

補助人工心臓における諸問題

Problems in patients with use of a ventricular assist device

西村 和修
山里 有男*
青嶋 実*
福増 廣幸*
久保 茂**
平田 和男
岡林 均
野本 慎一
岡本 好史
伴 敏彦

Kazunobu NISHIMURA
Ario YAMAZATO*
Minoru AOSHIMA*
Hiroyuki FUKUMASU*
Shigeru KUBO**
Kazuo HIRATA
Hitoshi OKABAYASHI
Shinichi NOMOTO
Yoshifumi OKAMOTO
Toshihiko BAN

Summary

The purpose of the present study was to review the results obtained in patients with a ventricular assist devices (VAD) in our hospital, and to discuss various problems concerning a VAD use, such as indications, right ventricular failure, and evaluation of cardiac function. Fourteen VADs were applied to 11 patients for left ventricular assist, including two for right ventricular assist and for one as biventricular assist with a VAD in the left and a biopump in the right. The clinical diagnoses of the patients were as follows: 10 ischemic heart disease, two valvular disease, one acute aortic dissection, and one corrected transposition of the great arteries. VADs were indicated in 11 patients because of difficulty in weaning from cardiopulmonary bypass (CPB), and in three patients because of cardiogenic shock after discontinuing CPB.

Among the 14 patients, 11 had an effective VAD, six were successfully weaned from a VAD, and two survived. The VAD was ineffective due to uncontrollable bleeding and improper indications for the device, as in applying a one-sided heart assist when a biventricular assist was necessary. In spite of an effective VAD, five patients could not be weaned from VAD because of brain damage, sepsis, and hypoxia. After removing a VAD, four patients died; one due to mediastinitis, two due to respiratory failure, and one due to low output syndrome. All the four patients had renal failure followed by multi-organ failure finally, because of prolonged CPB time. The CPB time was shorter among the long survivors than in others.

京都大学医学部 心臓血管外科
京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)
*武田病院心臓血管外科
京都市下京区塩小路通西洞院東入 (〒600)
**武田病院 検査科

Department of Cardiovascular Surgery, Kyoto University School of Medicine, Shogoin Kawahara-cho 54, Sakyo-ku, Kyoto 606

*Department of Cardiovascular Surgery, Takeda Hospital, Higashiiru Shiokojidori-Nishinotoin, Shimogyo-ku, Kyoto 600

**Department of Laboratory, Takeda Hospital

Received for publication January 4, 1990; accepted January 27, 1990 (Ref. No. 36-K21)

Cardiac function during assist and the weaning probability from a VAD were evaluated not only by the so-called on-off test, but also by transesophageal Doppler echocardiography. Ventricular wall motion and pulmonary venous flow pattern were analyzed by transesophageal Doppler echocardiography. The pattern of monophasic forward flow in the pulmonary vein was associated with reduced wall motion during deteriorated cardiac function, while the flow pattern became biphasic as cardiac function recovered.

From these results, we concluded as follows :

1. Early decisions as to whether VAD is indicated are important.
2. A right VAD should be considered in cases with biventricular failure, during left ventricular assist, if right atrial pressures elevated more than 18 mmHg constantly.
3. The evaluation of cardiac function by transesophageal Doppler echocardiography is useful for making decisions as to wean patients from a VAD.

Key words

Ventricular assist device Biventricular failure Right ventricular failure Pulmonary venous flow
Transesophageal Doppler echocardiography

はじめに

補助人工心臓は心臓外科手術時の体外循環離脱困難, 急性心筋梗塞などの心原性ショック時の血行動態改善に極めて有用な手段である¹⁻⁴⁾. 現在主として使用されている空気駆動型人工心臓は, ventricular assist device (VAD) と総称され, 我が国での臨床使用は 150 例を越えている. その適応, 駆動方法もある程度確立されてきたため, 離脱率こそ 50% 前後に向上してきたが, 長期生存率は 20% 程度といまだ低率であり⁵⁾, 成績向上のためには種々の問題点を解決せねばならない.

本研究の目的はこれまでに我々の経験した 14 例の VAD 症例の成績を検討し, 問題点を明らかにした上で, これら未解決の諸問題の対策を講ずることである. 本論文では特に VAD 適用基準の再評価, 右心不全の問題, および VAD 施行中の心機能評価に焦点を絞る論ずることとする.

対象と方法

対象

これまでに当教室および関連施設において施行された VAD 症例 14 例を対象とした. **Table 1** に対象患者の診断名, 施行手術, 体外循環時間等

の臨床背景を示した. 年齢は 14 歳から 70 歳 (平均 56 ± 16 歳), 性比は男 10 例, 女 4 例であった. VAD を左心補助に適用した left VAD (LVAD) は 12 例, 右心に適用した right VAD (RVAD) は 2 例で, LVAD 症例のうち 1 例は右心に bio-pump を用いた右心補助を併用して両心補助とした. RVAD の 2 例はいずれも大動脈内バルーンポンピングを併用した. 臨床診断は急性心筋梗塞 7 例, 陳旧性心筋梗塞 3 例, 連合弁膜症 2 例, 急性解離性動脈瘤 1 例, 修正大血管転位症各 1 例ずつであった. 施行した手術は冠動脈バイパス術 9 例, 2 弁置換術 2 例, ベントール手術, 左室破裂部パッチ閉鎖術, 修正大血管転位症根治手術各 1 例であり, 14 例中 8 例が緊急手術であった. VAD 適用理由は 11 例が体外循環離脱困難, 3 例が体外循環離脱後の心原性ショックであった. 使用した補助人工心臓は Pierce-Donachy 型が 3 例, Tomasu 型が 6 例, Toyobo 型が 8 例で, 駆動装置として Thoratec 型が 8 例, SMEC 型大動脈バルーンポンピングが 1 例, Toyobo 型 VCT-100 が 5 例に使用された (**Table 1**).

駆動方法, ポンプ管理

LVAD の送血部位は全例で上行大動脈とし, RVAD では肺動脈とした. LVAD の脱血部位

Table 1. Clinical characteristics of patients with a ventricular assist devices (VAD)

Cases	Age (yrs)	Sex	Diagnosis	Surgery	Emergency	ACC time (min)	CPB time (min)	Assist device	Type of pump	Driver
1	70	F	OMI	CABG	No	108	459	RVAD IABP	P-D	Thoratec
2	52	M	MSR, AR, TR	MVR, AVR, TAP	No	230	597	LVAD	P-D	Thoratec
3	28	F	DAA (1)	Bentall's operation	Yes	180	460	LVAD	Tomasu	Thoratec
4	69	M	OMI LV aneurysm	CABG, Aneurysmectomy	No	36	215	RVAD IABP	Tomasu	Thoratec
5	67	M	AMI	CABG	Yes	114	191	LVAD	Tomasu	Thoratec
6	69	F	AMI	CABG	Yes	136	417	LVAD	Tomasu	Thoratec
7	62	M	AMI	CABG	Yes	54	285	LVAD	P-D	Thoratec
8	43	M	AMI	CABG	Yes	72	431	LVAD	Tomasu	SMEC
9	66	F	OMI	CABG	No	79	640	BVAD	Toyobo Biopump	VCT-100*
10	65	M	AMI, Ar	CABG	Yes	87	283	LVAD IABP	Toyobo	VCT-100
11	58	M	AMI LV aneurysm	CABG, Aneurysmectomy	Yes	80	262	LVAD IABP	Toyobo	VCT-100
12	54	M	MSR, AR	MVR, AVR	No	142	195	LVAD	Toyobo	VCT-100
13	14	M	C-TGA, PS, VSD	Radical repair	No	126	181	LVAD	Toyobo	VCT-100
14	63	M	AMI LV rupture	Patch closure	Yes	65	246	LVAD	Tomasu	Thoratec

* by Toyobo Co.

ACC=aortic cross clamp; CPB=cardiopulmonary bypass; OMI=old myocardial infarction; MSR=mitral stenosis and regurgitation; AR=aortic regurgitation; TR=tricuspid regurgitation; DAA=dissecting aortic aneurysm; AMI=acute myocardial infarction; LV=left ventricle; C-TGA=corrected transposition of great arteries; PS=pulmonary stenosis; VSD=ventricular septal defect; CABG=coronary artery bypass grafting; MVR=mitral valve replacement; AVR=aortic valve replacement; TAP=tricuspid annuloplasty; RVAD=right ventricular assist device; LVAD=left ventricular assist device; BVAD=biventricular assist device; IABP=intra-aortic balloon pumping; P-D=Pierce-Donachy.

は左房9例(右側左房8例, 左心耳1例), 経心尖左室3例であり, RVADのそれは右房であった(Table 2)。症例10, 11, 13の3例は, LVAD駆動中の一時期に心電図同期として心室拡張期にポンプを拍出させ, さらに症例10, 11では大動脈バルーンポンピングをも併用した。他の症例は全経過を通じ, 固定レート的心電図非同期にて駆動させた。抗凝固剤は原則として使用しなかったが, ポンプ流量を減らして離脱時期に入った時は少量のヘパリンを投与し, activated clotting timeを150~200秒に保つように管理した。

自己心の機能評価は主としてポンプの on-off試験にて行ったが, 症例10以降は術中および術後に経食道ドップラー心エコー図法(アロカ製5MHz)を行い, 脱血管の位置, 房室弁や大動脈弁の開閉等の確認に活用した。LVADのポンプ流量は初めの3日間はfull bypassの方針としたが, 心エコー図の観察により大動脈弁がわずかに開口する程度の補助率とし, 左室内に血液が貯留しないよう配慮した。また, 左室壁運動と肺静脈血流波形の分析を経時的に行い, 左心機能の改善度を評価してLVAD離脱の指標とした。

Table 2. Results using ventricular assist

Case	Cannulation sites	Duration of VADs	Efficacy*	Weaning	Survival	Complications and remarks
1	RA-PA	9 hrs	No	No	No	Died on pump, biventricular failure
2	LAA-AO	4.5 days	Yes	Yes	No	Died of mediastinitis; renal failure 31 days later
3	LV-AO	12 days	Yes	Yes	No	Died of bronchial hemorrhage 8 days later
4	RA-PA	4 days	Yes	Yes	Yes	Renal failure; alive 42 months after surgery
5	LA-AO	14 days	Yes	No	No	Died on pump; brain death
6	LA-AO	2 days	No	No	No	Died on pump; right heart failure
7	LA-AO	5 hrs	No	No	No	Died on pump; bleeding and right heart failure
8	LA-AO	10 days	Yes	No	No	Died on pump; brain damage
9	LA-AO RA-PA	3 days	Yes	No	No	Died on pump; sepsis; hypoxia
10	LV-AO	10 days	Yes	Yes	No	Died of respiratory failure 8 days later
11	LA-AO	10 days	Yes	No	No	Died on pump; sepsis, brain damage
12	LV-AO	8 days	Yes	Yes	Yes	No complication, alive 17 months after surgery
13	LA-AO	12 days	Yes	Yes	No	Died of LOS; renal failure 3 days later
14	LA-AO	7 days	Yes	No	No	Died on pump; bronchial hemorrhage, hypoxia

* mean aortic pressure ≥ 70 mmHg, and cardiac index ≥ 2.2 l/min/m².

RA=right atrium; PA=pulmonary artery; LAA=left atrial appendage; AO=aorta; LA=left atrium; LOS=low output syndrome.

結 果

1. VAD の成績

Table 2 は VAD による補助期間, 成績, 合併症等を示した. VAD の補助循環にて平均大動脈圧 70 mmHg 以上, 心係数 2.2 l/min/m² 以上の良好な血行動態を維持できたものを有効な補助循環と定義すると, 11 例 (79%) がこれに相当した. VAD 無効例は 3 例で, 症例 1 は両心不全に右心のみを適用したための適用の誤りによるものであり, 症例 6 は右房圧 22 mmHg を越す右心不全を合併していたため循環維持が不能となったものであり, 症例 7 は右心不全と出血のため, それぞれ VAD 施行後 9 時間, 45 時間, 5 時間で死亡した. VAD より離脱できたのは 6 例 (43%)

で, 長期生存例は 2 例であった. 離脱し得た症例の補助循環期間は 4 日から 12 日 (平均 8.4 \pm 3.6 日) であった.

有効な補助循環を得ながら VAD 駆動中に死亡した症例が 5 例あり, その理由は脳障害, 敗血症, 低酸素血症などであった. この 5 例の平均補助循環期間は 8.8 \pm 4.1 日で離脱成功群と差はなく, この中には症例 5 や 14 のように明らかに十分な自己心の回復を認めたものもあった.

Table 3 に LVAD 症例と RVAD 症例にわたった成績をまとめて示した.

2. 合併症

離脱後近接死亡した症例の主死因は縦隔洞炎 1 例, 呼吸不全 2 例, 低心拍出量症候群 1 例で, いずれも腎不全を合併しており, 多臓器不全となっ

Table 3. Summary of results of 12 patients with an LVAD and 2 patients with an RVAD

	LVAD (n=12)	RVAD (n=2)
Age	14~69 y; mean 53 y	69~70 y
No. of emergency	8 patients	0
Aortic cross clamp time	65~230 min; mean 114±52 min	36~108 min
Total CPB time	181~640 min; mean 349±158 min	215~459 min
Duration of support	5 h~14 days; mean 7.7±4.4 days	9 h~4 days
Effective in stable hemodynamics	10 patients	1 patient
Improvement in ventricular function	7 patients	1 patient
Weaned from devices	5 patients	1 patient
Survivor	1 patient	1 patient

LVAD=left ventricular assist device; RVAD=right ventricular assist device; CPB=cardiopulmonary bypass.

Table 4. Complications in 14 patients with a VAD

Complications	Patients (No.)	% of total
Renal failure	9	64.2
Bleeding	5	35.7
Tamponade	4	28.6
Brain damage	4	28.6
Infection, sepsis	4	28.6
Respiratory failure	4	28.6
Biventricular failure	3	21.4
Thromboembolism	1	7.1
Air embolism	1	7.1
DIC	1	7.1

VAD=ventricular assist device; DIC=disseminated intravascular coagulopathy.

ていた。Table 4 に全例の合併症を表した。全体では腎不全が9例と圧倒的に多く、これらはいずれも長時間体外循環症例であり、予後不良の一因となった。長期生存できた症例の体外循環時間は215分、195分といずれも短かった。心タンポナーデを4例経験しており、これによる流入障害のため血行動態が一時的に悪化する症例があった。

3. 心機能評価

Fig. 1 に経食道心エコー図法にて描出した症例14の左室壁運動の経過を示した。この症例は急性心筋梗塞後の左室自由壁破裂の患者である。図

のごとく術直後 fractional shortening (FS) は18%と著明に低下していたが、3日後21%、5日後には30%へと改善していた。On-off試験による血行動態の評価においても、off時に血圧100 mmHg、左房圧15 mmHg、心係数2.5 l/min/m²と離脱基準を満たしており、本例ではこの時点よりLVADの離脱を開始した。

同症例の肺静脈血流波形をFig. 2に示した。術後3日目では順行性の一峰性の血流と、心房収縮による逆流波形が見られ、一回拍出量、駆出率共に低下している事をうかがわせる。5日後では順行性の血流は正常と同じく二峰性となるが、逆流波形はまだ見られ、血行動態はかなり改善したがまだ駆出率は低いと想像される。

Fig. 3は症例10の肺静脈血流波形である。術後1日目は症例14と同じく一峰性を示していたが、8日目には二峰性となり改善傾向にあったものの、まだ逆行波も存在していた。術後17日目(LVAD離脱後7日目)では、順行波はさらに増加して逆行波は消失しており、心機能はかなり改善したと言える。なお、以上の症例はいずれも洞調律であった。

考 察

VADの適用基準は各施設より種々のものが提唱されている^{5,6)}。我々は心房圧18~20 mmHg

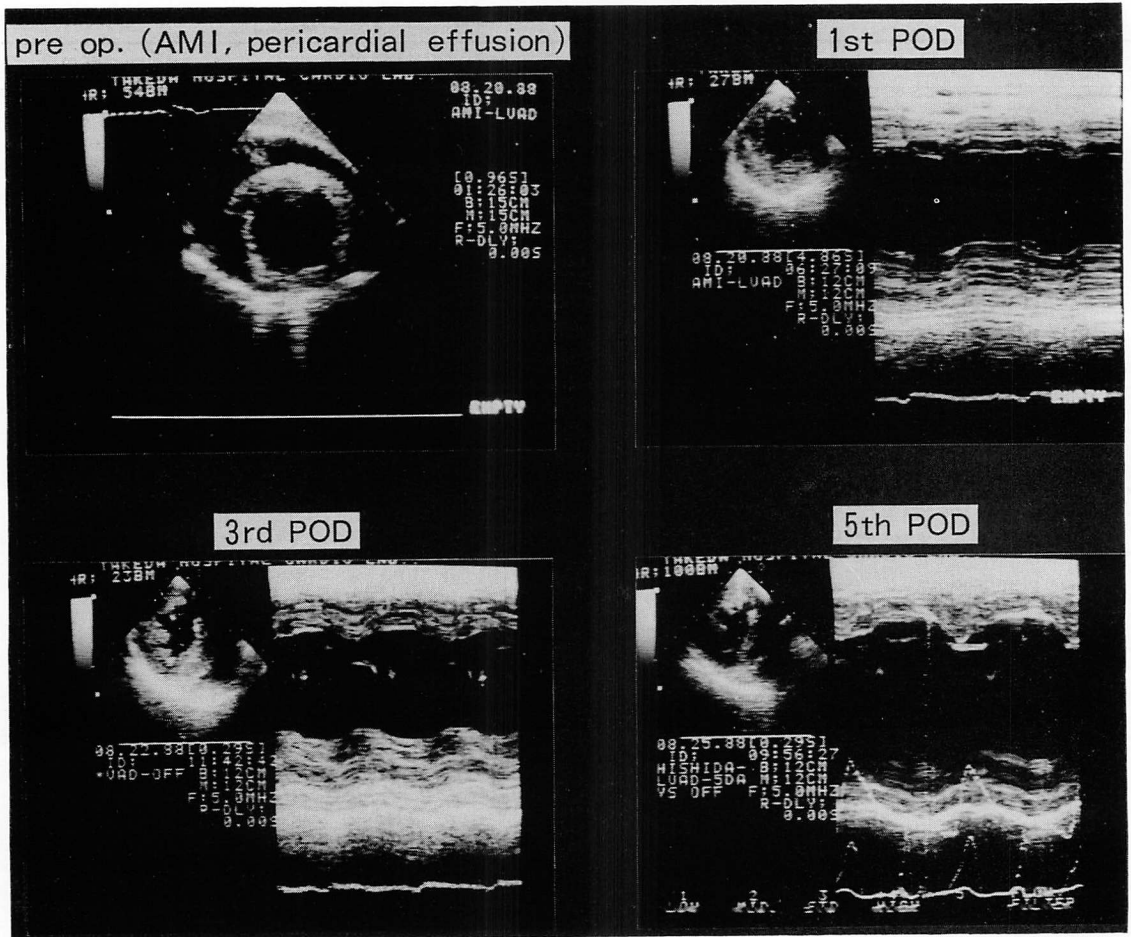


Fig. 1. Left ventricular wall motion imaged by transesophageal echocardiography before surgery and during left ventricular assist after surgery (Case 14).

AMI=acute myocardial infarction ; POD=postoperative day.

以上, 心係数 $1.8 \sim 2.0 \text{ l/min/m}^2$ 以下, 収縮期血圧 $80 \sim 90 \text{ mmHg}$ 以下の 3 条件のうち, 2 条件を満たせば適応と考えているが^{3,7)}, 最も重要なのは外科医の clinical impression であろう. 本邦でこれまでのところ VAD を適用した症例は, 自験例も含め体外循環離脱困難例がほとんどである. 自験例では体外循環 6 時間を越えた症例は長期予後不良であり, VAD よりたとえ離脱できても多臓器不全にて結局は死亡した. したがって, いたずらに体外循環による補助循環時間を長引か

せるべきではなく, 外科医の迅速な決断が要求される⁸⁾. また, 自験例 14 例中 8 例が緊急手術であり, いずれも術前より高度の心原性ショックに陥っていた. VAD 適用前のショックが長引くと多臓器不全を生じやすいので, VAD 又は体外循環にもっていくまでの簡単な補助循環装置を考慮しなければならない⁹⁾.

右心不全を合併している左心不全の場合, 左心のみ補助で良いかあるいは両心の VAD が必要かは重要な問題である^{10,11)}. 自験例中 VAD に

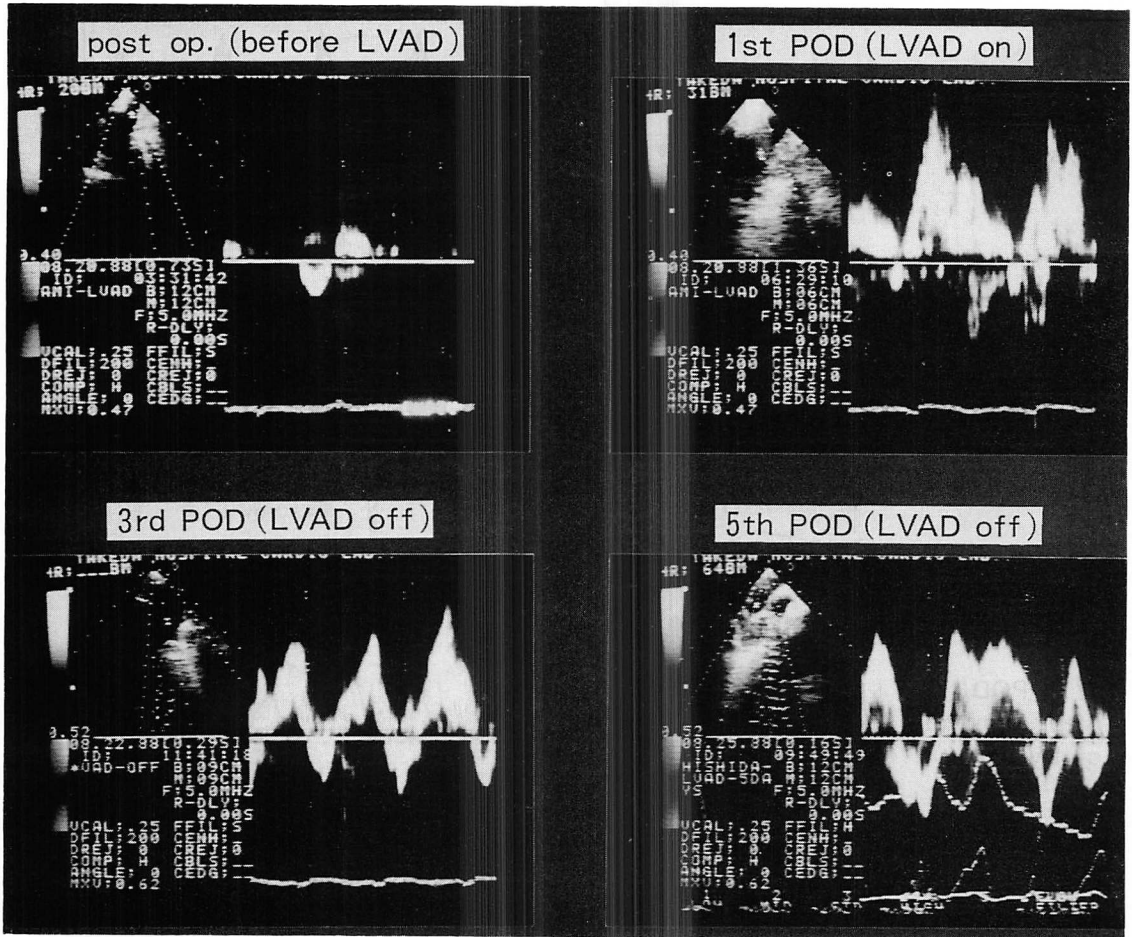


Fig. 2. Pulmonary venous flow during an LVAD (Case 14).

The pulmonary venous flow pattern on the 1st POD was made when LVAD was “on”, and those on the 3rd and the 5th PODs were made when LVAD was “off”. On the 3rd POD, pulmonary venous flow pattern shows monophasic forward flow and small backward flow. On the 5th POD, the pulmonary venous flow becomes biphasic.

LVAD=left ventricular assist device ; POD=postoperative day.

よる補助循環が無効であった3例は、いずれも両心不全の症例であった。一般的には左心補助により右心機能が低下することはなく、左心補助により左室の前負荷が減少し、ひいては肺動脈圧も低下するので、右心系の後負荷が軽減する。しかしながら、右室梗塞を合併した急性心筋梗塞や連合弁膜症などでは、もともと右心機能が低下しているため、右心の補助が必要な場合がある。ま

た、肺血管抵抗の高い症例も左心への血液灌流が悪くなるので、左心補助循環中に注意を要する。右房圧 18 mmHg 以上を維持しなければ左心系に十分な流量が保てない時には、速やかに右心補助を行うべきである。ただし、左心補助中に右房圧が上昇したときには、右心不全と同時に脱血障害との鑑別もしっかりと把握しておかなければならない¹²⁾。

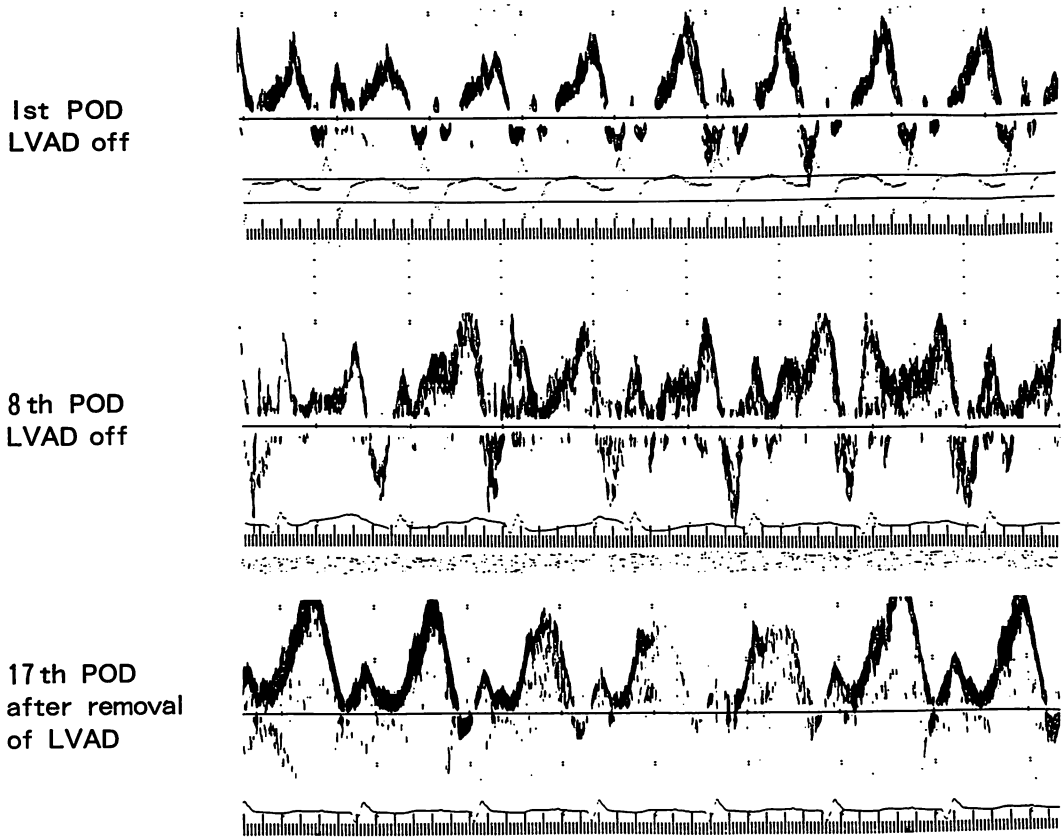


Fig. 3. Pulmonary venous flow patterns during use of an LVAD and after removing an LVAD (Case 10).

Pulmonary venous flow is monophasic on the 1st POD, whereas it becomes biphasic on the 8th POD, although small amounts of backward flow were observed on both days. On the 17th POD, forward flow increases resulting in incomplete biphasic pattern without backward flow.

LVAD=left ventricular assist device; POD=postoperative day.

VAD の離脱に関しては、我々はこれまで Pierce らの基準に従い、on-off 試験にて心機能を評価し、離脱の指標としてきた^{2,6)}。しかしながら、60秒から90秒で血行動態の評価をしなければならないこと、適切な循環血液量の把握が難しいこと等の理由により、この方法は必ずしも良い方法とは思えない。経食道心エコー図法は胸壁よりのアプローチに比べ画像は鮮明で、肺静脈血流や心室容積の評価も行いやすいという利点を有している。これによる左室壁運動の分析は心機能

評価に重要な方法の一つである。

一方、ドップラー心エコー図による肺静脈血流波形の解析は最近研究が進んでおり^{13~15)}、前負荷の指標あるいは左心機能モニターとして有用であることが示唆されている¹⁶⁾。一般に、肺静脈流は左房圧に依存していると言われ、圧の低下した時相で血流が増加する¹³⁾。正常心では、心室収縮期と拡張期に流量が増大する順行性の二峰ターンを示し、まれに左心房収縮による逆行性波を認める^{13,15)}。収縮期波は主に心室収縮期に僧帽弁輪が

心尖部に移動することによる左房容積の増大に伴うものと解されており、拡張期波の方は心室の急速流入期にあたり血液は左房を導管として肺静脈から左室へと流れることにより生じると考えられている¹⁵⁾。したがって心室収縮力が低下し、左心室が拡大すると、収縮期波による血流の増大が期待できず、拡張期のみ血流の見られる一峰性のパターンが見られることになる。逆行波の生理的意義は明らかではないが、心機能の低下した例に多く見られるので¹⁶⁾、左室拡張末期圧の上昇と関係しているのかもしれない。また全順行波を積分したものから逆行波のそれを差し引いた値は、心室の前負荷に相当すると考えられるので、適正な容量負荷の指標として利用できる¹⁶⁾。ただし、肺静脈血流は心拍数や呼吸の影響によって修飾されやすいということを忘れてはならない¹⁴⁾。このような利点により、我々は積極的に VAD 施行中の患者に経食道ドップラー心エコー図法を行っており、離脱の評価にも有用であった。

結 論

1. 心臓手術後に VAD を使用した 14 例中 6 例が VAD より離脱でき、2 例が長期生存した。
2. 長期生存例は体外循環時間の短い症例であり、早期の適用が重要である。
3. LVAD 中右房圧 18 mmHg を越す右心不全では、速やかに右心補助を考慮すべきである。
4. VAD 離脱の指標は on-off 試験とともに、経食道ドップラー心エコー図法による心機能評価が有用であった。

要 約

本研究の目的はこれまでに我々の経験した ventricular assist device (VAD) 症例の成績を検討し、その適用基準、右心不全、および VAD 施行中の心機能評価などの諸問題の解決法を考察することである。

左心補助 11 例、右心補助 2 例、両心補助 1 例の計 14 例に VAD を使用した。疾患名は虚血性

心疾患 10 例、弁膜症 2 例、急性解離性動脈瘤、修正大血管転位症各 1 例ずつである。VAD 適用理由は、11 例が体外循環離脱困難、3 例が体外循環離脱後の心原性ショックであった。

14 例中、有効例は 11 例、離脱例は 6 例、長期生存例は 2 例であった。VAD 無効例は両心不全に片方の心室しか補助しなかったための適用の誤りと、出血によるものであった。有効例で離脱不能例の理由は、脳障害、敗血症、低酸素血症などであった。離脱後近接死した症例の主死因は縦隔洞炎 1 例、呼吸不全 2 例、低心拍出量症候群 1 例で、いずれも腎不全を合併しており、多臓器不全となっていた。長期生存できた 2 症例は体外循環時間が 200 分前後と短く、体外循環時間は予後を左右する一因子であった。

VAD 離脱の目安に、on-off 試験と同時に、経食道ドップラー心エコー図による左室壁運動の観察、肺静脈血流波形の分析が有用であった。心機能低下時には壁運動の低下とともに、一峰性の肺静脈血流が認められたが、心機能が回復してくると二峰性となった。

以上の成績より以下の結論を得た。

1. 長期生存例は体外循環時間の短い症例であり、早期の適用が重要である。
2. 左心補助中右房圧 18 mmHg を越す右心不全には速やかに右心補助を考慮すべきである。
3. VAD 離脱の指標には on-off 試験とともに経食道ドップラー心エコー図による心機能評価が有用であった。

文 献

- 1) Pennington DG, Samuels LD, Williams G, Palmer D, Swartz MT, Codd JE, Merjavy JP, Lagunoff D, Joist JH: Experience with the Pierce-Donachy ventricular assist device in postcardiotomy patients with cardiogenic shock. *World J Surg* 9: 37-46, 1985
- 2) Pierce WS, Parr GVS, Myers JL, Donachy JH, Rosenberg G, Landis DL, Bull AP: Clinical effectiveness of mechanical ventricular bypass in treating postoperative heart failure. *Artif Organs* 7: 25-30, 1983

- 3) Fukumasu H, Yamazato A, Nishimura K, Fujiwara Y, Soneda J, Ban T, Yuasa S: Initial application of ventricular assist device (VAD). *Jpn J Artif Organs* **16**: 1145-1149, 1987 (in Japanese)
- 4) Ban T, Fukumasu H, Soneda J, Iwaya F, Hoshino S, Yuasa S: Clinical application of left ventricular assist devices. *J Cardiac Surg* **2**: 21-30, 1987 (in Japanese)
- 5) Atsumi K, Sezai Y, Fujita T, Nitta S, Sato N, Horiuchi T: Current status of clinical application of ventricular assist devices in Japan. *in Assisted Circulation 3* (ed by Unger F), Springer, Berlin-Heiderberg, 1989, p 152-159
- 6) Richenbacher WE, Wisman CB, Rosenberg G, Donachy JH, Landis DL, Pierce WS: Ventricular assistance: Clinical experience at the Pennsylvania State University. *in Assisted Circulation 2* (ed by Unger F), Springer, Berlin-Heiderberg, 1984, p 70-83
- 7) Nishimura K, Hirose H, Ogino H, Jinno K, Okabayashi H, Nomoto S, Okamoto Y, Fukumasu H, Yamazato A, Ban T: Efficacy of left ventricular assist device (LVAD) with a ventricular withdrawal method. *Jpn J Artif Organs* **18**: 575-578, 1989 (in Japanese)
- 8) Nishimura K, Fukumasu H, Yamazato A, Aoshima M, Okamoto Y, Ban T: Re-examination of criteria for ventricular assist devices. *Jpn J Cardiovasc Surg* **18**: 545-547, 1989 (in Japanese)
- 9) Phillips SJ, Ballentine B, Slonine D, Hall J, Vandehaar J, Kongtahworn C, Zeff RH, Skinner JR, Reckmo K, Gray D: Percutaneous initiation of cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* **36**: 223-225, 1983
- 10) Pennington DG, Merjavay JP, Swartz MT, Codd JE, Barner HB, Lagunoff D, Bashiti H, Kaiser GC, Willman VL: The importance of biventricular failure in patients with postoperative cardiogenic shock. *Ann Thorac Surg* **39**: 16-26, 1985
- 11) Soneda J, Ban T, Okamoto Y, Matsumoto M, Fujiwara Y, Nishimura K, Fukumasu H, Yamazato A: Clinical use of isolated right ventricular assist device (RVAD). *Jpn J Artif Organs* **16**: 36-39, 1987
- 12) Pierce WS: Clinical left ventricular bypass: Problems of pump inflow obstruction and right ventricular failure. *ASAIO J* **2**: 1-9, 1979
- 13) Keren G, Sherez J, Megidish R, Levitt B, Laniado S: Pulmonary venous flow pattern: Its relationship to cardiac dynamics. *Circulation* **71**: 1105-1112, 1985
- 14) Smallhorn JF, Freedom RM, Olley PM: Pulsed Doppler echocardiographic assessment of extraparenchymal pulmonary vein flow. *J Am Coll Cardiol* **9**: 573-579, 1987
- 15) Kanda S, Katayama H, Aotsuka H, Satomi G, Takao A: Doppler echocardiographic analysis of pulmonary venous flow. *Shinzo* **21**: 1057-1063, 1989 (in Japanese)
- 16) Aoshima M, Yamazato A, Kubo S, Ban T, Matsumoto M, Okabayashi H, Nishimura K: Quantitative analysis of pulmonary venous flow velocity by transesophageal pulsed Doppler echocardiography. *J Cardiol* **19** (Suppl XX): 55, 1989 (in Japanese)