

Fontan 型手術後急性期血行動態に影響する因子の検討

(平成10年12月29日受付)

(平成12年3月6日受理)

松戸市立病院心臓血管外科, 同 小児科*

坂本 貴彦 永瀬 裕三 松本 康俊* 原田 務*
坂井 美穂* 渡辺 寛 芝入 正雄 宇津見和郎
中野 秀幸 香西 襄

key words : Fontan 型手術, 急性期血行動態, 肺血管床

要 旨

1994年1月から1997年12月までに経験したFontan型手術13例(三尖弁閉鎖症4例, 無脾症侯群3例, 両大血管右室起始症2例, 純型肺動脈閉鎖症1例, その他3例)を対象に術後の血行動態を規定する因子につき検討を行った. 症例は男7例, 女6例, 平均年齢5.8歳. 先行手術は体肺動脈短絡術8例10回, 心房中隔欠損孔作製術, 肺動脈絞扼術, 右室流出路形成術+肺動脈絞扼術, Central shunt+肺動脈形成術, 各1例であった. 手術はTCPC法にておこない, 同時に共通房室弁形成術(1例), 肺動脈形成術(4例), 総肺静脈還流異常修復術(1例)を施行した. 術前の心臓カテーテル検査結果をもとに, 新しい指標であるF score = (PA index × SaO₂) / (PAP × VEDP) を算出した(191.7 ± 173.1). F scoreは術後のCVPと強い逆相関を示した. すなわち, F scoreが100未満の4例ではCVP 16 mmHg以上を示し, 37.7の1例は手術死亡, 108.9の症例は両方向性Glenn手術へtakedownした. 一方, F scoreが150以上の6例ではCVP 12 mmHg, 300以上の2例ではCVPが6, 7 mmHgであった. 以上, F scoreは第2病日および遠隔期のCVPと極めて強い逆相関を認め, 術後急性期の血行動態を予測する有用な指標のひとつに成り得る可能性が示唆された.

はじめに

近年, Fontan型手術の成績は安定してきている. しかし術前状態からは予想し難い経過をとる症例も見られる. これは術前に肺血管床の予備能が適確に判断されていないことが大きな原因と考えられる. 今回, われわれの施設にてこの数年間に経験したFontan型手術症例を分析検討し, 術後急性期血行動態に影響する因子に関して興味ある知見を得たので報告する.

対象と方法

1994年1月から1997年12月までにわれわれの施設にて経験したFontan型手術症例13例を対象とした(表1). 術前診断は三尖弁閉鎖症4例, 無脾症侯群3例(総肺静脈還流異常症合併1例), 両大血管右室起

始症, 肺動脈弁狭窄, 僧帽弁腱索両心室挿入2例, 修正大血管転位症(CTGA), 共通房室弁1例, 完全大血管転位症(III型), 房室弁交差1例, 右室性単心室, 肺動脈閉鎖1例, 純型肺動脈閉鎖症1例であった. 主心室形態は左室型5例, 右室型6例, 両心室型2例であった. 手術時年齢は14カ月~25歳(平均5.8歳, 4歳未満7例)で, 男性7例, 女性6例であった. 先行手術は体肺動脈短絡術を8例に10回, 心房中隔欠損孔作製術1例, 肺動脈絞扼術1例, 右室流出路形成術+肺動脈絞扼術1例, Central shunt+肺動脈形成術1例であった. 手術は全例TCPC法¹⁾にておこない, 同時に共通房室弁形成術1例, 肺動脈形成術4例, 総肺静脈還流異常修復術1例を施行した. 術前後の心臓カテーテル検査, 術中術後経過等をもとに検討を加えた. なお, データはmean ± SDで表わし, 統計学的検討には分散分析法およびピアソンの相関係数を用いp < 0.05を

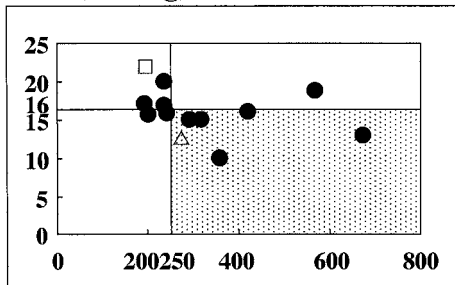
別刷請求先: (〒162 8666) 東京都新宿区河田町8-1
東京女子医科大学附属日本心臓血圧研究
所循環器小児外科 坂本 貴彦

表1 対象症例

Cases	TA	4 (Ia : 1, Ib : 2, Ic : 1)
	Asplenia, SRV, CAVV	3 with TAPVC : 1)
	DORV, PS, straddling MV	2
	C-TGA, CAVV, PS	1
	TGA(Ⅲ) Criss-Cross heart	1
	SRV, non-confluent PA	1
	PPA	1
Age	14mo 25y.o.(5.8y.o.)	
Body weight	7.4 61.5kg(20.0kg)	
Gender	male : 7, female : 6	
Previous operation	BT shunt : 10(8 cases), Atrial septectomy : 1, PAB : 1, (10 cases)	PAB : 1, RVOTR + PAB : 1, C-shunt + PA plasty : 1

TA = tricuspid atresia, SRV = single ventricle of the right ventricular type, CAVV = common atrioventricular valve, TAPVC = total anomalous pulmonary venous connection, DORV = double outlet right ventricle, PS = pulmonary stenosis, MV = mitral valve, C-TGA = corrected transposition of the great arteries, non-confluent PA = non-confluent pulmonary artery, PPA = pure pulmonary atresia, BT shunt = Blalock-Taussig shunt, ASD = atrial septal defect, PAB = pulmonary artery banding, RVOTR = reconstruction of the right ventricular outflow tract, C-shunt = central aortopulmonary shunt, PA plasty = plasty of the pulmonary artery

PAP(mmHg)



PA index(mm²/m²)

図1 術前 PA index と PAP の関係。● = 手術死亡例。○ = 両方向性 Glenn 手術への takedown 症例。PA index 250 以上, PAP 16 mmHg 以下を満たす症例 (shaded area) は 13 例中 6 例であった。PAP=mean pressure of the pulmonary artery

率 (VEF) $63.7 \pm 5.8\%$, 心室拡張末期圧 (VEDP) 11.2 ± 4.2 mmHg であった。また動脈血酸素分圧 (PaO₂) 48.3 ± 4.3 mmHg, 動脈血酸素飽和度 (SaO₂) $80.0 \pm 5.1\%$, ヘマトクリット値 (Hct) $52.2 \pm 4.9\%$, ヘモグロビン値 (Hb) 17.1 ± 1.5 g/dl であった。酸素消費量は年齢と心拍数をもとに算出し²⁾, SaO₂ はすべて検査中の採血によるものを用いた。われわれは理想的な Fontan 型手術適応条件³⁾を PA index 250 mm²/m² 以上, PAP 16 mmHg 以下としているが, これを満たす症例は 13 例中 6 例であり Fontan 型手術対象患者としては決していわゆる条件の良い症例ばかりではなく, 上記の条件のいずれか, 或いは両方を満たさない症例が半数以上を占めていた (図1)。

2. 術中術後経過

手術時間は 369.2 ± 49.3 分, 体外循環 (CPB) 時間 181.3 ± 38.8 分, 大動脈遮断時間 107.4 ± 32.2 分, 体外循環中尿量 10.5 ± 4.1 ml/kg/hr, 限外ろ過 (ECUM) 量 242.3 ± 489.7 ml, 最低 Base Excess -5.1 ± 2.7 mmol/L, 術中出血量 17.7 ± 23.9 ml/kg であった。

術後の中心静脈圧 (CVP) の推移は体外循環離脱時 16.1 ± 2.8 mmHg, ICU 入室時 15.7 ± 2.4 mmHg, 気管チューブ抜去時 13.3 ± 2.0 mmHg, 第2病日 12.8 ± 2.7 mmHg, 遠隔期 (術後1カ月) 12.9 ± 4.0 mmHg であった。また ICU 退室時の room air での PaO₂ は 69.7 ± 13.1 mmHg, SaO₂ は $93.9 \pm 3.3\%$ であった。また術後挿

もって有意とした。

結 果

1. 術前データ

術前心臓カテーテル検査では平均肺動脈圧 (PAP) 16.1 ± 3.1 mmHg, 肺血管抵抗 (Rp) 1.73 ± 0.65 単位・m², 肺動脈係数 (PA index) 324.0 ± 149.4 mm²/m², 肺体血流比 (Qp/Qs) 1.45 ± 0.97 左房圧 (LAP) 8.5 ± 2.6 mmHg, 心室拡張末期容積 (VEDV) $203.4 \pm 81.8\%$ of normal (% of N), 心室駆出

CVP on POD2(mmHg)

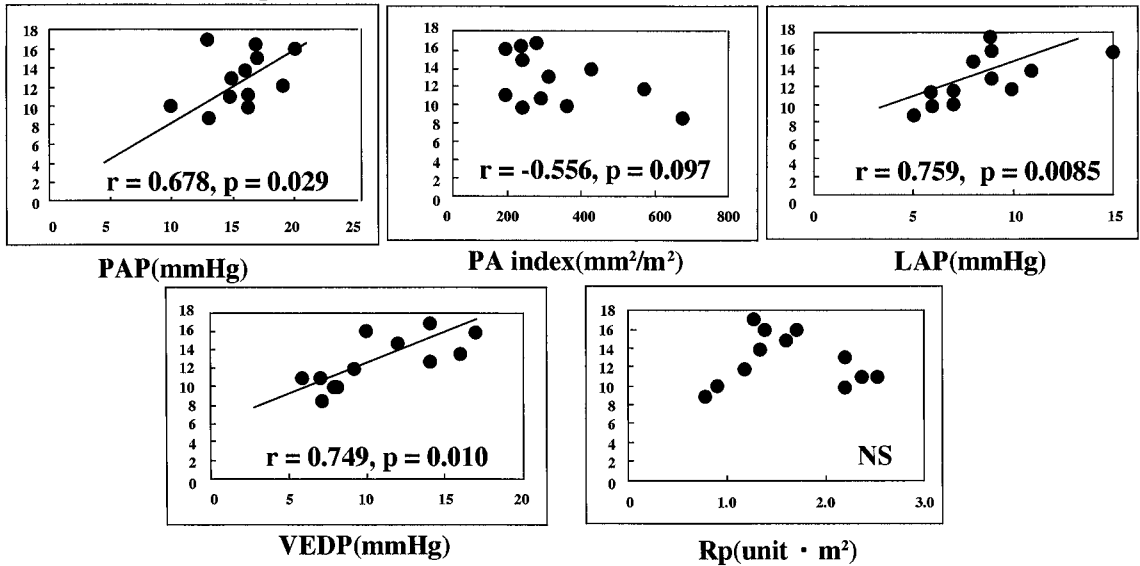


図2 術前検査データと第2病日のCVPの関係。PAP, LAPとVEDPが第2病日のCVPと強い相関関係を認めた(それぞれ $r=0.678, p=0.029, r=0.759, p=0.0085, r=0.749, p=0.010$)。

POD 2 = 術後2日, CVP=central venous pressure, PAP=mean pressure of the pulmonary artery, LAP=mean pressure of the left atrium, VEDP=end diastolic pressure of the ventricle, Rp=pulmonary vascular resistance

管時間 8.4 ± 3.7 時間, ドーパミン投与日数 4.3 ± 4.6 日, ドレーン挿入期間 9.4 ± 12.2 日, 翌朝6時までの術後出血量 1.42 ± 0.82 ml/kg/hrであった。

4. 手術成績

手術死亡は2歳女児のAsplenia, DORV, CAVV, PS, TAPVC (Ib)の1例であり, 術前の評価はPAP 20 mmHg, Rp 2.88 単位 · m², PA index 200 mm²/m², Qp/Qs 0.98であった。両方向性Glenn手術へのtake down症例は1例でAsplenia, DORV, CAVV, PS, post LMBTの1歳男児であった。術前の評価はPAP 13 mmHg, Rp 1.33 単位 · m², PA index 269 mm²/m², Qp/Qs 0.28と比較的良好であったが, 体外循環離脱後からLOSに陥ったため両方向性Glenn手術へのtake downを行った。周術期に死亡もしくはtake downを要した2症例はともにAsplenia症例であった。遠隔死亡はCTGA, CAVV, PSの1例で原因は不整脈であった。なお, 生存例の追跡期間は8カ月から4年5カ月, 平均2年6カ月であった。

5. 周術期因子と術後CVPの関係

術後のCVPと周術期のさまざまな因子との関係を

みてみると, 術後安定した時点と考えられる第2病日のCVPと強い相関を認めるものは術前のPAP, LAPとVEDPであった。またPA indexとの間にも一定の傾向を認めた。術前のRpと第2病日のCVPの間には何ら相関を認めなかった(図2)。また, 術前SaO₂と遠隔期のCVPの間にも一定の傾向を認めた($r = -0.587, p=0.075$)が, VEFと術後のCVPの間には相関を認めなかった。

Fontan型循環においては術後如何に低いCVPで肺血管床への血流を維持できるかがポイントとなる。したがって術後のCVPに相関する因子を加味した指標が重要となる。多因子解析の結果, その因子としては肺循環側の因子として①より大きいPA index, ②より低いPAP, 心臓機能の因子として③より低いVEDPなどが考えられた(LAPもあげられるがVEDPとほぼ同じで重複するためVEDPのみを採用した)。また術前SaO₂が大きいほど肺血管床が豊富でありFontan循環に有利であると考え(実際に遠隔期のCVPと弱いながらも相関があった), これら4つの因子から $F \text{ score} = (\text{PA index} \times \text{SaO}_2) / (\text{PAP} \times \text{VEDP})$ を新しく

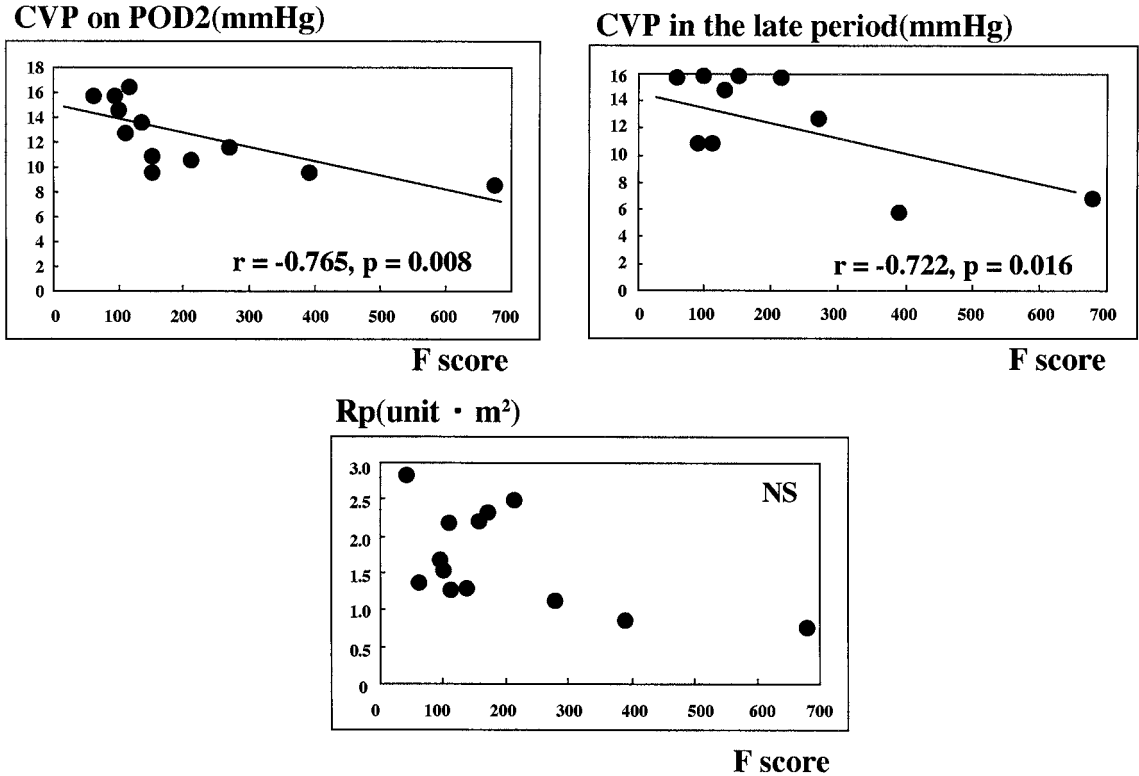


図3 (上段) F score と術後 CVP の関係 (下段) F score と術前 Rp の関係 .
POD 2 = 術後 2 日

考案し算出した(191.7 ± 173.1). F score と第 2 病日の CVP および遠隔期の CVP の間には強い逆相関を認めた(図 3). F score が 100 未満の 4 症例はすべて CPB 離脱時, ICU 入室時, 第 2 病日と CVP が 16 mmHg 以上を示し, F score が 37.7 の 1 例は手術死亡し, 両方向性 Glenn 手術への take down 症例の F score は 108.9 であった(図 4 左上). 逆に F score が 150 以上の 6 症例では第 2 病日の CVP が 12 mmHg 以下を示し, F score が 300 以上の 2 症例は術後カテーテル検査にて CVP が 6.7 mmHg であり F score は術後急性期の血行動態とよく相関した($r = -0.765, p=0.008$) (図 4).

考 察

Fontan 型手術は 1971 年, Fontan らによりはじめて報告された機能的根治術である⁴⁾. その適応疾患ははじめ三尖弁閉鎖症であったが, 1976 年, Yacoub らにより単心室症にも応用されるようになった⁵⁾. また 1988 年には de Leval らにより TCPC 法が報告され¹⁾, その後大きな変化, 発展をみるようになった. しかし現

在も手術適応基準には一定の見解がなく, 特に限界症例と言われる症例に関しては各施設の独自の基準に因る場合が多い³⁾⁶⁾⁷⁾. また Fontan 型手術後の血行動態は高い CVP と少ない心拍出量を特徴とし, 肺血管床の血流に規定されることが大きな問題となる⁸⁾. したがって手術適応基準としては術後肺血管床への血流がどの程度の CVP で維持できるかがひとつの大きな目安となるが, 症例によっては良くも悪くも術前状態からは予想し難い経過をとる症例も散見される. これは術前に肺血管床の予備能, すなわち術後に生ずる定常流とこれを作り出す CVP に対する Rp の幅が適確に判断されていないことが大きな原因と考えられる.

Fontan 型手術は手術手技が特に困難な症例は比較的少なく, むしろ周術期のマネージメントと手術適応の決定が問題となる. いわゆる条件の良い症例に関しては特に術前判断が問題となることはなく, fenestration を必要とするようないわゆる限界症例において問題となる⁹⁾. Fontan 型手術に踏み切ってよいのか, 一

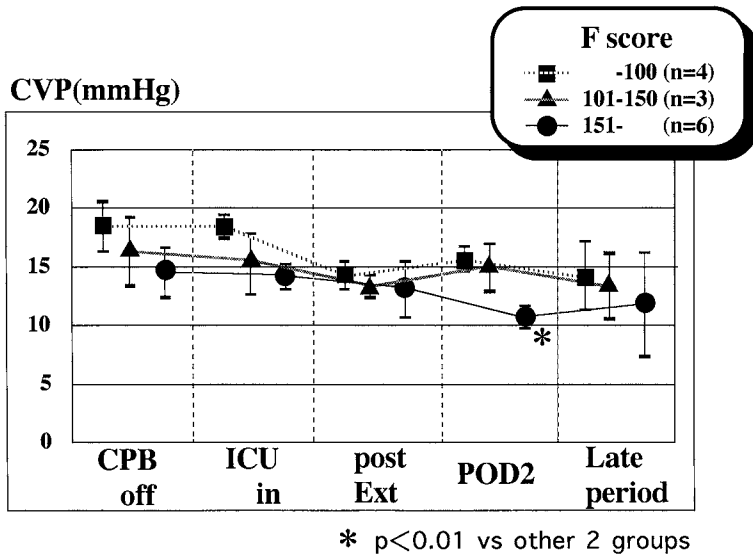


図4 F score 別にみた術後 CVP の推移 .F score が 150 以上の 6 症例では第 2 病日の CVP が 12 mmHg 以下であった .

度姑息術を加えるのか、両方向性 Glenn 手術を選択するのか、あるいはこのままフォローアップするのか、その判断は非常に難しく時として多くの心臓外科医、循環器小児科医を悩ますことになる。一方、術前の条件を満たした症例の中にも術後経過の思わしくないものもあり、Fontan 型手術の適応は症例によっては非常に難しいと考えられる。これに対しては術前に肺血管床の予備能が適確に判断できれば、それがひとつの手術適応の基準になると考えられる。ところで、肺血管床の予備能を評価する方法としては一般的に PA index, Rp, PAP などがあげられるが、多くの施設では絶対的な基準はなくこれらの値を総合的に評価し手術適応を決めているのが現状である³⁷⁾。また、この中でも Rp は最も重要な因子と考えられるが正確な値が求められていないことが多く、術後の CVP と相関しない結果となる。さらに Rp は Qp に強く影響を受ける動的抵抗であり Fontan 型手術により術後に術前と大きく異なる Qp がもたらされる場合には当然 Rp も大きく変化する。術前においても術後とほとんど変わらない Qp (= Qs) を有する症例では信頼できる Rp を求めることができると考えられるが、Fontan 型手術により Qp が変化する場合は術前に求めた Rp が術後も変化しにくいと考えることは困難である。そしてその結果によっては肺血管床への血流が維持できなくなり

Fontan 循環が成立しなくなる。これが Rp が曖昧な因子と考えられる理由である。また逆に言えば術後に得られる Rp が術前から予想できないため予想と異なる臨床結果となると考えられる。そこで澤渡らは術中肺動脈遮断試験を考案し、より Fontan 手術後の肺循環にとって適切な Rp を求めることを提唱している¹⁰⁾。さらに多くの施設では PA index と PAP を大きな指標として Fontan 型手術対象患者の手術適応を決定しているようであるが、この 2 つの値と Rp が理屈にあった関係にないときは時として手術適応が問題となる。

今回、多因子解析をもとに新しく考案した F score = (PA index × SaO₂) (PAP × VEDP) を求めたところ、これは第 2 病日の CVP および遠隔期の CVP と極めて強い逆相関を認めた。この F score は①より大きい PA index、②より高い SaO₂、③より低い PAP、④より低い VEDP を考慮した指標であり、術後如何に低い CVP で肺血管床への血流を維持できるかを表わすものであると言える。また F score の構成要素である PA index、SaO₂、PAP、VEDP はすべて実測値であり、かつそれぞれは独立した要素である。つまりこれらは Rp のように他因子から計算され得るものではなく、また互いに影響を及ぼさないものである。そしてこの中で PA index、SaO₂、PAP は肺血管床の因子で

あり VEDP は心機能の因子であるが、このように F score は肺血管床、心臓両方の影響を考慮した複合的な指標と言える。従来から求められてきた Rp は肺血管床の因子であったが、いかにこの値が良くても心機能低下例、特に拡張能の良くない症例では VEDP, LAP が高くなり肺血管床への血流の維持を妨げる結果となる。したがって心機能の因子を含めた指標の検討が重要であると考えられる。さらに Fontan 型手術後には低い CVP でより多い心拍出量を維持できる血行動態が理想的であり、その観点からも術後の CVP と相関する F score は有用な指標になり得ると考えられる。また実際に F score が大きい症例で術後経過が良く、小さい症例で手術死亡例や take down 症例が見られることもこの指標の有用性を支持すると思われる。以上、F score は術後の CVP とよく相関し術後の血行動態を予測できる可能性がある。したがって Fontan 型手術の有用な術前指標の 1 つとなり得ると思われるが、手術適応決定にあたっては年齢¹¹⁾、心機能、房室弁逆流の有無¹²⁾¹³⁾などの他の因子を十分に考慮した上で総合的に判断することが肝要であると思われる。

結 語

1. この 4 年間に経験した Fontan 型手術症例 13 例を対象に術後急性期血行動態に影響する因子に関して検討を加えた。

2. 新しく考案した F score = (PA index × SaO₂) / (PAP × VEDP) は第 2 病日および遠隔期の CVP と極めて強い逆相関を認め、術後急性期の血行動態を予測する有用な指標のひとつに成り得る可能性が示唆された。

尚、本論文の要旨は第 34 回日本小児循環器学会総会 (1998 年、東京)において発表したもので、座長から投稿推薦を受けた。

文 献

- 1) de Leval MR, Kilner P, Gewillig M, Bull C : Total cavopulmonary connection. A logical alternative to atriopulmonary connection for complex Fontan operations. J Thorac Cardiovasc Surg 1988 ; 96 : 682 695
- 2) Lafarge CG, Miettinen OS : The estimation of oxygen consumption. Cardiovasc Res 1970 ; 4 : 23 30
- 3) 中澤 誠, 篠原 修, 朴 仁三, 山田美保, 富松宏文, 相羽 純, 中西敏雄, 門間和夫, 今井康晴, 高梨吉則, 星野修一, 瀬尾和宏, 寺田正次 : 12 カ月

未満に姑息術を要した例における Fontan 型手術適応と問題点。特に先天的に不適な肺動脈の存在の可能性について。日小循誌 1997 ; 13 : 745 751

- 4) Fontan F, Baudet E : Surgical repair of tricuspid atresia. Thorax 1971 ; 26 : 240 248
- 5) Yacoub MH, Radley-Smith R : Use of a valved conduit from right atrium to pulmonary artery for " correction " of single ventricle. Circulation 1976 ; 54 : (Suppl) III : 63 70
- 6) Serraf A, Houyel L, Nicolas F, Lacour-Gayet F, Bruniaux J, Petit J, Uva MS, Roux D, Planche C : Pulmonary circulation evaluation before cavopulmonary connections : the cavopulmonary bypass. Ann Thorac Surg 1994 ; 58 : 1096 1102
- 7) Gentles TL, Mayer JE Jr, Gauvreau K, Newburger JW, Lock JE, Kupferschmid JP, Burnett J, Jonas RA, Castaneda AR, Wernovsky G : Fontan operation in five hundred consecutive patients : factors influencing early and late outcome. J Thorac Cardiovasc Surg 1997 ; 114 : 376 391
- 8) Nakazawa M, Nojima K, Okuda F, Imai Y, Nakanishi T, Kurosawa H, Takao A : Flow dynamics in the main pulmonary artery after the Fontan procedure in patients with tricuspid atresia or single ventricle. Circulation 1987 ; 75 : 1117 1123
- 9) Jonas RA : Indications and timing for the bidirectional Glenn shunt versus the fenestrated Fontan circulation. J Thorac Cardiovasc Surg 1994 ; 108 : 522 524
- 10) 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 肺動脈遮断試験による肺血流負荷時の肺血管抵抗。日胸外会誌 1989 ; 37 : 208 217
- 11) 坂本貴彦, 原田順和, 竹内敬昌, 後藤博久, 太田敬三, 里見元義, 安河内 聡, 今井寿郎, 加納 洋, 太田喜義 : 12 カ月時に行った多脾症候群に対する Fontan 型手術の経験。日小循誌 1996 ; 12 : 552 557
- 12) Humes RA, Feldt RH, Porter CJ, Julsrud PR, Puga FJ, Danielson GK : The modified Fontan operation for asplenia and polysplenia syndromes. J Thorac Cardiovasc Surg 1988 ; 96 : 212 218
- 13) 平松健司, 今井康晴, 澤渡和男, 竹内敬昌, 寺田正次, 青木 満, 磯松幸尚, 朴 仁三 : 房室弁逆流を伴う Fontan 型手術の適応限界 単心室症に対する Fontan 型手術に及ぼす房室弁逆流の影響。日胸外会誌 1993 ; 41 : 1184 1187

Factors Which Affect the Early Postoperative Hemodynamics of the Fontan Operation

Takahiko Sakamoto, Yuzo Nagase, Yasutoshi Matsumoto*, Tsutomu Harada*, Miho Sakai*, Hiroshi Watanabe, Masao Shibairi, Kazuro Utsumi, Hideyuki Nakano and Noboru Kosai
Division of Cardiovascular Surgery and Pediatrics*,
Matsudo Municipal Hospital, Chiba, Japan

This is the report to propose a novel scoring method with which one can predict adequacy of the candidate to Fontan type operation. During the period from January 1994 through December 1997, 13 patients with varied cardiac abnormalities underwent Fontan type operation at our hospital. Ages of patients ranged from 14 months to 25 years. Major cardiac anomalies were ; tricuspid atresia 4, isomerism heart 3, double-outlet right ventricle 2, pulmonary atresia with intact ventricular septum 1 and others 3. Additional surgical procedures were ; valvuloplasty for the common atrioventricular valve 1, angioplasty of the pulmonary artery 4 and repair of total anomalous pulmonary venous connection 1.

One patient died during hospital stay, and another died of arrhythmia late after surgery. One patient developed low cardiac output, requiring take-down of Fontan circulation with subsequent conversion to bidirectional cavopulmonary shunt. No patient of 11 survivors was lost to follow up, with a mean study period of 32 ± 32 months (range 8 to 53 months)

These results prompted an attempt to qualify the effects of preoperative catheterization data to the early preoperative result, where the value was considered to predict adequacy of the candidate to Fontan type operation. Predicted values, F score, were calculated using the equation

$$F \text{ score} = (PA \text{ index} \times SaO_2) / (PAP \times VEDP)$$

where PA index is Nakata's pulmonary artery index, SaO_2 is oxygen saturation of the systemic artery, PAP is mean pressure of the pulmonary artery and VEDP is end diastolic pressure of the systemic ventricle. F score was negatively correlated with central venous pressure(CVP) on the second operative day($r = -0.765, p=0.0076$). Four patients with F score < 100 showed CVP > 16 mmHg, and one of these having F score of 37.7 died early after surgery. Three patients with F score ranging between 101 and 150 showed mean CVP of 15 mmHg, and one of these having F score of 109 required take-down to bidirectional cavopulmonary shunt. Six patients with F score > 150 showed CVP < 12 mmHg, and two of these having F score > 300 showed CVP of 6 ~ 7 mmHg in the late postoperative period.

In conclusion, our result indicates that the newly proposed F score is potentially a useful predictor of postoperative result of Fontan type operation.
