Successful use of the Toyobo left ventricular assist device in a 16-kg girl awaiting cardiac transplantation. *Ann Thorac Surg* 2007; **83**: 1181-1183
- 6) Masuoka A, Katogi T, Iwazaki M, et al: Bridge to transplantation with a Toyobo-NCVC left ventricular assist device in a 3-year-old girl. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2008; **56**: 357-360
- 7) Copeland JG, Arabia FA, Smith RG: Bridge to transplantation with a Thoratec left ventricular assist device in a 17-kg child. *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 1003-1004
- 8) Stiller B, Weng Y, Hubler M, et al: Pneumatic pulsatile ventricular assist devices in children under 1 year of age. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; **28**: 234-239
- 9) Fraser CD Jr, Carberry KE, Owens WR, et al: Preliminary experience with the MicroMed DeBakey pediatric ventricular assist device. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu* 2006; **9**: 109-114
- 10) Cingoz F, Fukamachi K, Ootaki Y, et al: Cleveland Clinic PediPump lamb cadaver fitting studies. *Artif Organs* 2007; **31**: 405-408
- 11) Saeed D, Weber S, Ootaki Y, et al: Initial acute in vivo performance of the Cleveland Clinic PediPump left ventricular assist device. *ASAIO J* 2007; **53**: 766-770. Erratum in: *ASAIO J* 2008; **54**: 137
- 12) Rygrok PN, Esmore DS, Alison PM, et al: Pediatric experience with the VentrAssist LVAD. *Ann Thorac Surg* 2008; **86**: 622-626