

## 左心補助人工心臓からの離脱回復の予知

## Human heart recovery during weaning from a left ventricular assist system: Time course and outcome prediction

別府慎太郎  
中谷 武嗣\*  
田中 教雄  
野田 裕幸\*  
公文 啓二  
妙中 義之\*  
中谷 敏  
高野 久輝\*  
宮武 邦夫  
仁村 泰治

Shintaro BEPPU  
Takeshi NAKATANI\*  
Norio TANAKA  
Hiroyuki NODA\*  
Keiji KUMON  
Yoshiyuki TAENAKA\*  
Satoshi NAKATANI  
Hisateru TAKANO\*  
Kunio MIYATAKE  
Yasuharu NIMURA

### Summary

To investigate the time course of recovery of a failing heart using the left ventricular assist system (LVAS) and to predict the outcome of weaning from the LVAS, 14 patients with a failing heart were studied. Among them, 5 had recovered and survived for more than 2 weeks after weaning from the LVAS (recovered group), while 9 could not be weaned or died within 2 weeks after weaning (unrecovered group). All patients were gradually weaned from the LVAS with adequate support for systemic circulation for 3 days. In the recovered group, indices of systolic time intervals (STIs) showed improvement within a week. However, improvement of STIs was slow reaching a plateau around the 10th day in the unrecovered group. On weaning from the LVAS, aortic systolic pressure and ejection time were regulated by the patients' own hearts and were nearly the same between the 2 groups. However, left atrial pressure was significantly higher in the unrecovered group than in the recovered group. These hemodynamic features were first present on the 7th day. Therefore, hemodynamic data on the 7th assistant day can be a reliable factor in predicting the possibility of successful weaning from the LVAS and recovery in patients with a failing heart.

### Key words

Artificial heart

Echocardiography

Systolic time interval

Ventricular assist

国立循環器病センター研究所 循環動態機能部

\* 同 人工臓器部

吹田市藤白台 5-7-1 (〒565)

National Cardiovascular Center, Research Institute,  
Departments of Cardiovascular Dynamics and \*Artificial  
Organs, Fujishirodai 5-7-1, Suita, Osaka 565

Received for publication February 23, 1990; accepted September 4, 1990 (Ref. No. 36-K24)

はじめに

左心補助人工心臓 (left ventricular assist system: LVAS, 以下, 人工心臓) は一過性の重症心不全例に対する治療方法として, その臨床的有用性が明らかになりつつある<sup>1-3)</sup>. 機能不全に陥った心臓を長期に補助すれば, それだけ機能回復の程度が大きいとの期待がある一方, 長期の補助にもかかわらず機能が回復せず, 補助心臓依存状態に陥る例も見られる. さらに補助人工心臓の駆動および制御部分が患者の体外に存在する現状では, その管理の煩雑さや易感染性等の問題から, 早期の離脱が望まれる. それゆえ, 補助を受けている心臓が, いつ, どのように機能回復し, 補助なしで自己の循環を支えられるか, すなわち補助

から離脱できるかが問題である. その予測のための診断方法が, 臨床の場で適用できるように, 簡便な指標であることも必要である. 今回の検討の目的は, これらの点を明らかにすることである.

対象および方法

1. 対象

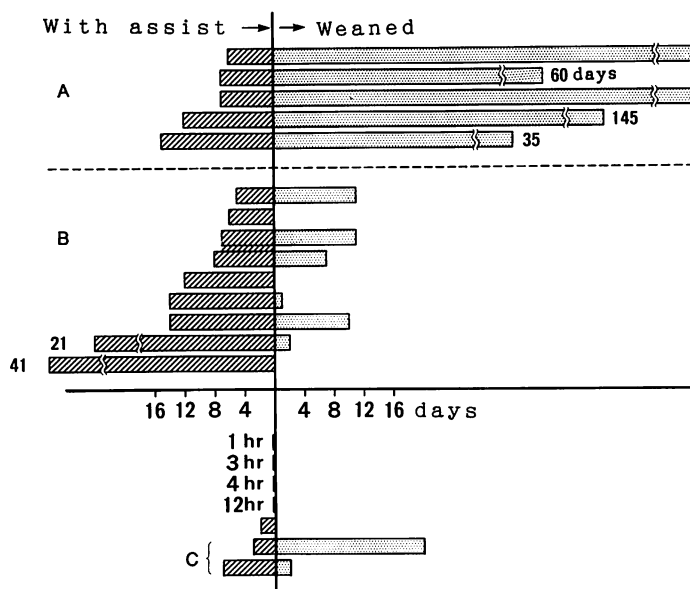
対象は1982年12月より1988年8月までに人工心臓を装着した21例のうち, 3日以上装着した成人例14例を対象とした. 年齢は33~73歳 (平均58歳) である. 内訳は虚血性心疾患11例, 弁膜症術後3例で, 男性9例, 女性5例である (Table 1).

人工心臓を装着した症例のうち, 離脱後1ヵ月以上の長期生存例は5例, 残り9例は人工心臓よ

Table 1. Patient population and clinical features before, during and after left ventricular assist

Patients	Diagnosis	Operation	Indication	Days	Alive	Cause of death
<i>Recovered</i>						
C. M. 73 F	AMI, VSR	VSR closure	ECC depend	6	Alive	
K. K. 57 M	OMI, PTCA	CABG	ECC depend	7	60	Unknown
Y. O. 71 F	AMI, VSR	VSR closure	ECC depend	7	Alive	
H. H. 73 M	AMI, shock	None	Shock	12	149	Infection
A. K. 62 F	AMI, VSR	VSR closure	ECC depend	15	35	Cereb. bleeding
<i>Unrecovered</i>						
I. K. 32 M	AAE, Marfan	Bentall	ECC depend	5	11	Infection
S. T. 44 M	OMI, VT	LVtomy, cryo	Post-op LOS	6	0	MOF
T. Y. 66 M	AMI, OMI	CABG	ECC depend	7	11	MOF
N. T. 65 M	AP, OMI	CABG	ECC depend	8	7	MOF, infection
K. M. 69 M	AMI, shock	None	Shock	12	0	Resp. failure
T. F. 36 F	MSR, GLA	MVR, TAP, LAP	Post-op LOS	14	1	MOF
F. Y. 60 M	AMI, shock	CABG	ECC depend	14	10	MOF, infection
M. M. 37 F	AAE, Marfan	Bentall	ECC depend	21	3	Cereb. bleeding
S. U. 62 M	AMI, PTCR	CABG	ECC depend	41	0	LVAS depend

AAE=annulo-aortic ectasia; AMI=acute myocardial infarction; AP=angina pectoris; Alive=days lived after weaning from LVAS; CABG=coronary aortic bypass graft; Cereb.=cerebral; cryo=cryosurgery; Days=days of assist; ECC=extracorporeal circulation; GLA=giant left atrium; LAP=left atrial plication; LVtomy=left ventricular aneurysmectomy; MOF=multiple organ failure; MSR=mitral steno-regurgitation; MVR=mitral valve replacement; OMI=old myocardial infarction; Post-op LOS=post-operative low cardiac output syndrome; Resp.=respiratory; TAP=tricuspid annular plication; VSR=ventricular septal rupture; VT=ventricular tachycardia.



**Fig. 1. Duration of left ventricular assist and days lived after weaning.**  
A: recovered cases; B: unrecovered cases; C: pediatric cases.

り離脱できなかったか、ないしは離脱できても短期間しか生存しなかった。ここでは前者を回復群、後者を非回復群とした (Table 1)。両群の症例ごとの補助期間と離脱後の生存期間を Fig. 1 に示す。なお今回の対象とならなかった症例は、出血多量、右心不全、呼吸不全などにより人工心臓が無効であった 5 例、および小児 2 例である (Fig. 1 下段)。

## 2. 左心補助方法

人工心臓の装置、装着方法、駆動様式は従来の報告どおりで<sup>4-6)</sup>、補助人工心臓により左房から脱血し、大動脈へ送血した。補助は心拍同期駆動により行ない、総心拍出量と左房圧の定値制御により、補助量は自動的に決定した<sup>7)</sup>。装着後のスケジュールとしては、初めの 3 日間は補助量を十分とし、体循環を良好に保持した。あくまでも自己の循環に必要な拍出量をまかなうものとし、補助を少なめに自己心臓を働かせることはしなかった。ただし、もし自己心臓の機能低下が少なく、十分な補助循環にもかかわらず自己心臓から

の心拍出がある場合には、それを抑制してまで補助を行なうことはしなかった。その後は自己心臓の回復に応じ、自己心臓に過大な前負荷をかけないように、漸次人工心臓からの離脱 (weaning) をはかった<sup>2)</sup>。

## 3. 測定

### 1. 心エコー図法

用いた装置は東芝製 SSH-11A, 60A, 65A である。M モード心エコー図はストリップチャートに 50 mm/sec にて記録した。断層像はビデオテープに記録した。14 例のうち、後半 9 例は経食道心エコー図法も併用した。経食道心エコー図法探触子は東芝製 ESB-37SR である。リアルタイム断層心エコー図法により、左室壁運動異常の範囲と程度を検討し、大動脈弁 M モード心エコー図から前駆出時間 (PEP, pre-ejection period)、駆出時間 (ET, ejection time)、両者の比 (ET/PEP)、心拍数補正駆出時間 (ETc) ( $ET/\sqrt{R-R}$ ) を計測した。

## 2. その他の指標

心エコー図法検査と同時に, 心拍出量(熱希釈法による), 補助心臓駆出量(bypass flow, 送血管に装着の電磁流量計による), 中心静脈圧, 肺動脈圧, 左房圧, 大動脈圧を計測した.

## 4. プロトコールおよび計測

補助心臓装着翌日より1週間は毎日連続, その後は週2回の割で検査を行なった. いずれの測定も人工心臓は心拍同期駆動で自己心臓の拍動ごとの補助(すなわち1:1の補助)時に行ない, 4~5心拍平均値を計測値とした. 離脱が進み, 1:2や1:3などの補助の場合には, 補助心の流量など血行動態を変化させない範囲で1:1の補助に変更

して検査し, その制御ができなかった例では10心拍の平均値を計測値とした. なお, 頻脈時(毎分125以上)にも検査記録は行なったが, 今回の検討対象からは除外した.

## 結 果

### 1. 左室壁運動

人工心臓装着直後は, いずれの例においても壁運動は著しく低下し, 左室腔内には血液の鬱滞を示すモヤモヤエコーが見られた(Fig. 2). 呈示例では左室前壁側はdyskineticであり, 後壁側はほとんどakinetiсである. 壁運動異常は経過とともに改善し, 呈示例のごとく, 5日目には左室前

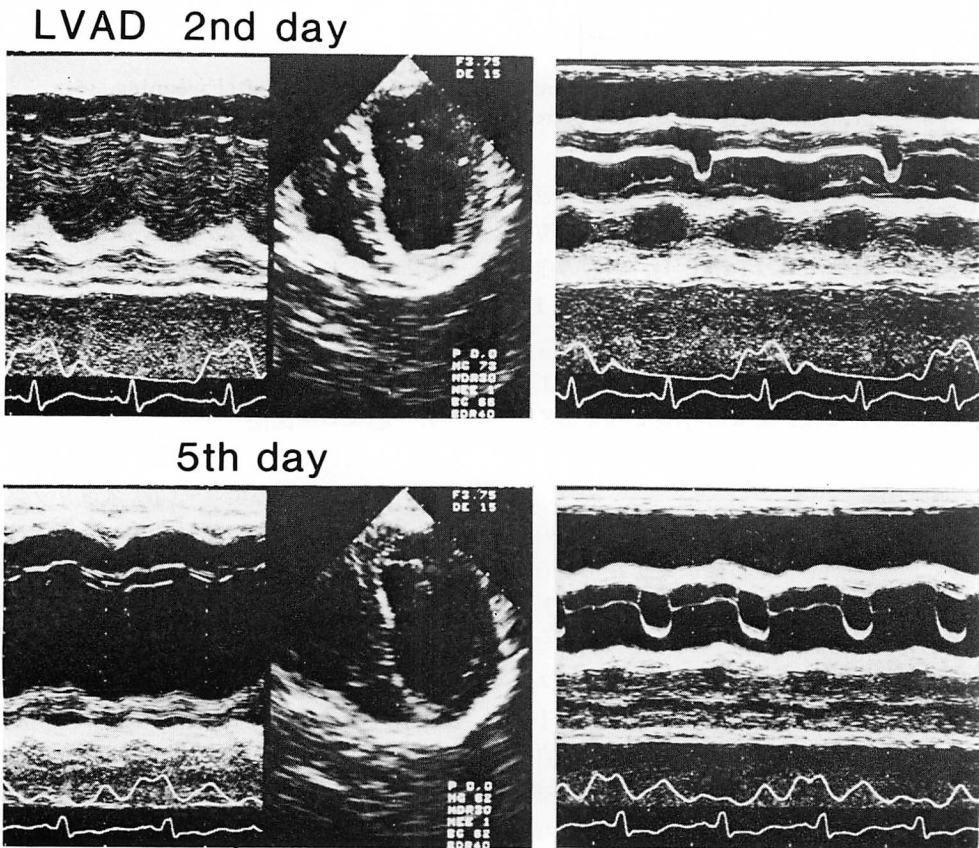


Fig. 2. Transesophageal echocardiograms of the left ventricle on the 2nd and 5th days of left ventricular assist by the artificial heart.

壁の dyskinesis は消失し、後壁も kinetic となって左室壁運動に改善が見られ、左室腔内のモヤモヤエコーは消失した。しかし、前胸壁からの記録にとどまった5例では、創部などの関係で左室全体を隈なく観察することが不可能であり、経食道心エコー図法を行なった9例でも、すべてのレベルでの左室短軸像を得ることができるとは限らず、心臓全体にわたる左室壁運動異常の定量的評価は行なえなかった。

2. 離脱直前の各指標

人工心臓離脱前の血行動態を回復群、非回復群で対比した (Fig. 3). 非回復群のうち人工心臓から離脱し得なかった症例はその最終記録で代用した。非離脱例では自己血圧も低く、駆出時間も短かく、自己心臓のみではその個体の循環を維持するまでには回復し得なかった。人工心臓から離脱できた症例に限れば、非回復群、回復群ともほとんど同程度の自己血圧と駆出時間で、有意な差はなかった。しかし、非回復群の左房圧 (LAP) は回復群より明らかに高く、それゆえ ETc/LAP の指標により両群を分離し得た。ETc の代わりに TTI (tension time index) を見ても同様であ

った。すなわち血液駆出機能があれば人工心臓から離脱はできるが、その後の予後は左房圧に規定されるようであった。

3. 左室補助量に対する収縮期時相の変化

大動脈弁開放時相は人工心臓の作動条件に影響された。例えば Fig. 4 のごとく、補助量が 3.6 l/m の際には全く開放しなかった大動脈弁が、同じ 2:1 の補助で補助量を 2.0 l/m に減じることにより開放するようになった。この時、左房圧は 18 より 26 mmHg へと著しく上昇した。このように、人工心臓の作動条件を変え、左房圧変化に対する駆出時間の増加度を見れば、回復例では左房圧を上げるとより駆出時間は増大し、非回復例では左房圧上昇に対する駆出時間の伸びが悪いことが示された (Fig. 5).

4. 収縮期時相の経日的変化

補助開始後から離脱までの ET/PEP の変化を検討した (Fig. 6). 回復群では ET/PEP はおおむね 1 週間以内に速やかな改善を示したが、非回復群では改善度も悪く、全く改善を見ない例も存在した。また長期間補助を行なっても改善が見込めるのはおおむね 10 日までで、その後補助を続

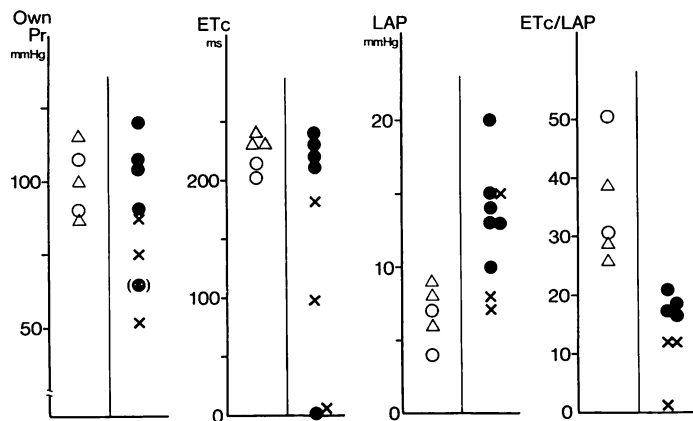


Fig. 3. Hemodynamics just before weaning from the artificial heart in the recovered (left column) and unrecovered (right column) patients.

Own Pr=aortic systolic pressure developed by own heart; ETc=heart rate corrected ejection time; LAP=left atrial pressure.

Symbols O, Δ, ● and × indicate patients who were alive, recovered, unrecovered and unweaned from the LVAS, respectively.

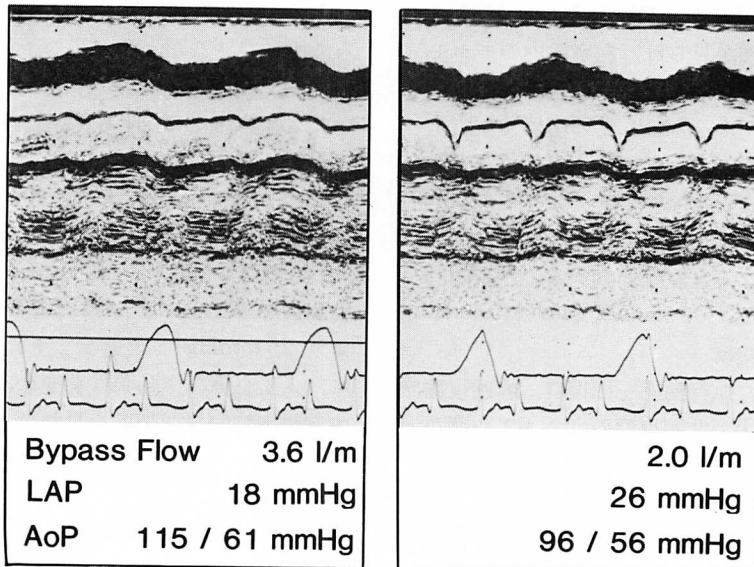


Fig. 4. Aortic valve motions according to the assisting condition.  
LAP=left atrial pressure; AoP=aortic pressure.

けても、自己の心機能の回復は見込めなかった。このことから人工心臓作動中においても、おおよそ1週間目の血行動態指標から、離脱回復の判定ができると思われた。

#### 5. 補助7日目の各指標

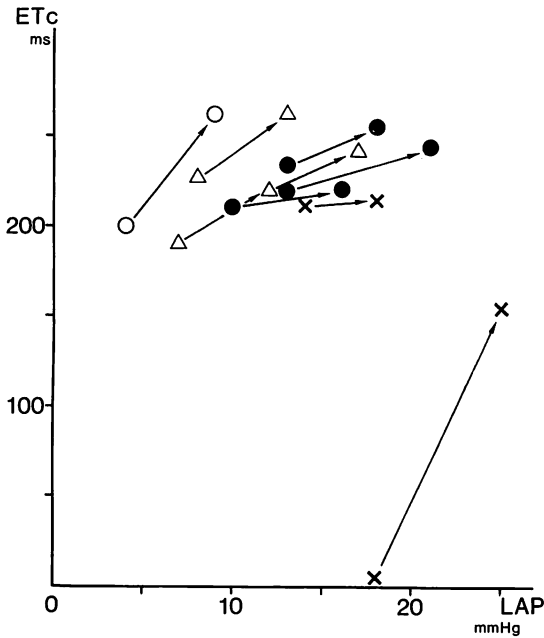
前項の結果を受け、補助7日目の血行動態を検討した (Fig. 7)。補助7日目において自己圧発生能力もなく駆出時間も短い例では、その後の補助にもかかわらず人工心臓からの離脱は不能であった。離脱し得た症例では、非回復群でも回復群同様の自己圧発生、駆出時間を示した。しかしそのような例はいずれも左房圧が高く、ETc/LAPの比で見れば、すべての症例が分離された。このような関係は、離脱前とほぼ同じであった (Fig. 8)。すなわち、補助7日目の時点で自己心臓からの血液駆出が低い左房圧で保障されていれば (駆出時間 (ETc) がほぼ 200 msec 以上、左房圧がほぼ 10 mmHg 以下)、補助心臓からの離脱回復が見込めるのではないかと思われた。

## 考 按

### 1. 左心補助と離脱の意味

現時点で心臓移植が行なわれない我国では、人工心臓は可逆的不全心に対する最終の治療方法であろう。現在用いられる人工心臓の装置は、技術的改良により、動物実験では3ヵ月の長期にわたる補助を安全に行なうことが可能であるが、永久使用を目的としたものではなく、あくまでも装着中に自己心臓の機能が回復することを期待して用いられている<sup>8-10)</sup>。逆に言えば、回復の見込めない左心不全例では人工心臓の適用はない。人工心臓装着後は、より簡便な治療方法で個体の循環が維持できるまでに回復すれば、補助心臓から離脱させるのが原則である。離脱に際しては、左室の大きさ、壁運動異常の有無や程度は問わず、昇圧剤、血管拡張剤の使用の如何も問わない。今回の検討で使用薬剤の種類や量を判定材料にしなかったのは、かかる理由からである。

今回の検討はあくまでも補助心臓からの離脱を前提としたものである。もし心臓移植が行なわれ



**Fig. 5. Response of the ETC-LAP relationship to the assisting condition.**

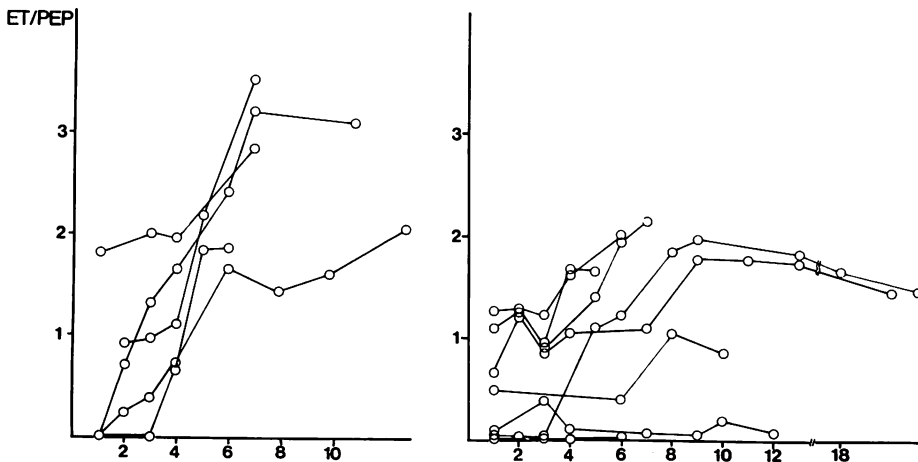
By reducing the output of the assist, ETC and LAP increased concomitantly, though each increment varied among the patients.

For abbreviations and symbols: see Fig. 3.

るようになれば、移植との関連で補助心臓を考える必要がある。例えば、心臓移植までの bridge として補助人工心臓を考えるならば、補助の間、自己心臓の回復を考慮する必要はない。人工心臓にて必要十分な循環を行ない、全身状態を良くして移植に備えるという手順が考えられるからである<sup>11)</sup>。

**2. 機能評価のための指標について**

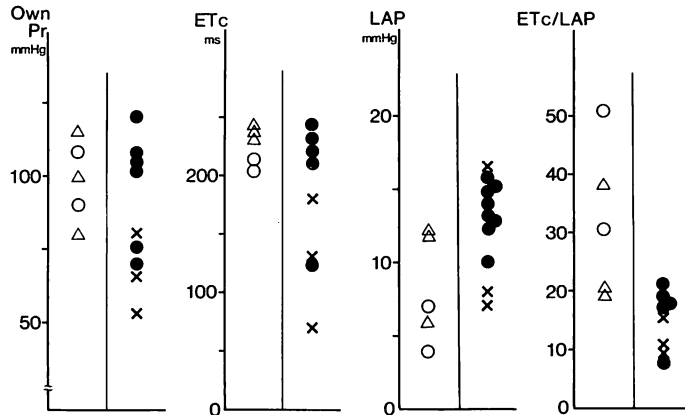
心エコー図法は、動物実験においても<sup>12)</sup>、臨床例においても<sup>13,14)</sup>、補助心臓作動中の自己心臓の壁動態を観察するには適した検査方法であろう。しかし、今回の検討では機能回復を検討するための心機能指標として、左室壁運動の評価を主体に置かなかった。これは、壁運動異常に関しては、定量的な評価をするだけの記録が全例で得られていないことも理由の一つであるが、局所の回復の検討が目的ではなく、全体としての機能回復を検討する必要があったからである。本検討では左室全体としての機能を反映する指標として、収縮期時相分析を用いた。収縮期時相は左室前負荷や後負荷に影響されるが、各症例において平均大動脈圧はおおむね同じ値で経過しており、そのような



**Fig. 6. Daily improvement of systolic time intervals.**

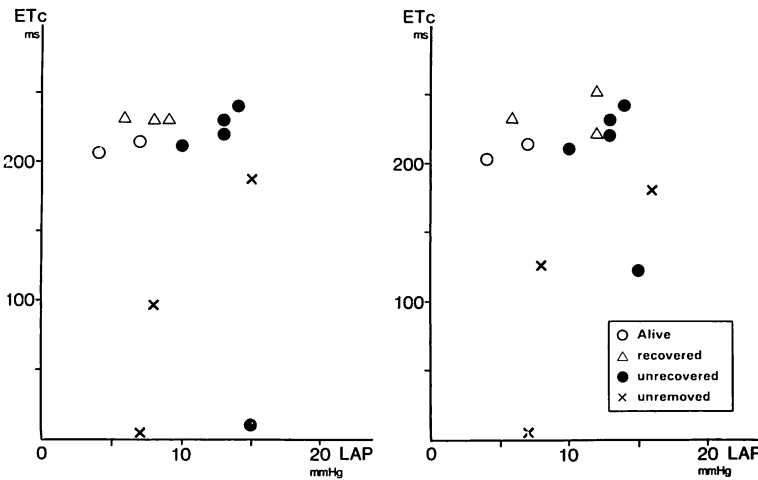
Improvement in the recovered patients (left) was more rapid than that in the unrecovered patients (right). Improvement was not seen after the 10th day of the assist.

ET=ejection time ; PEP=pre-ejection period.



**Fig. 7. Hemodynamics on the 7th day of the assist by the artificial heart in the recovered (left column) and unrecovered (right column) patients.**

For abbreviations and symbols: see Fig. 3.



**Fig. 8. ETc-LAP relationship on the 7th and last days of the assist by the artificial heart.**

For abbreviations: see Fig. 3.

状況で左室前負荷(左房圧)に対する血液駆出時間という二つの指標を組み合わせれば、ポンプ機能の評価が可能であると予測される。結果として前負荷を上昇させても駆出時間は延長しなかった例では、人工心臓からの回復が見られなかった。一般に循環補助装置の効果判定には、on-off 試験が行なわれるが<sup>15)</sup>、今回の検討のごとく、左房圧変化に対する駆出時間の変化の追従性の検討は、自

己心臓への過度の負荷を避けた、ある意味での on-off 試験である。

### 3. 補助による左心機能の回復過程

今回の対象では、早期離脱を目指し、全例同じ手順での補助とその離脱が計られているにもかかわらず、症例により自己心臓の回復度が異なった。それは個々の症例の回復がその基礎疾患や心臓障害度に依存することから、当然の結果と言える。



重要なことは、いずれの例においても、人工心臓による自己心臓の回復度はほぼ10日までにプラトーに達することである。すなわち、現時点においては、不全に陥った左室を補助しても、10日以内に人工心臓より離脱できない場合には、それ以上補助を続けても、離脱の可能性は少ないと言える。この数字は補助心臓依存症例の発生予知という点においても、意味のあることと思われる。

このような回復過程の特徴から予想されるように、人工心臓からの離脱の際の心機能と補助7日目のそれはほぼ同じであり、離脱後の回復の予想は補助7日目で可能と思われる。すなわち、7日目の駆出時間(ETc)が200 msec以上、左房圧が10 mmHg以下であれば、補助心臓からの離脱回復が見込める。

補助を必要とした不全心が補助心臓から離脱できるのは、左心機能の心筋レベルでの回復に加えて<sup>16)</sup>、何らかの代償機転が働くと考えられるが<sup>9)</sup>、今回の検討では、両者を区別して評価し得なかった。無収縮の左室壁が収縮を示すようになった点では心筋の収縮性が改善したと言えるが、壁運動も左室の前・後負荷に影響されるため、厳密な意味での機能評価は難しい。人工心臓による真の心機能回復度を検討するためには、別の指標が必要と思われる。

#### 4. 今回の検討結果が適用できる条件

補助条件、離脱に対しての我々の方針は、初めの3日間は補助量を十分とし、体循環を良好に保持した後、徐々に離脱することとしている。この結果が適応できるのはこのような補助過程においてであり、十分な補助条件の期間が変われば、当然今回の結果も変わり得る。

なお、人工心臓を作動させる場合、個体の生命維持に対する補助と、心機能回復に対する補助に違いがあるか否かは、現時点では明らかではない。離脱を目標とした現在の補助心臓は、生命維持と心機能回復の両面を考えなければならないが、どちらに重点を置くべきか、またそれは経過により変わり得るのかは、未解決の問題である。

## 結 語

1. 左心補助人工心臓による自己心臓の機能回復の限界日数はおおむね10日である。
2. 10日以上人工心臓を使用し続けても、駆出時間に改善が見られず、離脱できない例がある。
3. 離脱できても、左房圧が高い例ではその後の個体維持が難しい。
4. 人工心臓装着7日目の血行動態は離脱直前のそれとおおむね同様であり、その時点で補助心臓からの離脱、回復の可否が推測できそうである。すなわち駆出時間(ETc)が200 msec以上、左房圧が10 mmHg以下であれば、離脱回復が見込める。

## 要 約

左心補助人工心臓(left ventricular assist system: LVAS, 以下、人工心臓)により補助を受けている自己心臓の機能回復過程の解明と、補助からの離脱回復の予測を目的とし、人工心臓より離脱回復した5例(離脱後2週以上生存)と回復し得なかった9例(離脱不可ないし離脱後2週以内死亡)について、補助中の心エコー図と血行動態指標を対比検討した。いずれも装着後3日間の十分な循環補助の後、補助軽減が計られている症例である。

回復群では駆出時間/前駆出時間比(ET/PEP)は1週以内に速やかに回復したが、非回復群では回復程度も悪く、10日目以後は回復が見られなかった。非回復群では自己動脈圧や駆出時間が回復群のそれとそれほどの差がないまでに回復しても、左房圧は回復群に比し有意に高く、これらは補助7日目で既に同様であった。すなわち人工心臓装着例では、第7日目の心機能により、離脱、回復の可否、さらには補助心臓依存への移行を予知し得るとと思われる。

## 追記

その後1例、左心補助人工心臓を適用した症例があっ

た. この症例は62歳, 男性, 陳旧性心筋梗塞例で, 心室瘻切除術時, 体外循環からの離脱困難なため人工心臓を装着した症例である. 68日間の補助にもかかわらず, 離脱し得ることなく, 多臓器機能不全にて死亡した. 今回の結果に対比して見ると, 7日目の大動脈圧140/76 mmHg (平均99) 自己圧100 mmHg, 駆出時間130 msec, ET/PEP=1.0, 左房圧14mmHgは非回復群の範囲に入り, 62日目の最終記録においても何ら回復が見られず, 非回復群の範囲にとどまっていた.

#### 文献

- 1) Ruzevich SA, Pennington G, Kanter KR, Swartz MT, McBride LR, Termuhlen DF: Long-term follow-up study of survivors of postcardiotomy circulatory support. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **33**: 177-181, 1987
- 2) Takano H, Taenaka Y, Nakatani T, Akutsu T, Manabe H: Successful treatment of profound left ventricular failure by automatic left ventricular assist system. *World J Surg* **9**: 78-88, 1985
- 3) 中谷武嗣, 高野久輝, 公文啓二, 藤田 毅: IABPの限界を越えた重症心不全例の検討と補助人工心臓の適用. *胸部外科* **39**: 192-197, 1986
- 4) 高野久輝, 林 紘三郎, 梅津光生, 富野哲夫, 康 義治, 鬼頭義次, 小柳 仁, 内藤泰顕, 藤田 毅, 曲直部寿夫: 補助人工心臓の臨床応用に関する基礎的研究: 補助心臓システムの開発. *人工臓器* **9**: 601-604, 1980
- 5) 高野久輝, 妙中義之, 松田武久, 梅津光生, 中村孝夫, 林 紘三郎, 阿久津哲造, 曲直部寿夫: 臨床用補助人工心臓システムの開発: ポンプの改良と評価. *人工臓器* **12**: 390-394, 1983
- 6) 高野久輝, 妙中義之, 中谷武嗣, 野田裕幸, 木下正之, 松田武久, 阿久津哲造, 曲直部寿夫: 急性重症心不全患者の救命を目的とした補助人工心臓用血液ポンプの開発と評価. *日胸外会誌* **37**: 2072-2081, 1989
- 7) 中谷武嗣, 高野久輝, 林 紘三郎, 梅津光生, 妙中義之, 田中 隆, 中村孝夫, 高谷節雄, 松田武久, 阿久津哲造: 実験的重症心不全モデルに対する左心補助人工心臓の定値制御系の検討. *医用電子と生体工学* **21**: 293-294, 1983
- 8) Binkley P, Galbraith T, Shaffer P, Starling R, Murray K, Howanitz P, Watson K, Myerowitz D: Influence of an extracorporeal artificial ventricle on native ventricular performance. *Am Heart J* **115**: 1119-1121, 1988
- 9) 中村孝夫, 林 紘三郎, 関 淳二, 中谷武嗣, 野田裕幸, 木下正之, 妙中義之, 高野久輝, 阿久津哲造: 補助心臓の心補助効果に関する心力学的研究 (慢性動物実験による不全心回復過程の検討). *人工臓器* **17**: 902-905, 1988
- 10) Nakatani T, Takano H, Taenaka T, Umezu M, Tanaka T, Yutani C, Matsuda T, Iwata H, Noda H, Nakamura T, Takatani S, Saki J, Hayashi K, Akutsu T, Manabe H: Therapeutic effect of left ventricular assist device on induced profound left ventricular failure: Evaluation by left ventriculography. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **30**: 533-538, 1984
- 11) Franzier OH, Nakatani T, Lammermeier DE: Cardiac transplantation and mechanical circulatory assistance: The Texas Heart Institute experience. *日胸外会誌* **37**: 1-7, 1989
- 12) 仁田新一, 香川 謙, 佐藤 尚, 加畑 治, 本田剛彦, 本郷忠敬, 毛利 平, 堀内藤吾, 田中元直, 目黒泰一郎: 左心補助心臓のUCGによる評価. *人工臓器* **7**: 70-73, 1978
- 13) 別府慎太郎, 中谷武嗣, 榊原 博, 永田正毅, 朴永大, 小原那義, 藤田 毅, 曲直部寿夫, 妙中義之, 高野久輝, 阿久津哲造, 仁村泰治: 補助人工心臓作動下の左室内血栓形成と人工弁癒着及びその意義についての考察: 心エコー図による観察. *J Cardiogr* **14**: 623-631, 1984
- 14) Nakatani T, Takano H, Beppu S, Noda H, Fukuda S, Fujita T, Akutsu T, Nimura Y, Manabe H: Natural heart recovery under left ventricular assist device pumping studied by echocardiography. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **32**: 461-466, 1986
- 15) Termuhlen DF, Swartz MT, Pennington DG, Samuels LD, McBride LR, Kanter KR, Ruzevich SA: Predictors for weaning patients from ventricular assist devices (VADs). *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **33**: 683-688, 1987
- 16) Richenbacher WE, Rosenberg WG, 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, Heidelberg, New York, Tokyo, 1984, pp 70-84