

Fontan手術対象例に対する至適肺動脈絞扼法の検討 低出生体重児における 2 段式肺動脈絞扼術を含めて

盤井 成光¹⁾, 岸本 英文¹⁾, 川田 博昭¹⁾, 石丸 和彦¹⁾
齊藤 哲也¹⁾, 萱谷 太²⁾, 稲村 昇²⁾

Key words :
pulmonary artery banding, Fontan
operation, low-birth-weight

大阪府立母子保健総合医療センター心臓血管外科¹⁾, 小児循環器科²⁾

Optimal Pulmonary Artery Banding for Fontan Candidate: Expandable Pulmonary Artery Banding in Low-birth-weight Infants

Shigemitsu Iwai,¹⁾ Hidefumi Kishimoto,¹⁾ Hiroaki Kawata,¹⁾ Kazuhiko Ishimaru,¹⁾
Tetsuya Saitou,¹⁾ Futoshi Kayatani²⁾ and Noboru Inamura²⁾

Departments of ¹⁾Cardiovascular Surgery and ²⁾Pediatric Cardiology, Osaka Medical Center and Research Institute for Maternal
and Child Health, Osaka, Japan

Objective: To evaluate optimal pulmonary artery banding (PAB) for Fontan candidates, especially low-birth-weight infants.

Methods: Thirty-one Fontan candidates who underwent PAB were divided into 2 groups according to body weight at surgery. One group (Group N) included 24 patients whose weight was ≥ 3 kg. Another group (Group L) included 7 patients whose weight was < 3 kg. PAB was performed using ePTFE tape with a length of about 85% of the normal pulmonary valve circumference (n-PVC), in principle, but expandable PAB by 3-5 mm tighter fixation using absorbable suture was performed in 4 infants of Group L.

Results: Mean PAB tape length was 23 mm (85% of n-PVC) in Group N and 19 mm (82%) in Group L, and no difference was observed in the mean pulmonary artery pressure or SpO₂ immediately after PAB. Cyanosis was exacerbated after surgery in the infants of Group L who underwent expandable PAB, and the absorbable suture was cut by percutaneous balloon dilatation in 2, but the banding tape loosened spontaneously in 2. Appropriate banding effects were observed in both groups on postoperative catheterization.

Conclusions: In Fontan candidates, PAB to 85% of the n-PVC may be suitable. In low-birth-weight infants, expandable PAB with further constriction to about 80% using the absorbable suture seemed to be effective.

要 旨

目的：Fontan手術対象例，特に低出生体重児に対する至適な肺動脈絞扼（pulmonary artery banding：PAB）法について検討。
方法：Fontan対象例においてPABを施行した31例を，手術時体重3kg以上の24例（N群）と3kg未満の7例（L群）に分け検討。PABの基準を正常肺動脈弁輪周径（normal pulmonary valve circumference：n-PVC）の85%前後のテープ長とし非吸収糸で固定し，L群の4例では，さらに3～5mm強い固定を吸収糸で追加する2段式PABを施行した。
結果：PABテープ長はN群平均23mm（85%），L群19mm（82%）で，手術時の平均肺動脈圧，SpO₂に差はなかった。2段式PAB例は術後早期にチアノーゼの増強を認めたが，2例で経皮的バルーン拡大にて吸収糸を切断し，2例は自然に絞扼テープが非吸収糸部まで緩んだ。術後カテーテル検査でも2群とも適正な絞扼効果を認めた。
結論：Fontan対象例に対するPABは，n-PVCの85%を非吸収糸で固定し，低出生体重児の場合はさらに80%前後を吸収糸で固定する2段式PABが有用である可能性がある。

はじめに

肺動脈絞扼術（pulmonary artery banding：PAB）においてはこれまでTruslerの基準¹⁾が広く用いられてきたが，

低出生体重児に対しては必ずしも適切な基準ではない。われわれはPABを行った症例の術後成績を検討し，体表面積（body surface area：BSA）とPABの周径との関係から，心血管造影より求めた正常肺動脈弁輪周径

平成19年1月25日受付
平成19年12月12日受理

別刷請求先：〒594-1101 大阪府和泉市室堂町840
大阪府立母子保健総合医療センター心臓血管外科 盤井 成光

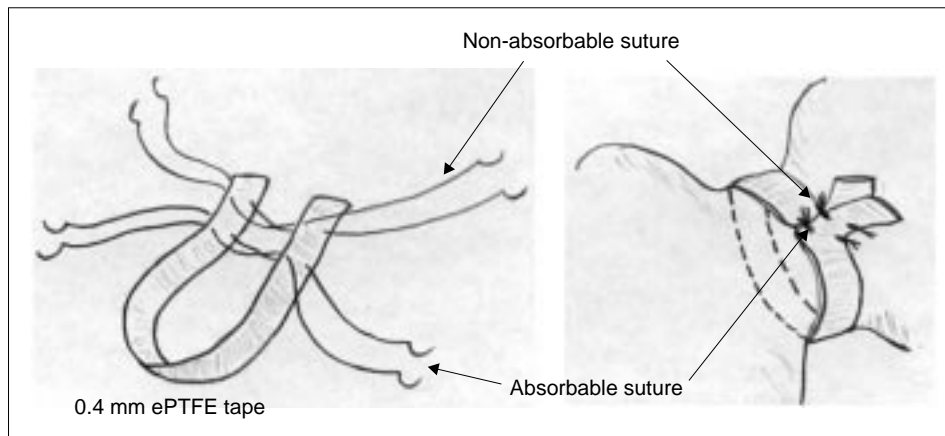


Fig. 1 Expandable pulmonary artery banding.

Table 1 Pulmonary artery banding and postoperative data

	Group N (n = 24)	Group L (n = 7)	p-value
SpO ₂ after PAB (%)	84 ± 6	86 ± 5	NS
Mean PAP after PAB (mmHg)	23 ± 5	20 ± 3	NS
PAB tape length (mm)	23 ± 2	19 ± 2	< 0.05
PAB % of n-PVC (%)	85 ± 4	82 ± 4	0.059

PAB: pulmonary artery banding, PAP: pulmonary artery pressure, n-PVC: normal pulmonary valve circumference

(normal pulmonary valve circumference : n-PVC \bar{x} 16.5 × BSA^{0.45} × 3.14mm) の85%前後のテープ長を基準とする方法を報告してきた²⁾。これは低体重児ではTruslerの基準よりかなり強い絞扼となるが、それでもさらに強い絞扼が必要となる症例を経験することが少なくない。しかしFontan手術を目指す疾患群では、低体重児に対し十分な絞扼を行うと、急激な体重増加に伴い早期にきつい絞扼となってしまう、両方向性Glenn手術前にdebandingやBlalock-Taussig shunt等の追加手術を余儀なくされる場合がある。そこで今回、Fontan手術対象例、特に低体重児に対する至適な肺動脈絞扼法について検討を行った。

対象と方法

1995～2005年にFontan手術対象例においてPABを施行した31例を対象とし、PAB時体重3kg以上の24例(N群)と3kg未満の7例(L群)に分けて、PAB効果(平均肺動脈圧、経皮的酸素飽和度(SpO₂)、肺体血流量比(Qp/Qs))を比較検討した。

疾患の内訳はN群：単心室(二房室弁)9例、共通房室弁を伴う単心室6例、一側房室弁閉鎖5例、その他2心室4例、L群：一側房室弁閉鎖4例、共通房室弁を伴う単心室3例であった。PAB時の日齢はN群：5～264日(平均86日)、L群：6～71日(平均25日)で、体重はN群：

3.1～6.7kg(平均4.2kg)、L群：1.6～2.9kg(平均2.4kg)であった。PABテープは2002年までは幅3.5mmのポリエステルテープを、それ以降は幅3.0～3.5mmの厚さ0.4mm ePTFEを使用している。PABは観血的肺動脈圧モニターおよびSpO₂モニター下に、n-PVCの85%前後にテープを固定した。絞扼テープの固定は27例では非吸収糸(5-0 prolene)で行ったのに対し、L群のうち低体重児の最近の4例ではテープの固定を吸収糸(5-0 PDS II)で行い、さらにテープ長21mm前後を非吸収糸で固定する2段式PABを行った(Fig. 1)。

なお連続変数は平均 ± 標準偏差で示し、N群とL群の比較にはMann-WhitneyのU検定を用い、p < 0.05を有意差とした。

結 果

術中に測定したPAB直後のSpO₂はN群：84 ± 6%(73～96%)、L群：86 ± 5%(80～90%)で、平均肺動脈圧はN群：23 ± 5mmHg(14～34mmHg)、L群：20 ± 3mmHg(18～26mmHg)といずれも2群間に差はなく、L群でもN群と同等の十分な絞扼が行われていた。また、PABテープ長はN群：23 ± 2mm(21～27mm)、L群：19 ± 2mm(15～21mm)で、それぞれn-PVCのN群：85 ± 4%(81～104%)、L群：平均82 ± 4%(74～86%)であり、L群でより強い絞扼が必要となる傾向にあった(Table 1)。

Table 2 Patient data with expandable pulmonary artery banding

Case	Diagnosis	Weight at PAB	PAB tape length (% of n-PVC)		Prognosis of cyanosis		
			Absorbable suture	Non-absorbable suture	Result	Interval after PAB	Weight
1	TA, VSD	1.6 kg	15 mm (74%)	20 mm (99%)	improved with PTA	3 mo	4.5 kg
2	TA, VSD	1.9 kg	17 mm (80%)	20 mm (93%)	improved with PTA	15 mo	7.4 kg
3	unbalanced CAVC	2.5 kg	20 mm (86%)	24 mm (103%)	improved spontaneously	11 mo	7.8 kg
4	unbalanced CAVC	2.8 kg	21 mm (86%)	24 mm (98%)	improved spontaneously	2 mo	3.2 kg

PAB: pulmonary artery banding, n-PVC: normal pulmonary valve circumference, TA: tricuspid atresia, VSD: ventricular septal defect, CAVC: common atrioventricular canal, mo: months, PTA: percutaneous transluminal angioplasty

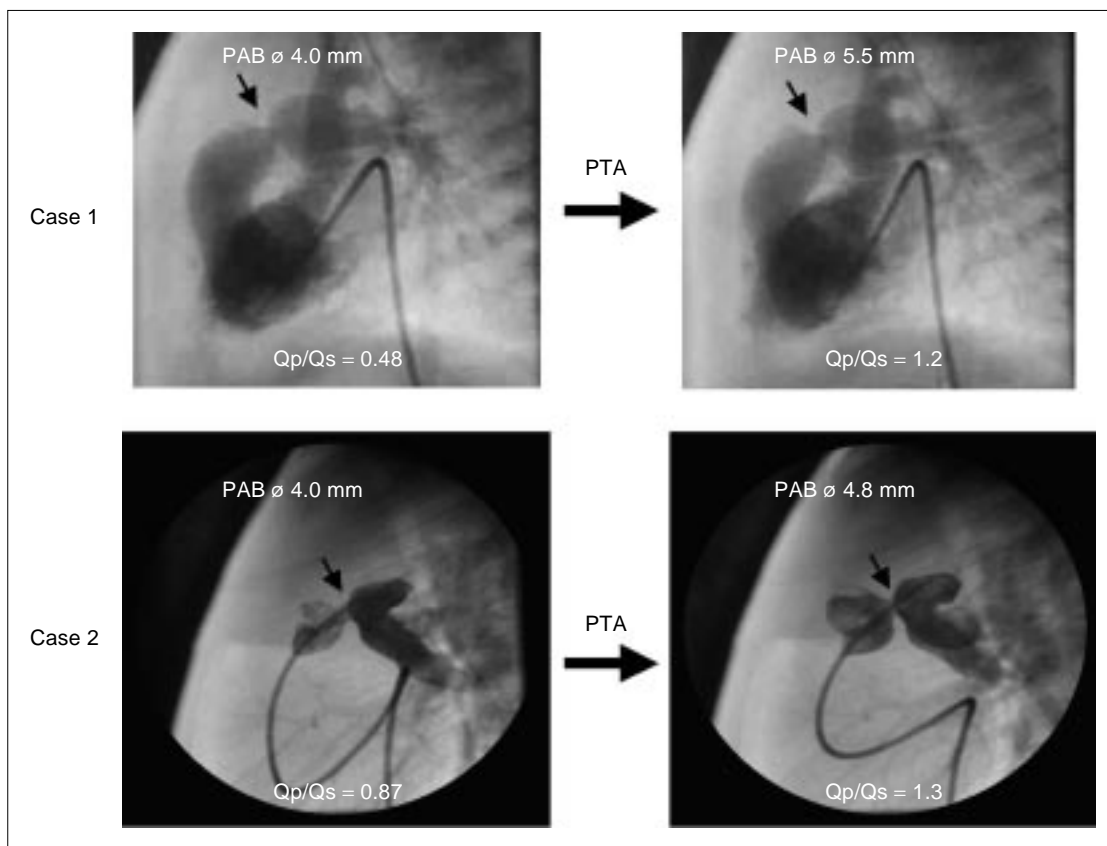


Fig. 2 Percutaneous balloon dilatation in case of expandable pulmonary artery band.

PAB: pulmonary artery banding, Qp/Qs: pulmonary-to-systemic flow ratio, PTA: percutaneous transluminal angioplasty

2 段階式PABを行ったL群の4例をTable 2 に示す。PAB時の体重は1.6~2.8kgで、吸収系でのテープの固定を15~21mm(n-PVCの74~86%)で行い、非吸収系での固定を20~24mm(n-PVCの93~103%)で行った。いずれもPAB後体重増加に伴いチアノーゼの増強を認めたが、うち2例は経皮的バルーン拡大(percutaneous transluminal angioplasty : PTA)用カテーテルを用いて抗張力の低下した吸収系を切断(PAB後3カ月, 体重4.5kgおよび15カ月, 7.4kg), 他の2例は体重3kg以上に増加後自然にチアノーゼの改善を認めた。2段階式PABに対しPTAを行っ

た2例の、PTA時の造影をFig. 2 に示す。2例ともPTAにより絞扼部位の径は拡大し、またQp/Qsも増加した。

PAB後1~36カ月(平均15カ月, 2段階式PAB例はいずれもチアノーゼ改善後)の心臓カテーテル検査(N群23例, L群6例)では、SpO₂はN群: 79 ± 7%(70~97%), L群: 80 ± 6%(70~86%), 平均肺動脈圧はN群: 17 ± 5mmHg(10~26mmHg), L群: 18 ± 5mmHg(10~24mmHg)で、Qp/QsはN群: 1.3 ± 0.6(0.6~3.1), L群: 1.4 ± 0.4(0.9~2.1)と2群間に差はなく、いずれも適正な絞扼効果が得られていた(Fig. 3)。

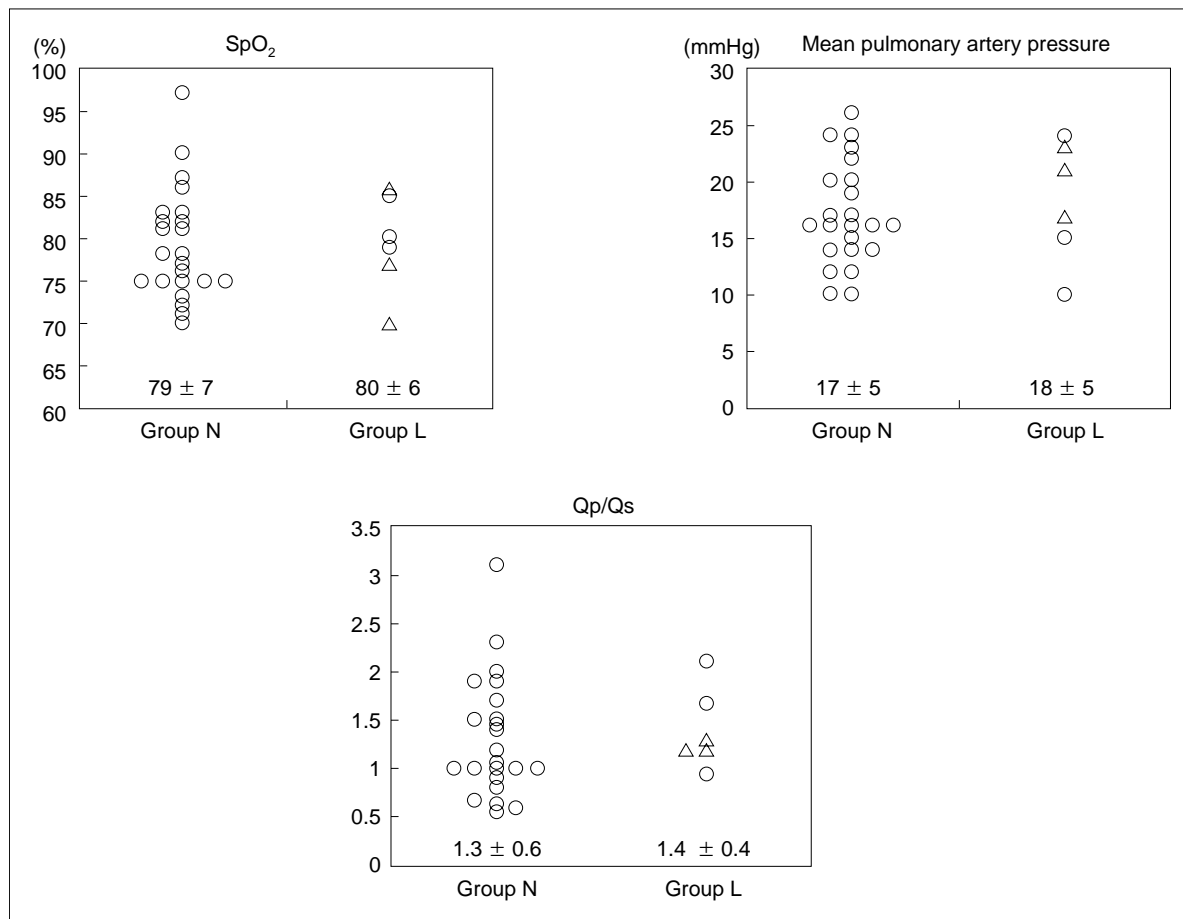


Fig. 3 Postoperative cardiac catheterization.

Open triangles show the case of expandable pulmonary artery banding. Values are expressed as means \pm SD. SpO₂: oxygen saturation, Qp/Qs: pulmonary-to-systemic flow ratio

PAB後9～66カ月(平均30カ月)の両方向性Glenn手術あるいはFontan手術前の心臓カテーテル検査(N群14例,L群3例)では,SpO₂はN群:77 \pm 7%(69～93%),L群:75 \pm 6%(70～81%),平均肺動脈圧はN群:14 \pm 3mmHg(10～21mmHg),L群:13 \pm 2mmHg(11～15mmHg)で,Qp/QsはN群:1.3 \pm 0.4(0.7～1.9),L群:0.8 \pm 0.4(0.6～1.2)となっており,全例術後経過は良好であった。

考 察

肺血流量が増大しているFontan手術対象例においては,肺血管抵抗の増大を防ぐと同時に,心室容量負荷を軽減するための至適なPABが早期に必要である。

われわれはFontan手術に向けて十分なPAB効果を得るために,Truslerの基準¹⁾よりきついn-PVCの85%を基準²⁾とし,術中に肺動脈圧およびSpO₂モニターを用いてPABテープ長を決定している。Fig. 4に両方向性Glenn手術あるいはFontan手術を行った症例のBSAと肺動脈弁輪

周径との関係を示す。破線はBSAとn-PVCの関係を100%,85%,60%,40%ごとに表し,また(通常のPAB)と(2段式PAB)は各症例のPAB時のBSAとPAB周長(テープ長)を示す。たとえば3～4歳,BSA 0.5～0.6m²でFontan手術に到達する場合,BSA 0.2m²(体重約3kg)の症例ではn-PVCの85%(PABテープ長として21mm)を基準としてPABを行うと,Fontan手術時にはPAB部は約50～60%相当まで絞扼されていることになる。PAB時に体重が3kg以上あれば,体重増加により相対的にPABがきつくなりチアノーゼが進行しても,その時期には両方向性Glenn手術が可能である。しかし,低体重児では十分な絞扼効果を得るためにはさらに強いPABが必要であり,一方で十分なPABを行うと急激な体重増加に伴い早期にきつい絞扼となり,安静時でも著明なチアノーゼを来すようになる。つまりBSA 0.15m²(体重約2kg)の症例では,PAB部が約60%相当の絞扼になるのがBSA 0.25m²(体重約4.5kg)とかなり早い

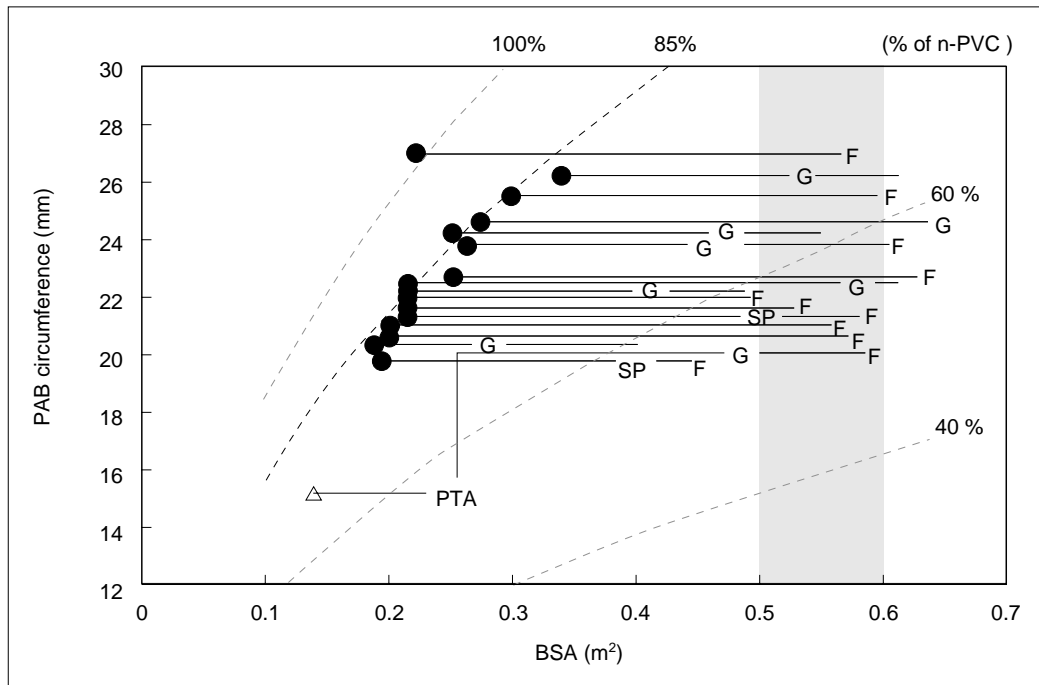


Fig. 4 Relation between BSA and PAB circumference for Fontan operation. Dotted lines show the relation between body surface area (BSA) and pulmonary artery banding (PAB) circumference to normal pulmonary valve circumference (n-PVC). Closed circles show the case of regular pulmonary artery banding. Open triangle shows the case of expandable pulmonary artery banding. SP: systemic artery to pulmonary artery shunt, G: bidirectional Glenn operation, F: Fontan operation. PTA: percutaneous transluminal angioplasty

時期になってしまう。

そこでわれわれは、低体重児の場合はn-PVCの85%より強いPAB(80%程度)を吸収系固定で行い、ある程度体重が増加すると、今度は正常出生体重児に相当するPAB(体重約3kg, BSA 0.2m²になった際のn-PVCの85%程度:テープ長として21mmを基準)となるように外側を非吸収系で固定しておくというような、吸収系と非吸収系を併用した2段階式PABを最近の症例に採用している。本術式では患児の成長とともにPTAで絞扼テープを緩めることができるので、適正な時期に両方向性Glenn手術やFontan手術に到達することが可能となる。

2段階式PABでは吸収系を用いているため、その抗張力が低下する時期が重要であるが、今回用いている5-0 PDS IIIは抗張力が半減するまでの期間がおよそ4~6週間とされている。実際にわれわれの経験では、早い症例でもPAB後2カ月(体重3kg以上)にPAB部の自然拡大により酸素飽和度の上昇を認めている。また術後15カ月経過した症例でもPTAで絞扼テープを緩めることができているので、PAB部での周囲組織との癒着固定もPTAの際に大きな障害にはならないと思われる。

PABテープのmigrationはPABにおける重大な合併症で

あるが、われわれはmigrationを予防するために、PAB部位である肺動脈主幹部の外膜に左右2カ所でPABテープを6-0モノフィラメント糸で固定している。これにより2段階式PAB例でもPTAにより緩んだPABテープがmigrationを来すことはない。

経皮的adjustable PABの報告は、これまで多くみられている³⁻⁸⁾。inflatable balloonを用いたもの^{3,4)}や臨床応用されているimplantable remote device⁵⁾は、術後にPABの調節を体表から行うことができるが、その性能上の問題から体重3kg以下の症例に使用することは困難と思われる。ほかにPABテープ自体を吸収性素材にしたもの^{6,7)}もあるが、テープが吸収された後の肺動脈がどのような形態になるかは不確実である。一方、Warrenらは吸収系のみを固定を用いたPABを動物実験で行い、段階的にバルーン拡大が可能であったと報告している⁸⁾。今回われわれはバルーン拡大可能な吸収系固定に加え、正常出生体重児の基準で非吸収系固定をしっかりと行うことにより、Fontan手術時までの至適なPABを維持できる工夫をしており、手技的にも従来のPABと何ら変わりなく簡易に行えることから、本術式はFontan手術を目指す低体重児においては有用な術式となる可能性があり、

報告した。

今回の検討では、症例数が少なく、疾患や術前の状態から各症例に対するPABの程度は必ずしも一定ではない。また低体重児ではPABテープ幅をより細いものにする必要があるときもあり、使用するテープの素材や各施設でのstrategy(早期両方向性Glenn手術の導入など)によってもPABの程度は一概に限定されるものではないと思われる。しかし今回提示したように、PABを要するFontan手術対象例において3kg未満の低体重児の場合、PAB手術時体重での至適なPAB固定を吸収系で行い、さらにその固定の外側で正常体重児(体重3kg以上)に相当するPAB固定を非吸収系で行うことにより、急激な体重増加に伴いチアノーゼが高度に進行してきても、3kg以上であればPTAを行うと、それ以降は従来のPABと同じ管理、つまり適正な時期での両方向性Glenn手術あるいはFontan手術を行うことができると考えている。

結 語

吸収系と非吸収系を併用した2段式PABは、患児の成長とともにのちにPTAで絞扼を緩めることができるので、Fontan手術を目指す低出生体重児においては有用な術式となる可能性があると考えられた。

本論文の要旨は、第42回日本小児循環器学会総会・学術集会(2006年,名古屋)において発表した。

【参考文献】

- 1) Trusler GA, Mustard WT: A method of banding the pulmonary artery for large isolated ventricular septal defect with and without transposition of the great arteries. *Ann Thorac Surg* 1972; 13: 351–355
- 2) Kawahira Y, Kishimoto H, Kawata H, et al: Optimal degree of pulmonary artery banding—adequate circumference ratio to calculated size from normal pulmonary valve dimensions. *Am J Cardiol* 1995; 76: 979–982
- 3) Le Bret E, Bonhoeffer P, Folliguet TA, et al: A new percutaneously adjustable, thoracoscopically implantable, pulmonary artery banding: An experimental study. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 1358–1361
- 4) Leeuwenburgh BP, Schoof PH, Steendijk P, et al: Chronic and adjustable pulmonary artery banding. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 125: 231–237
- 5) Bonnet D, Corno AF, Sidi D, et al: Early clinical results of the telemetric adjustable pulmonary artery banding FloWatch-PAB. *Circulation* 2004; 110 (11 Suppl 1): II158–163
- 6) Peek GJ, Arsiwala SS, Chan CC, et al: Absorbable pulmonary artery band. *Ann Thorac Surg* 1997; 64: 539–541
- 7) Bonnet D, Sidi D, Vouhé PR: Absorbable pulmonary artery banding in tricuspid atresia. *Ann Thorac Surg* 2001; 71: 360–362
- 8) Warren ET, Heath BJ, Brand WW 3rd: A staged expanding pulmonary artery band. *Ann Thorac Surg* 1992; 54: 240–243