

Total cavopulmonary shunt 手術および心房内 septation を伴う Fontan 型手術後の右心系血流の検討

Assessment of pulmonary blood flow after total cavopulmonary shunt operation and the modified Fontan procedure for univentricular heart

三浦 拓也*
松田 暉
中埜 肅
岸本 英文
加藤 寛
広瀬 一
川島 康生

Takuya MIURA*
Hikaru MATSUDA
Susumu NAKANO
Hidefumi KISHIMOTO
Hiroshi KATO
Hajime HIROSE
Yasunaru KAWASHIMA

Summary

Pulsed Doppler echocardiography was utilized to elucidate the characteristics of pulmonary arterial (PA) blood flow in five patients without apparent pumping chambers in their right heart circulation after right heart bypass surgery for univentricular heart. Two of these patients underwent total cavopulmonary shunt operation, in which the total systemic venous return drained directly into the PA, bypassing the right atrium and ventricle. Three underwent the modified Fontan procedure with atrial partition, in which the right-sided atrium was reconstructed merely as a pathway from the vena cava to the PA, and atrial contraction was nearly entirely excluded.

The flow pattern in the PA was biphasic and forward in all five patients. Pulmonary regurgitation was not observed in any of the patients. The first phase of PA flow had its peak during atrial systole; the second, during ventricular systole. Simultaneous observation of PA flow and pressures demonstrated an inverse relation between PA flow and pressure. Pulmonary venous (PV) blood flow pattern was also biphasic and similar to the PA blood flow pattern with time lags.

In conclusion, in cases without pumping right heart chambers, PA flow reflects PV flow resulting from contraction and relaxation of the left atrium and ventricle.

大阪大学医学部 第一外科
大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

The First Department of Surgery, Osaka University
Medical School, 1-1-50, Fukushima, Fukushima-ku,
Osaka 553

*(現)大阪府立母子保健総合医療センター心臓外科
和泉市室堂町 840 (〒590-02)

Received for publication September 22, 1987; accepted December 2, 1987 (Ref. No. 33-59)

Key words

Total cavopulmonary shunt operation Fontan procedure Pulmonary blood flow Pulsed Doppler echocardiography Univentricular heart

はじめに

三尖弁閉鎖症に対する根治手術として考案された Fontan 型手術^{1,2)} (以下右房-肺動脈吻合術をさす) は, その手術適応基準³⁾ が示されるとともに手術成績が向上し, ほぼ確立された手術方法となっている. さらにこの方法は, 単心室症や僧帽弁閉鎖症等, 種々の複雑心奇形にも応用されるようになり, 成功例の報告も増加している^{4,5)}.

この術式の基本は右心バイパス手術であり, 右心系にその作用を十分期待し得る pumping chamber がないことである. この際, 心房が右心系に含まれる場合が多いが, この心房収縮の意義については, 実験的検討より, 本手術後の血行動態の維持に必要な不可欠なものではないと考えられている^{6,7)}. 臨床的にも, この手術後, 心房収縮を欠如するような不整脈の出現によっても, 血行動態は維持可能であり⁸⁾, また右心系に全く心房心室を持たない total cavopulmonary shunt (TCPS) 手術においても, 良好な血行動態が得られていることがそれを示している^{9,10)}.

一方, Fontan 手術後, 右心房の収縮による心房 a 波は肺動脈によく伝わり, これに一致して肺動脈への血流が存在することが示されてお

り¹¹⁻¹³⁾. 肺血流の拍動性の維持や静脈還流の面で, 心房収縮が有利に働いている可能性もあると思われる.

このような状況において, 右心系に全く心房・心室などの pumping chamber を持たない場合, すなわち完全右心バイパス手術における肺血流動態を明らかにすることは, 右心バイパス手術全般における右心房収縮の重要性を考える上で, 意義あることと考えられる. そこで Fontan 型手術に際して, 新右房を導管様に形成する心房の septation (partition) を行ったため, 術後機能的右房の収縮が期待できない単心室症および僧帽弁閉鎖症^{14,15)}, および前述した TCPS 手術を施行した単心室症を対象として, 完全右心バイパス手術後の右心系血流について検討した.

対 象

TCPS 手術を施行した単心室症 2 例, Fontan 型手術に際して心房内 septation を要した単心室症 2 例, 僧帽弁閉鎖症 1 例, 計 5 例を対象とした. 5 例の解剖学的所見を Table 1 に示した. 症例 1 は半奇静脈結合, 症例 2 は奇静脈結合を伴う下大静脈欠損を合併した単心室症であり, 両側上大静脈を左右肺動脈に端側吻合する TCPS 手

Table 1. Anatomical data

No.	Age	Ventricle & atrium	AV valve	Situs	PV return	SVC
1	23	SRV+SA	CAVV	LI	Normal	Bilateral
2	10	SRV+SA	CAVV	LI	Normal	Bilateral
3	12	SRV+SA	CAVV	SI	Normal	Left
4	8	MA+SA	Tricuspid	RI	TAPVD (IIa)	Right
5	7	SRV+2 atria	2 AV valves*	RI	Normal	Bilateral

SRV=single right ventricle; MA=mitral atresia; SA=single atrium; CAVV=common atrioventricular valve; LI=left isomerism; RI=right isomerism; SI=situs inversus; PV=pulmonary vein; TAPVD=total anomalous pulmonary venous drainage; SVC=superior vena cava; *=including hypoplastic mitral valve.

Table 2. Surgical and postoperative hemodynamic data

No.	Operation	Postoperative hemodynamic data				
		RAP	PAP	PCWP	SVP	CI
1	TCPS	—	7	6	98/-	1.92
2	TCPS	—	7	0	102/3	4.12
3	Fontan	10	8	5	98/5	1.76
4	Fontan	20	20	11	140/11	3.06
5	Fontan	13	12	6	116/9	1.66

TCPS=total cavopulmonary shunt; RAP=mean right atrial pressure (mmHg); PAP=mean pulmonary arterial pressure; PCWP=mean pulmonary capillary wedge pressure; SVP=systemic ventricular pressure (systolic/end-diastolic); CI=cardiac index (l/min/m²).

術を施行した. 症例1では共通房室弁の置換を併せ行った. 症例3~5では下大静脈から上大静脈を含んで右房上部へ至る心房内ルートを作成(心房内 septation)し, 右房・肺動脈直接吻合を加える modified Fontan 手術を行った. 症例4では肺静脈の流入する冠静脈洞を左房側へ cut back して, 開口部を拡大した. 症例5では左側上大静

脈は心房流入部で切断し, 肺動脈に端側吻合した (Fig. 1). 全例洞調律であった.

方 法

術後1ヵ月から6年5ヵ月に心臓カテーテル検査を, 術後1ヵ月から7年6ヵ月に超音波ドップラー検査を施行した. 患者は安静仰臥位とし, 原則として軽い呼気位で呼吸停止させた. 超音波断層心エコー図法にて心内構造を描出し, 肺動脈・肺静脈・房室弁位の血流パターンを心電図と同時に記録した. 症例3, 4では心臓カテーテル検査の前日あるいは翌日に超音波ドップラー検査を行い, 症例5では心臓カテーテル検査中に超音波ドップラー検査を行って, 大腿静脈より挿入したカテーテルで測定した肺動脈圧あるいは肺動脈楔入圧を, 血流パターンと同時にストリップチャートに記録した.

装置はアロカ製超音波断層装置 SSD-720 とパルス・ドップラーユニット UGR-23 の複合システムを用いた. 超音波発振周波数は 3.0 MHz, パルス繰り返し周波数は主として 4.0 KHz を用い

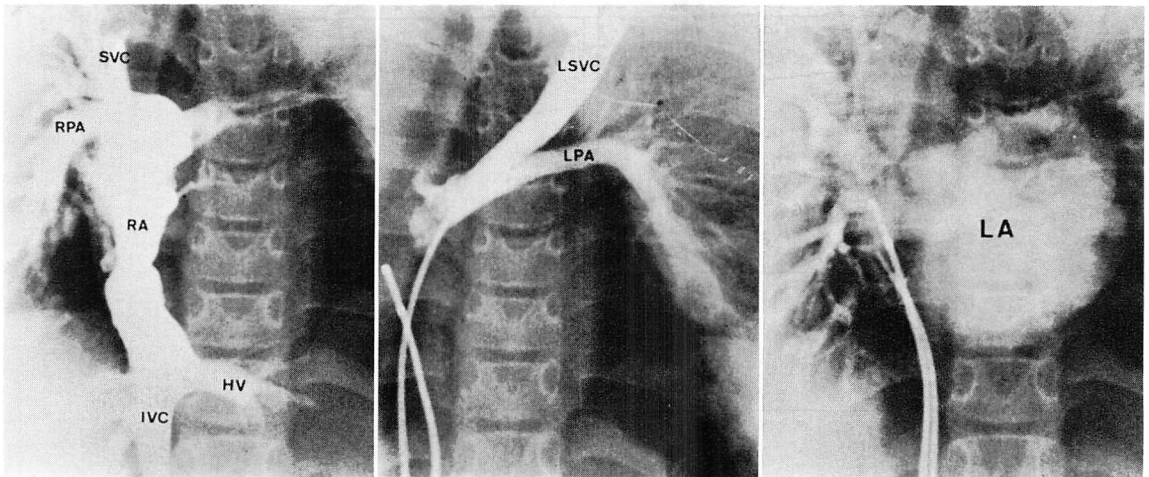


Fig. 1. Postoperative right atriogram (left), venogram of the LSVC (middle), and left atriogram (right) in Case 5.

RA=right atrium; LSVC=left superior vena cava; IVC=inferior vena cava; HV=hepatic vein; LA=left atrium.

た. 記録はストリップチャートにより, 紙送り速度 50~100 mm/sec で行った.

結 果

肺動脈血流パターンは全例で二峰性を示した. 第一の波は心電図上の P 波から QRS 波付近, すなわち心房収縮期にピークがあり, 第二の波は第一の波に引き続いて始まり, QRS 波から T 波の間, すなわち心室収縮期にピークがあった (Figs. 2, 3). このうち第一の波は症例 2 では P 波の出現以前に始っていた (Fig. 2). どの症例においても, 肺動脈内の逆流は認められなかった.

肺動脈血流パターンと肺動脈圧波形との対比では, 血流ピークに一致して (症例 1, 2, 4), あるいは僅かに先行して (症例 5) 肺動脈圧の下降がみられ, 両者には逆の関係が認められた (Figs. 2, 3). 症例 3 ではこれらの関係は明らかでなかった.

肺静脈血流パターンの記録できた 4 例 (症例 2, 3, 4, 5) では, そのパターンは肺動脈血流類似の二峰性を示した (Fig. 4) が, 肺動脈血流のピークはそれぞれ肺静脈の血流ピークに僅かに遅れていた (Fig. 3, 4).

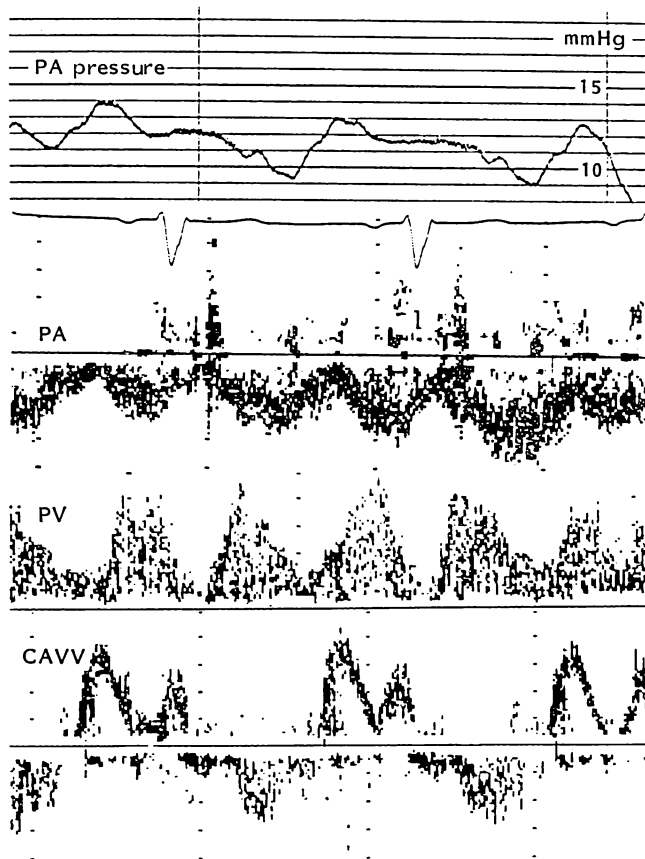


Fig. 2. Pressure and Doppler flow patterns in the pulmonary artery (PA), pulmonary vein (PV), and at the site of the common atrioventricular valve (CAVV) in Case 2.

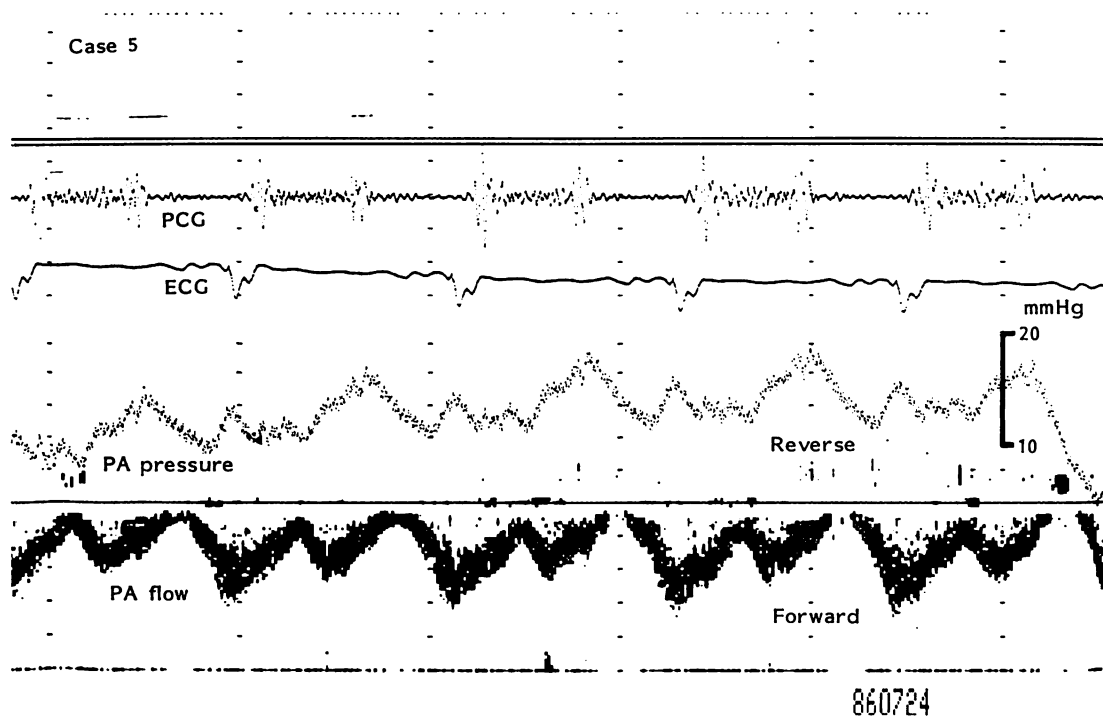


Fig. 3. Simultaneous recording of pressure and Doppler flow pattern in the pulmonary artery in Case 5.

考 察

三尖弁閉鎖症に対する右房肺動脈直接吻合による Fontan 型手術後の肺動脈血流パターンは、心周期に一致して、二峰性を呈すると報告されている¹¹⁻¹³⁾。このうち、心電図 P 波に続く肺動脈への流入血流ピークは右房 a 波に一致して起こり、またこの a 波が肺動脈にもよく伝わることから、この血流ピークは右心房収縮によって生じると説明され、本手術後の右房収縮の重要性を支持する一つの根拠とされている¹¹⁾。しかし対象 5 例の肺動脈血流パターンおよび肺動脈圧をみると、P 波に引続く肺動脈血流ピークは存在するが、肺動脈圧はむしろその時期に低下していた。また症例 2 では、この血流は、P 波の出現、すなわち右房収縮に先だって始まっていた (Fig. 2)。したがって

P 波に引続くこれらの肺動脈血流ピークは、右房の収縮によって生じたとは言い難いと考えられる。さらに心室収縮期にも肺動脈血流ピークがあり、その結果、肺動脈血流パターンは二峰性を呈していた。

血流の開始時に血管内圧の下降が生じることは、その血流の駆動源が流れの上流、すなわち後方から作用せず、血流の下流、すなわち前方から作用している可能性が考えられる。肺動脈血流パターンが記録可能であった 4 例でそれを見ると、肺動脈血流パターンと類似の二峰性パターンを示していた。さらに肺動脈血流のピークをみると、肺静脈血流のピークに僅かに遅れていた。一方、肺静脈の血流パターンは左房・左室の収縮弛緩によって決まることが実験的にも臨床的にも示されている¹⁶⁻¹⁹⁾。これらのことから、本手術後の肺動脈

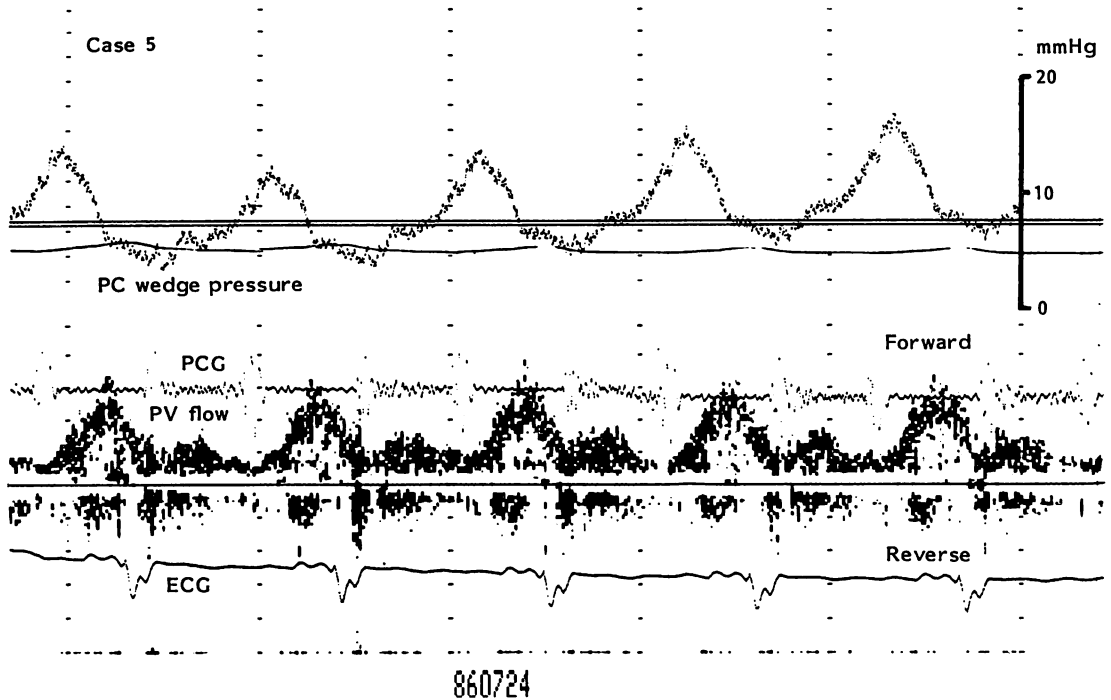


Fig. 4. Simultaneous recording of pulmonary capillary wedge pressure (top) and Doppler flow pattern in the pulmonary vein in Case 5.

血流パターンの二峰性は肺静脈血流パターンの二峰性を反映しており、左房および左室の収縮・弛緩の効果によって生じていることが推察される。

これまででも、三尖弁閉鎖症だけでなく、単心室症も含めた Fontan 型手術後の肺動脈血流の検討がなされ、一部の症例には、心電図の P 波の出現以前、すなわち右房収縮以前より始まる肺動脈血流ピークの存在が報告されている¹²⁾。これは肺動脈内で中枢から末梢への血液の流れがあり、それに引続いて生じる血流ピークであると述べられている。このピークの成因として右房収縮は考え難く、下流の左心系からの効果が及んでいるものと考えられる。

Takano ら²⁰⁾は一つの心室で全身循環を維持する Fontan 型手術が臨床的に可能であることか

ら、単心室型人工心臓 (single artificial heart: SAH) を用いた循環維持を試みている。心停止下に左房脱血、大動脈送血で SAH を装着すると、SAH の拡張期に左房圧は低下するが、これと同様の吸込み波形が右房圧波形にも認められ、さらに右房圧の吸込み波形は、左房圧のそれに比し、時間的に若干遅れて生じていることを認めている。この実験では左房からの強制的な脱血が行われるため、実際の Fontan 型手術後例とは左心系への効果は若干異なる可能性はあるが、今回の臨床例に見られた所見との類似性は、右心系血流パターンが、肺血管床を通して、左心系の収縮・弛緩の効果を受けている可能性を示唆している。

従来から報告の多い三尖弁閉鎖症に対する Fontan 手術後の肺動脈血流にも、本論文で示さ

れた肺血管床を通した左心系からの効果が存在すると考えられ、右房収縮によって生じているとされる肺動脈血流ピークは、右房収縮がなくても存在する可能性がある。右房収縮がこの血流ピークをさらに加速する効果をもつ可能性はあるが、その反面、拡張期には順方向の血流を妨げている可能性も否定できない。したがってこの血流ピークの存在は、必ずしも右房収縮の重要性を支持するものではないと考えられる。

要 約

単心室症に対する右心バイパス手術後症例 5 例を対象とし、右心系に pumping chamber を持たない場合の肺動脈血流の特徴を、パルス・ドプラー法を用いて検討した。2 例では右房・右室を通らず、体静脈血を直接肺動脈に流入させる total cavopulmonary shunt 手術を施行した。3 例では体静脈から肺動脈への導管様に右房を形成したため、右房収縮がほとんど見られない Fontan 型手術を施行した。

5 例全例で肺動脈血流パターンは二峰性を示した。肺動脈逆流は認められなかった。肺動脈血流パターンの第一の波は心房収縮期にピークがあり、第二の波は心室収縮期にピークがあった。肺動脈血流パターンと肺動脈圧との比較では、両者間に逆の関係が認められた。肺静脈血流パターンも二峰性を示し、肺動脈血流パターンと時間的なずれを伴って類似を示した。本手術後の肺動脈血流パターンは肺静脈血流パターンの反映であり、左房左室の収縮弛緩の結果、生じていると推察された。

文 献

- Fontan F, Baudet E: Surgical repair of tricuspid atresia. *Thorax* 26: 240-248, 1971
- Kreutzer G, Galindez E, Bono H, de Palma C, Laura JP: An operation for the correction of tricuspid atresia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 66: 613-621, 1973
- Choussat A, Fontan F, Besse P, Vallot F, Chauve A, Bricaud H: Selection criteria for Fontan's procedure. *in Pediatric Cardiology 1977*, ed by Anderson RH, Shinebourne EA, Churchill, Livingstone, Edinburgh, 1978, pp 559-566
- Gale AW, Danielson GK, McGoon DC, Mair DD: Modified Fontan operation for univentricular heart and complicated congenital lesions. *J Thorac Cardiovasc Surg* 78: 831-838, 1979
- DeLeon SY, Ilbawi MN, Idriss FS, Muster AJ, Gidding SS, Berry TE, Paul MH: Fontan type operation for complex lesions. *J Thorac Cardiovasc Surg* 92: 1029-1037, 1986
- Shemin RJ, Merrill WH, Pfeifer JS, Conkle DM, Morrow AG: Evaluation of right atrial-pulmonary artery conduits for tricuspid atresia: Experimental study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 77: 685-690, 1979
- Matsuda H, Kawashima Y, Takano H, Miyamoto K, Mori T: Experimental evaluation of atrial function in right atrium-pulmonary artery conduit operation for tricuspid atresia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 81: 762-767, 1981
- Albolas ET, Porter CJ, Danielson GK, Puga FJ, Schaff HV, Rice MJ, Driscoll DJ: Results of the modified Fontan operation for congenital heart lesions in patients without preoperative sinus rhythm. *J Am Coll Cardiol* 6: 228-233, 1985
- Kawashima Y, Kitamura S, Matsuda H, Shimazaki Y, Nakano S, Hirose H: Total cavopulmonary shunt operation in complex cardiac anomalies. *J Thorac Cardiovasc Surg* 87: 74-81, 1984
- Matsuda H, Kawashima Y, Hirose H, Nakano S, Kishimoto H, Sano T: Evaluation of total cavopulmonary shunt operation for single ventricle with common atrioventricular valve and left isomerism. *Am J Cardiol* 58: 180-182, 1986
- Nakazawa M, Nakanishi T, Okuda H, Satomi G, Nakae S, Imai Y, Takao A: Dynamics of right heart flow in patients after Fontan procedure. *Circulation* 69: 306-312, 1984
- DiSessa TG, Child JS, Perloff JK, Wu L, Williams RG, Laks H, Friedman WF: Systemic venous and pulmonary arterial flow patterns after Fontan's procedure for tricuspid atresia or single ventricle. *Circulation* 70: 898-902, 1984
- Hagler DJ, Seward JB, Tajik AJ, Ritter DG: Functional assessment of the Fontan operation: Combined M-mode, two-dimensional and Doppler echocardiographic studies. *J Am Coll Cardiol* 4: 756-764, 1984
- Matsuda H, Kawashima Y, Hirose H, Nakano S, Kishimoto H, Ootani M, Kato H, Nishigaki K, Miura T, Ogawa M, Sano T: Modified Fontan operation for complex cardiac anomalies. *Geka-*

三浦, 松田, 中埜, ほか

- shinryo **28**: 774-779, 1986 (in Japanese)
- 15) Matsuda H, Kawashima Y, Kato H, Miura T: Problems in Fontan operation for univentricular heart of right ventricular type. *Circulation* **74** (Suppl II): 3, 1986
- 16) Keren G, Sherez J, Megidish R, Levitt B, Laniado S: Pulmonary venous flow pattern—its relationship to cardiac dynamics: A pulsed Doppler echocardiographic study. *Circulation* **71**: 1105-1112, 1985
- 17) Rajagopalan B, Friend JA, Stallard T, de Lee G: Blood flow in pulmonary veins: I. Studies in dog and man. *Cardiovasc Res* **13**: 667-676, 1979
- 18) Rajagopalan B, Friend JA, Stallard T, de Lee G: Blood flow in pulmonary veins: II. The influence of events transmitted from the right and left sides of the heart. *Cardiovasc Res* **13**: 677-683, 1979
- 19) Rajagopalan B, Bertram CD, Stallard T, de Lee G: Blood flow in pulmonary veins: III. Simultaneous measurements of their dimensions, intravascular pressure and flow. *Cardiovasc Res* **13**: 684-692, 1979
- 20) Takano H, Takenaka Y, Nakatani T, Umezu M, Matsuda T, Iwata H, Tanaka T, Noda H, Hayashi K, Takatani S, Nakamura T, Seki J, Akutsu T, Manabe H: Circulatory maintenance with a single artificial heart. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **30**: 550-555, 1984