

複雑心奇形に対する Fontan 型手術後の肺循環動態に関する研究 —術後近接期の変化について—

(平成3年5月31日受付)

(平成4年2月7日受理)

大阪大学医学部小児科, 同 第1外科¹, 国立循環器病センター小児科²

松下 享* 佐野 哲也 中島 徹² 萱谷 太
稲村 昇 飯尾 雅彦¹ 島崎 靖久¹ 中埜 肅¹
松田 暉¹ 岡田伸太郎

*: 現, 大阪府立母子保健総合医療センター小児循環器科

key words: Fontan 型手術, 肺循環動態, 肺血管床, 術後近接期

要 旨

Fontan 型手術を施行した13例(疾患; 単心室: 5例, 三尖弁閉鎖: 4例, 僧帽弁閉鎖: 2例, 肺動脈閉鎖: 2例)の術前後の心臓カテーテル検査から, 平均肺動脈圧・肺動脈圧・肺血流量・肺血管抵抗・左右平均肺動脈断面積の正常右肺動脈断面積に対する比 (PA area index, PAAI) を求め, 本手術が術後近接期の肺循環動態に及ぼす影響について検討した. 平均肺動脈圧と脈圧は術前後において有意な変化を認めなかったが, 肺血流量は術後有意に減少した ($p < 0.01$). 肺血管抵抗は術後有意に増大し ($p < 0.05$), PAAI は術後有意に減少した ($p < 0.01$). 一方, 術後平均肺動脈圧は術前の肺血管抵抗と有意な正の相関を ($r = 0.56, p < 0.05, n = 13$), また術前の PAAI と有意な負の相関を認め ($r = -0.72, p < 0.01, n = 12$), 術後平均肺動脈圧の上昇に術前の肺血管床の発育度が影響を及ぼすことが示唆された. また本手術後急性期の経過を考えるにあたり, 術後平均肺動脈圧17mmHg 以下を期待するには, 術前の肺血管抵抗値は2.0unit・m²以下, PAAI は0.60以上が望ましいと考えられた.

緒 言

三尖弁閉鎖症に対する機能的根治術として Fontan 手術が成功して以来¹⁾, 種々の右心バイパス手術が考案されると同時に適応疾患も拡大され, その成績も安定しつつある^{2)~4)}. 本手術後の肺血流は低拍動流となることが知られているが⁵⁾⁶⁾, 近年このような特殊な術後の肺循環動態に対して, 術前の肺血管床の発育の程度が強く影響を及ぼすことが報告されてきた⁷⁾⁸⁾. しかしながら Fontan 型手術が低年齢化しつつある現在, 本手術による非生理的な肺血流パターンが, 術後遠隔期の肺循環動態や肺血管床の発育にどのような影響を及ぼすのかは明らかではなく, これらを解明することは本手術の予後を評価する上で重要と思われる. そこ

で今回の研究では, 本術式が術後近接期の肺循環動態に及ぼす影響について検討したので報告する.

対 象

1984年12月から1990年1月までに当院第1外科にて Fontan 型手術を行い, 術後カテーテル検査が施行され遺残短絡を認めなかった13例を対象とした (表1). 診断は三尖弁閉鎖 (TA) 4例, 右室型単心室 (SV) 5例, 僧帽弁閉鎖 (MA) 2例, 純型肺動脈閉鎖 (PA) 2例であった. 手術時年齢は3歳8カ月~16歳8カ月 (平均8.4±4.2歳)であった. 手術から術後カテーテルまでの期間は, 1カ月~1年10カ月 (7.3±7.1カ月), 術前検査から術後のカテーテル検査までの期間は5カ月~3年9カ月 (1.6±1.2年)であった. 術式は TA の2例と PA の1例に Bjork 法⁹⁾を, また TA の1例には total cavopulmonary connection¹⁰⁾を施行し, 他は全て右房と肺動脈の直接吻合を行った. また SV の2

別刷請求先: (〒590-02) 大阪府和泉市室堂町840番地
大阪府立母子保健総合医療センター小児
循環器科 松下 享

表1 対象

症例	診 断	手術時年齢	手 術 手 技	姑 息 術
1	TA(I-b)	8.9	RA-PA	bi. B-T
2	TA(I-c)	4.8	RA-SPRV	PAB
3	TA(I-b)	3.7	RA-SPRV	(-)
4	TA(I-c)	4.5	SVC-PA*	PAB
5	SV, PS, CAVV	12.3	RA(IAR)-PA	(-)
6	SV, PS, CAVV	12.9	RA(IAR)-PA	lt. B-T
7	SV, PS, 2AVV	7.1	RA(IAR)-PA, lt. SVC-PA	lt. B-T
8	SV, PS, CAVV	9.3	RA(IAR)-PA, lt. SVC-PA	lt. B-T
9	SV, PS, CAVV	8.1	RA-PA	lt. B-T
10	MA, PS, TAPVD	8.1	RA(IAR)-PA	rt. B-T
11	MA, PS	16.7	RA(IAR)-PA	rt. B-T
12	PA	8.0	RA-PA	C-S
13	PA	5.1	RA-SPRV	Brock, lt. B-T

RA-PA ; right atrial to pulmonary artery anastomosis, RA-SPRV ; right atrial to subpulmonic right ventricle anastomosis, IAR ; intra-atrial routing, B-T ; Blalock-Taussig shunt, PAB ; pulmonary arterial banding, C-S ; central shunt, Brock ; Brock operation

* ; total cavopulmonary connection

例には左側の bidirectional cavopulmonary shunt¹¹⁾を同時に加えた。遠隔期死亡は、房室弁逆流から心不全をきたしたSVの1例を認めた。

方 法

心臓カテーテル検査は、安静・鎮静下、仰臥位にて施行し、fluid filled法による圧測定及び酸素飽和度を測定後、心室及び肺動脈造影を行った。これらの検査結果から肺循環動態を評価する指標として、術前後の平均肺動脈圧・肺動脈脈圧・肺血流量・肺血管抵抗・肺動脈の大きさを以下の方法で求めた。

1. 平均肺動脈圧 (PAm), 肺動脈脈圧 (PAp)

術前後のカテーテル検査の圧データから連続する5心拍の平均値で表した。ただし術前の肺動脈圧の測定は、9例では順行性あるいはBlalock-Taussig shuntを介して直接圧を測定したが、4例では肺動脈に直接カテーテルが挿入できなかったことから肺静脈楔入圧を代用した¹²⁾。

2. 肺血流係数 (QpI), 肺血管抵抗 (PVR)

術前後の酸素消費量は、LaFargeら¹³⁾の方法から求めた。これらの値を用いて術前後の肺血流量をFick法により求め、体表面積で除した値を肺血流係数とした。術前肺血管抵抗は、肺血流係数・平均肺動脈圧・平均左房圧を用いて、また術後肺血管抵抗は左房圧の代わりに肺動脈楔入圧を代用して求めunit・m²で表した。

3. 肺動脈の大きさ

術前後の心室または肺動脈造影から、第1分枝を出

す直前の左右肺動脈断面積の平均を求め、この平均肺動脈断面積のCastellanosら¹⁴⁾の正常右肺動脈断面積に対する割合(PA area index, PAAI)を肺動脈の大きさを表す指標として求めた。

4. 統計処理

計測値は平均±標準偏差で表し、術前後の値の有意差検定にはpaired t testを用い、危険率5%未満を有意とした。

結 果

1. 平均肺動脈圧 (PAm) および肺動脈脈圧 (PAp)

PAmは術前4~18mmHg(12.0±4.2mmHg)、術後8~21mmHg(13.5±4.4mmHg)と有意な変化を認めなかった(図1左)。PApは、直接測定しえた9例で術前3~15mmHg(7.5±4.5mmHg)、術後2~11mmHg(6.1±2.9mmHg)と術前後で有意な変化を認めなかった(図1中)。

2. 肺血流係数 (QpI)

QpIは、術前2.90~7.55l/min/m²(4.48±1.42l/min/m²)、術後1.80~3.86l/min/m²(2.75±0.64l/min/m²)と有意に減少した(p<0.01)(図1右)。

3. 肺血管抵抗値 (PVR)

PVRは、術前1.10~3.20unit・m²(1.88±0.60unit・m²)から術後1.53~6.60unit・m²(2.81±1.52unit・m²)と有意に増大した(p<0.05)(図2)。一方、術前後のPVR間には有意の相関関係は認められなかった。

4. 左右肺動脈断面積およびPAAI

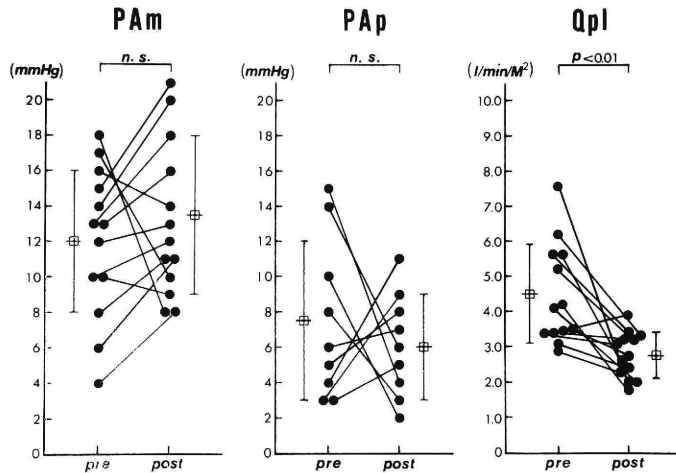


図1 PAm (左), PAp (中) および Qpl (右) の術前後の変化. PApは直接測定しえた9例で検討した.

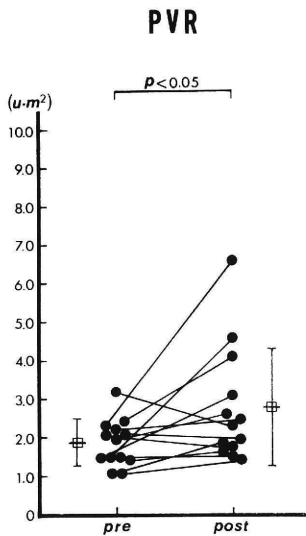


図2 PVRの術前後の変化

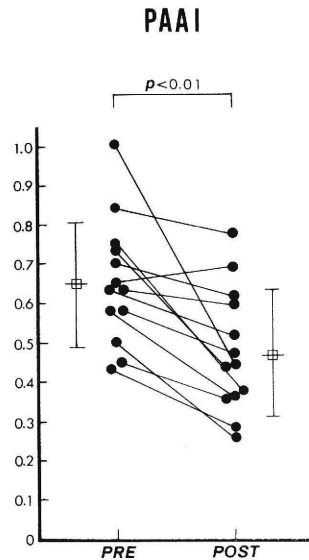


図3 PAAIの術前後の変化

右肺動脈断面積は、術前0.68~2.95cm²(1.40±0.77 cm²)から術後0.48~2.32cm²(1.29±0.65cm²)と有意な変化を認めなかった。一方左肺動脈断面積は術前0.61~2.89cm²(1.21±0.63cm²)から術後0.26~1.67 cm²(0.97±0.48cm²)と有意に減少した(p<0.05)。

PAAIは、術前0.44~1.02(0.65±0.16)から術後0.26~0.77(0.47±0.16)と有意に減少した(p<0.01)(図3)。術前後のPAAI間では有意の相関関係はみられなかったが、術前のPAAIが小さく肺血管床の発育

が問題となった12例では、両群間に有意な正の相関関係を認めた(p<0.01)(図4)。

5. 術前後各指標間の関係

術後PAmと術前PVRの間には有意な正の相関関係を認めた(p<0.05)(図5左)。また術後PAmと術前PAAIの間では、術前のPAAIが小さく肺血管床の発育が問題となった12例で有意な負の相関関係を認めた(p<0.01)(図5右)。

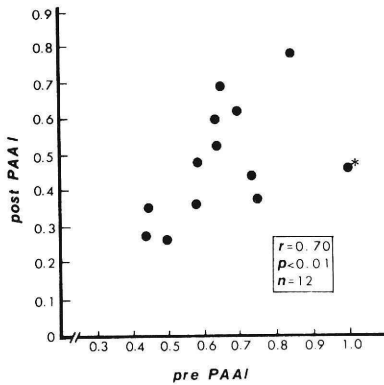


図4 術前後のPAAIの関係。*は術前PAAIが正常であることから術前の肺血管床の発育が十分であり、術後の肺循環動態に影響を及ぼさないと考えられた1例。この1例を除き術前PAAIが正常以下の12例で術前後のPAAI間に有意の相関関係を認められた。

考 察

Fontan型手術の適応基準には種々のものが提唱されているが^{15)~17)}、特に術前の肺循環動態の評価は、本手術を行うにおいて最も重要な要因の1つである¹⁸⁾¹⁹⁾。著者らも肺血管床が十分に発達していることを基本とし、肺動脈が太くしかも肺血管抵抗が正常($PVR < 4 \text{ unit} \cdot \text{m}^2$)であるものを対象としてきた²⁰⁾。

しかしながら適応基準を満たしFontan型手術を行えた症例においても術後管理に難渋する症例があり、術後の著しい肺循環動態の変化の遠隔期心肺機能への影響など問題点は多い²¹⁾²²⁾。これらの問題を解明することは、本術式の遠隔成績を含めた手術適応基準を確立する上においても重要と思われる。

1. 肺循環動態を表す各指標の変化について

Fontan型手術後の肺血流パターンについては、従来からカテーテル検査およびドプラー検査などで詳細に検討されてきたが⁵⁾²³⁾²⁴⁾、その最も大きな特徴は術後肺血流が低拍動性の静脈パターンになることである。このような術後肺血流の観点から、今回対象としたFontan型手術のなかにBjork法やtotal cavopulmonary connection法も含めて検討を行った。その結果、術前後での平均肺動脈圧および脈圧に有意な変化を認めず、このような指標だけでは本手術後の肺血流パターンの変化は示しにくいものと考えられる。一方、Fontan型手術後のPVRの変化に関してはこれまであまり検討されていなかった。今回の我々の検討では、PVRの値が術後近接期には有意に増大していることが示された。その原因は明らかではないが、一つには術後の肺血流が静脈性パターンであることが考えられる²⁵⁾²⁶⁾。その他に術前の肺血管床の発育程度の多様性、さらには術前から存在していた側副血路の存在や肺動脈枝の閉塞あるいは狭窄などの種々の要因が関与し

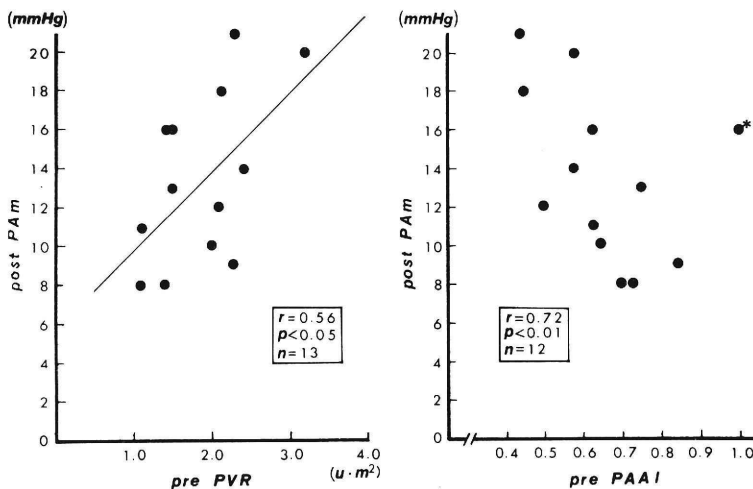


図5 左：術前PVRと術後PAmの関係。有意な正の相関関係を認められた。
右：術前PAAIと術後PAmの関係。術前PAAIが正常以下であった12例で有意な負の相関関係を認められた。
*は術前PAAIが正常であることから術前の肺血管床の発育が十分であり、術後の肺循環動態に影響を及ぼさないと考えられた1例。

ているものと思われる⁷⁾。

PVRと共に肺動脈の大きさも肺血管床の発育の程度を表す指標として重要である²⁷⁾。今回の術前後の左右肺動脈断面積の検討では、右側では有意な変化を示さなかったのに対し、左側では術後有意に減少していた。この左肺動脈断面積の術後の減少に関しては、同側に行った bidirectional cavo-pulmonary shunt の影響が関与しているものと考えられる。本 shunt 手術を施行した2例での術後肺動脈断面積の減少は大きく、これら2例を除いて検討した術前後の左肺動脈断面積は有意な変化を示さなかった。一方このような術前後の肺動脈断面積の変化に対し、患児の体表面積は術前に比し有意に増大 ($p < 0.01$) していることから、Fontan型手術後近接期においては肺動脈は患児の体格に応じた発育を示さなかったものと考えられる。この関係は bidirectional cavo-pulmonary shunt を行った2例を除いた11例の検討でも同様であった。また術前の PAAI が小さく肺血管床の発育が十分でなかった12例において、術前後の PAAI 間に正の相関関係がみられたことから、術前の肺血管床の未熟度が術後近接期の肺循環にも影響を及ぼすことが示唆された。

2. 術後肺循環動態に影響を及ぼす術前の因子について

本手術による肺循環動態の変化を術前から予測することは、術後経過を管理する上においてまた本手術の適応を決める上でも大変重要なことと思われる。本手術の成績を左右する因子の一つに術後の平均右房圧の上昇が上げられており、その上限は17~20mmHgとされている⁴⁾¹⁶⁾²⁰⁾²⁸⁾²⁹⁾。今回対象とした症例の中で術後平均右房圧すなわち PAm が17mmHg以上であったのは3例であるが、3例とも術後の胸水や腹水管理に難渋した術後カテーテル施行時も患児の quality of life は満足できるものではなく、NYHA 分類では3度以上であった。このような術後の PAm の上昇には心拍出量など種々の要因が関与しているものと考えられるが、今回の著者らの検討では術前の PVR と PAAI が最も強く関係していることが示され、術前の肺血管床の発育度が本手術後の経過および患児の quality of life に大きく影響を及ぼすものと考えられた。今回の結果(図5)から推定すると、術後の PAm が17mmHg以下を期待するには術前 PVR で約2.0unit・m²以下、術前 PAAI で約0.60以上が望ましいと思われる。

Fontan型手術における肺循環動態の評価は、本手術の適応および術後の quality of life に関わる重要な

問題である。しかし術後近接期に認めた肺循環動態の変化が、さらに遠隔期の心肺機能や患児の quality of life にどのような影響を及ぼすのかについては明らかではなく、今後も注意深い経過観察が必要であると思われる。

総括

1) Fontan型手術を施行した13例について、術前後の肺循環動態を評価した。

2) PAm, PAp は術前後で有意な変化を認めなかったが、PVR は術後有意に増大し QpI, PAAI は術後有意に減少した。

3) 術後 PAm と術前 PVR の間には有意な正の相関を、術後 PAm と術前 PAAI の間には有意な負の相関を認め、術後 PAm の上昇に術前の肺血管床の発育が関係しているものと思われた。

4) 術後の患児の quality of life を考え、術後 PAm が17mmHg以下を期待するには、術前の PVR を2.0 unit・m²以下、PAAI は0.60以上が望ましい。

稿を終るにあたり、本研究に御指導を賜りました国立循環器病センター院長、川島康生先生および小川クリック、小川 實先生に深謝いたします。

文献

- 1) Fontan, F. and Baudet, E.: Surgical repair of tricuspid atesia. Thorax, 26: 240—248, 1971.
- 2) Kawashima, Y., Kitamura, S., Matsuda, H., Shimazaki, Y., Nakano, S. and Hirose, H.: Total cavopulmonary shunt operation in complex cardiac anomalies. J. Thorac. Cardiovasc. Surg., 87: 74—81, 1984.
- 3) Girod, D.A., Fontan, F., Deville, C., Ottenkamp, J. and Choussat, A.: Long-term results after the Fontan operation for tricuspid atesia. Circulation, 75: 605—610, 1987.
- 4) Mair, D.D., Hagler, D.J., Puga, F.J., Schaff, H.V. and Danielson, G.K.: Fontan operation in 176 patients with tricuspid atesia. Circulation, 82(Suppl. IV): 164—169, 1990.
- 5) Nakazawa, M., Nakanishi, T., Okuda, H., Satomi, G., Nakae, S., Imai, Y. and Takao, A.: Dynamics of right heart flow in patients after Fontan procedure. Circulation, 69: 306—312, 1984.
- 6) 三浦拓也, 広瀬 一, 松田 暉, 中埜 肅, 黒田 修, 加藤 寛, 川島康生, 有沢 淳, 佐野哲也: 超音波パルスドブラ法を用いた Total cavopulmonary shunt 手術後の肺血流動態の検討. 日超医講演論文集, 14: 96—103, 1987.
- 7) 澤渡和男, 今井康晴, 黒沢博身, 福地晋治, 河田政

- 明, 松尾浩三, 青木 満, 山岸正明, 太田 淳, 中沢 誠: Fontan 手術の新しい手術適応評価法. 日胸外会誌, 37: 208—217, 1989.
- 8) Matsushita, T., Matsuda, H., Ogawa, M., Ohno, K., Sano, T., Nakano, S., Shimazaki, Y., Nakahara, K., Arisawa, J., Kozuka, T., Kawashima, Y. and Yabuuchi, H.: Assessment of the intrapulmonary ventilation-perfusion distribution after the Fontan procedure for complex cardiac anomalies: Relation to pulmonary hemodynamics. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 15: 842—848, 1990.
 - 9) Bjork, V.O., Olin, C.L., Bjarke, B.B. and Thoren, L.A.: Right atrial-right ventricular anastomosis for correction of tricuspid atresia. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 77: 452—458, 1979.
 - 10) de Leval, M.R., Kilner, P., Gewillig, M., Bull, C. and McGoon, D.C.: Total cavopulmonary connection: A logical alternative to atriopulmonary connection for complex Fontan operations. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 96: 682—695, 1988.
 - 11) Matsuda, H., Kawashima, Y., Hirose, H., Nakano, S., Sakakibara, T., Kishimoto, H., Miura, T. and Sano, T.: Modified Fontan operation for single ventricle with common atrium and abnormal systemic venous drainage. Usefulness of an additional superior vena cava to pulmonary artery anastomosis. *Ped. Cardiol.*, 8: 43—46, 1987.
 - 12) Rao, P.S. and Sissman, N.J.: The relationship of pulmonary venous wedge to pulmonary arterial pressures. *Circulation*, 44: 565—574, 1971.
 - 13) LaFarge, C.G. and Miettinen, O.S.: The estimation of oxygen consumption. *Cardiovasc. Res.*, 4: 23—30, 1970.
 - 14) Castellanos, A. and Hernandez, F.A.: The size of the right pulmonary artery in the normal subject and in congenital heart disease: Angiocardiographic measurement. *Am. J. Roentgenol.*, 100: 568—577, 1967.
 - 15) Choussat, A., Fontan, F., Besse, P., Vallot, F., Chauve, A. and Bricaud, H.: Selection criteria for Fontan's procedure, *Paediatric Cardiology* 1977, Anderson, R.H., Shinebourne, E.A., ed., Edinburgh, 1978, Churchill Livingstone, p. 559—566.
 - 16) Kirklin, J.K., Blackstone, E.H., Kirklin, J.W., Pacifico, A.D. and Barger, L.M.: The Fontan operation: Ventricular hypertrophy, age, and date of operation as risk factors. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 92: 1049—1064, 1986.
 - 17) Seliem, M., Muster, A.J., Paul, M.H. and Benson, D.W.: Relation between preoperative left ventricular muscle mass and outcome of the Fontan procedure in patients with tricuspid atresia. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 14: 750—755, 1989.
 - 18) Fontan, F., Fernandez, G., Costa, F., Naftel, D.C., Tritto, F., Blackstone, E.H. and Kirklin, J.W.: The size of the pulmonary arteries and the results of the Fontan operation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 98: 711—724, 1989.
 - 19) Mayer, J.E., Helgason, H., Jonas, R.A., Lang, P., Vargas, F.J., Cook, N. and Castaneda, A.R.: Extending the limits for modified Fontan procedures. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 92: 1021—1028, 1986.
 - 20) 島崎靖久, 大西健二, 広瀬 一, 松田 暉, 賀来克彦, 白倉良太, 奥田彰洋, 森本静夫, 有沢 淳, 島田康弘, 川島康生: 複雑心奇形に対する Fontan 手術成績. 日胸外会誌, 32: 913—919, 1984.
 - 21) Fontan, F., Kirklin, J.W., Fernandez, G., Costa, F., Naftel, D.C., Tritto, F. and Blackstone, E.H.: Outcome after a "perfect" Fontan operation. *Circulation*, 81: 1520—1536, 1990.
 - 22) Moore, J.W., Kirby, W.C., Madden, W.A. and Gaither, N.S.: Development of pulmonary arteriovenous malformations after modified Fontan operations. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 98: 1045—1050, 1989.
 - 23) Disessa, T.G., Child, J.S., Perloff, J.K., Wu, L., Williams, R.G., Laks, H. and Friedman, W.F.: Systemic venous and pulmonary arterial flow patterns after Fontan's procedure for tricuspid atresia or single ventricle. *Circulation*, 70: 898—902, 1984.
 - 24) Stevenson, J.G., Kawabori, I. and Bailey, W.W.: Noninvasive evaluation of Blalock-Taussig shunts: Determination of patent ductus arteriosus by Doppler echocardiography. *Am. Heart J.*, 106: 1121—1132, 1983.
 - 25) Taylor, K.M., Bain, W.H., Davidson, K.G. and Turner, M.A.: Comparative clinical study of pulsatile and non-pulsatile perfusion in 350 consecutive patients. *Thorax*, 37: 324—330, 1982.
 - 26) Minami, K., Korner, M.M., Vyska, K., Kleesiek, K., Knobl, H. and Korfer, R.: Effects of pulsatile perfusion on plasma catecholamine levels and hemodynamics during and after cardiac operations with cardiopulmonary bypass. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 99: 82—91, 1990.
 - 27) Girod, D.A., Rice, M.J., Mair, D.D., Julsrud, P.R., Puga, F.J. and Danielson, G.K.: Relation-

- ship of pulmonary artery size to mortality in patients undergoing the Fontan operation. *Circulation*, 72(Suppl. 2): 93—96, 1985.
- 28) Iibawi, M.N., Idriss, F.S., Muster, A.J., DeLeon, S.Y., Berry, T.E., Duffy, C.E. and Paul, M.H.: Effects of elevated coronary sinus pressure on left ventricular function after the Fontan operation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 92: 231—237, 1986.
- 29) Sanders, S.P., Wright, G.B., Keane, J.F., Norwood, W.I. and Castaneda, A.R.: Clinical and hemodynamic results of the Fontan operation for tricuspid atresia. *Am. J. Cardiol.*, 49: 1733—1740, 1982.

Change of the Pulmonary Hemodynamics Early after Fontan Procedure in Patients with Complex Cardiac Anomalies

Tohru Matsushita, Tetsuya Sano, Toru Nakajima¹⁾ Futoshi Kayatani, Noboru Inamura, Masahiko Iio²⁾, Yasuhisa Shimazaki²⁾, Susumu Nakano²⁾, Hikaru Matsuda²⁾ and Shintaro Okada

Department of Pediatrics and First Department of Surgery²⁾, Osaka University Medical School
Department of Pediatrics, National Cardiovascular Center¹⁾

In 13 patients who underwent the Fontan procedure for complex cardiac anomalies, pre- and postoperative pulmonary hemodynamics were evaluated. Mean pulmonary artery pressure (PAm), pulmonary artery pulse pressure (PAp), pulmonary blood flow index (QpI), pulmonary vascular resistance (PVR) and pulmonary artery area index (PAAI) which was defined as the ratio of cross-sectional area to the normal value were obtained at pre- and postoperative cardiac catheterization. PAm and PAp showed no significant change between pre- and postoperative values. QpI and PAAI significantly decreased postoperatively ($p < 0.01$). PVR significantly increased compared with preoperative values ($p < 0.05$). There was a positive correlation between preoperative PVR and postoperative PAm ($r = 0.56$, $p < 0.05$, $n = 13$), and a negative correlation between preoperative PAAI and postoperative PAm ($r = -0.72$, $p < 0.01$, $n = 12$).

These results suggest that the postoperative PAm, which will influence the postoperative status, appears to be affected by the growth of preoperative pulmonary vascular beds. To obtain postoperative PAm less than 17 mmHg, preoperative PVR appears to be below 2.0 unit m^2 and PAAI above 0.60.