

## 先天性心臓外科手術におけるHybrid治療の当院での適応と経験 問題点と今後の展望

櫻井 一<sup>1)</sup>, 加藤 紀之<sup>1)</sup>, 森脇 博夫<sup>1)</sup>, 櫻井 寛久<sup>1)</sup>,  
杉浦 純也<sup>1)</sup>, 松島 正氣<sup>2)</sup>, 大橋 直樹<sup>2)</sup>, 西川 浩<sup>2)</sup>,  
久保田勤也<sup>2)</sup>

社会保険中京病院心臓血管外科<sup>1)</sup>, 小児循環器科<sup>2)</sup>

## Key words :

hybrid procedure, intraoperative  
stent placement, intraoperative  
balloon angioplasty, pulmonary  
venous obstruction

## Hybrid Procedures in Congenital Heart Surgery: Indications and Experience at Chukyo Hospital: Current Issues and Future Possibilities

Hajime Sakurai,<sup>1)</sup> Noriyuki Kato,<sup>1)</sup> Hiroo Moriwaki,<sup>1)</sup> Takahisa Sakurai,<sup>1)</sup> Junya Sugiura,<sup>1)</sup>

Masaki Matsushima,<sup>2)</sup> Naoki Ohashi,<sup>2)</sup> Hiroshi Nishikawa,<sup>2)</sup> and Kinya Kubota<sup>2)</sup>

Department of <sup>1)</sup>Cardiovascular Surgery, <sup>2)</sup>Pediatric Cardiology, Social Insurance Chukyo Hospital, Nagoya, Japan

**Background:** Hybrid procedures that combine surgery and catheter intervention have begun to be used in Japan.

**Purpose:** To investigate cases in which an intraoperative balloon or stent was used at our hospital, and to consider current issues and future possibilities.

**Methods:** In 18 cases in which a hybrid procedure for congenital heart disease was conducted during the 10 years and 6 months prior to June 2006, we investigated the effectiveness and the complications of angioplasty done at 31 sites and stenting done at 2 sites.

**Results:** Angioplasty was performed at 15 sites in the right or left pulmonary artery, 3 sites in the main pulmonary artery, 2 sites in the peripheral pulmonary arteries, one site in the pulmonary valve, and 10 sites in the pulmonary veins; stenting was performed at 2 sites in the pulmonary veins. In all cases, enlargement of the stenotic lesion was achieved, but hemorrhagic complications tended to be common.

**Conclusions:** At present, proper indications for hybrid procedures appear to be vascular stenosis, for which a percutaneous approach or direct surgical treatment is difficult, and pulmonary venous obstruction after repairing total anomalous pulmonary venous connection. If equipment such as the hybrid suite is improved, the feasibility of hybrid procedures would be expanded through close cooperation between cardiac surgeons and pediatric cardiologists.

### 要 旨

背景：本邦でも手術とカテーテルインターベンションとのハイブリッド治療が行われるようになってきた。

目的：当院での術中バルーンまたはステント使用例について効果や合併症を検討するとともに、現状での問題点と今後の展望につき考察すること。

対象と方法：1997年1月から2006年6月までの約10年半に先天性心疾患に対してハイブリッド治療を行った18例に対する、血管形成術の31カ所、ステント留置術の2カ所の効果と合併症を検討した。

結果：血管形成術は左右肺動脈に15カ所、主肺動脈に3カ所、肺門部以下の末梢肺動脈に2カ所、肺動脈弁に1カ所、肺静脈に10カ所行い、ステント留置術は肺静脈に2カ所行った。いずれも狭窄部の拡張が得られたが、出血性合併症が多い傾向にあった。

結論：現時点では経皮的アプローチが困難で、外科的にも直接的解除が困難な血管の狭窄例、総肺静脈還流異常症修復術後の肺静脈閉塞病変例がよい適応と考えられた。今後、ハイブリッドスイートの設置など設備面で改善が得られれば、心臓外科医、小児循環器科医の密な連携により治療の可能性が拡がることが期待できる。

平成18年9月7日受付

別刷請求先：〒457-8510 名古屋市南区三条 1-1-10

平成19年9月28日受理

社会保険中京病院心臓血管外科 櫻井 一

Table 1 Concomitant procedures

Definitive repair	10
Rastelli	3
VSD closure	3
TF repair	2
Others	2
AVSD repair, TCPC	
Palliative procedures	8
PVO relief	3
Central shunt	2
Others	3
Brock, Norwood, PA plasty	

AVSD: atrioventricular septal defect, PA: pulmonary artery, PVO: pulmonary venous obstruction, TCPC: total cavopulmonary connection, TF: tetralogy of Fallot, VSD: ventricular septal defect

Table 2 Target lesions

Stenosis	Previous procedures	Vessels
BAP	BT shunt	LPA 7, RPA 5 (8 cases)
	Bilateral PA banding	3 (2 cases)
	PA banding	3 (3 cases)
	UF	2 (1 case)
	Concomitant Brock procedure	1
PV	TAPVC repair	10 (3 cases)
Stent PV	TAPVC repair	2 (1 case)

BAP: balloon angioplasty, BT: Blalock-Taussig, LPA: left pulmonary artery, PA: pulmonary artery, PV: pulmonary vein, RPA: right pulmonary artery, TAPVC: total anomalous venous connection, UF: unifocalization

## はじめに

小児循環器領域においてもカテーテルインターベンションが広く行われるようになって久しいが、それとともに適応が拡大され、本邦でも手術とのハイブリッド治療が試みられるようになってきた。本検討では、当院での術中バルーンまたはステント使用例についてその効果と合併症を検討するとともに、現状での問題点と今後の展望につき論じた。

## 対象と方法

まずハイブリッド治療の定義であるが、手術中にカテーテル治療を行ったものとし、乳児型重症大動脈弁狭窄に対する内頸動脈のカットダウンなどの単なるコラポレーション例は除外した。

当院で術中にカテーテル治療を行うようになった1997年1月から2006年6月までの約10年半の間に先天性心疾患に対して心臓血管外科手術を行った症例は1,501例あり、対象例はその間の18例(1.2%)であった。手術は17例が開心術で、1例が非開心術であった。手術時年齢は平均 $2.9 \pm 3.1$ 歳(1カ月~11歳)であった。診断は、肺動脈閉鎖兼心室中隔欠損症4例、単心室、大動脈縮窄兼心室中隔欠損症、ファロー四徴症、総肺静脈還流異常症(total anomalous pulmonary venous connection: TAPVC)、左心低形成症候群各2例、完全型房室中隔欠損症、肺動脈閉鎖症、完全大血管転位症III型、心室中隔欠損症各1例であった。先行手術は、体肺動脈短絡

術17回、主肺動脈絞扼術3回、肺静脈閉塞性病変(pulmonary venous obstruction: PVO)解除術4回、TAPVC修復術3回、両側肺動脈絞扼術2回、大動脈縮窄解除術、心房中隔形成術、房室弁形成術、Norwood手術、unifocalization各1回であった。

術中バルーン血管形成術(balloon angioplasty: BAP)の適応部位は、肺門部より末梢の肺動脈狭窄以外にも、正中創から外科的に剥離して到達可能な体肺動脈短絡術後の左右肺動脈狭窄や、主肺動脈または両側肺動脈絞扼術後の肺動脈狭窄でも、当初は原則的に全例を対象に含めていた。これは、術中の癒着剥離時間の短縮と外科的肺動脈形成術を回避して手術時間を短縮することを目指してのことであった。しかし後半は、のちに述べる合併症の理由により、外科的に到達可能な肺門部より手前の肺動脈では原則的にBAPを行わないこととして現在に至っている。PVO再発例については、対象期間中を通じてBAPの適応としている。

BAPの効果については、術中BAPの前後で狭窄部の消息子による計測を行い、径の拡大が得られたか、透視下でバルーンのエラストの消失が確認できた場合を有効と判断した。

## 結 果

ハイブリッド治療施行時の同時手術はTable 1に示すように、根治術が10例、姑息的手術が8例であった。ハイブリッド治療のカテーテル治療手技、標的病変はTable 2に示すように、全18例に対してBAPを計31カ所を行い、1例にステント留置術を2カ所行った。

術中BAPやステント留置の方法は、標的病変が心嚢内の場合には、ガイドワイヤーやシースは用いず、外科医がバルーンやステントの位置を手動的ないしは直視下に確認して行った。バルーンサイズの選択は、狭窄

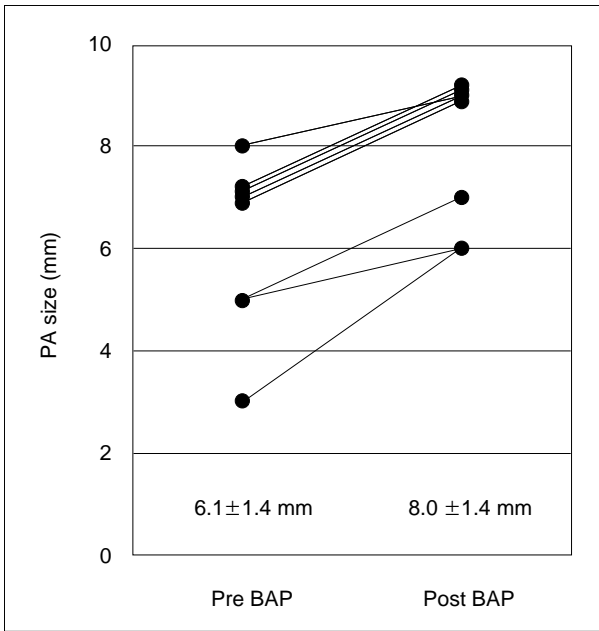


Fig. 1 Changes in pulmonary artery size.  
BAP: balloon angioplasty, PA: pulmonary artery

部手前の正常径と同じサイズのを基準として選択した。

以下、標的病変別に述べる。

#### 1) 体肺動脈短絡術後 左・右肺動脈狭窄に対するBAP

8例, 12カ所に行い, 術中消息子による計測では狭窄部径は $6.1 \pm 1.4$ mmから $8.0 \pm 1.4$ mmへと全例で拡大できた (Fig. 1)。使用したバルーン径は, 狭窄径に対して $160 \pm 52\%$ であった。合併症はうち3例に認め, バルーン拡大部の血管壁が裂けたことによる出血であった。そのうち2例は, 狭窄部である人工血管吻合部対側の血管壁が, 残りの1例は人工血管吻合部が裂けていた。いずれも体外循環下であったためそのままパッチによる肺動脈形成術に移行し修復した。

#### 2) 両側肺動脈絞扼術後 左・右肺動脈狭窄に対するBAP

2例, 3カ所に行った。1例は合併症なく効果を得たが, Norwood手術と同時に行った1例で右肺からの気道出血を来し, 術後ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) を必要とし呼吸不全のため失った。

#### 3) 主肺動脈絞扼術後 主肺動脈狭窄に対するBAP

3例, 3カ所に行った。いずれも心内修復用に切開した右房から, 経三尖弁, 経肺動脈弁越しにバルーンカテーテルを挿入した。1例は合併症なく効果を得たが, 合併症を他の2例に認めた。1例はバルーンにより狭窄部血管壁が裂けたことによる出血であったが, そのま

ま体外循環下にパッチによる肺動脈形成術で修復した。他の1例はバルーンにより三尖弁の内側乳頭筋のうちの1本が断裂したため, 乳頭筋を縫合固定して修復した。

#### 4) unifocalization後 末梢肺動脈狭窄に対するBAP

1例, 2カ所に行った。3歳時に右肺動脈のunifocalizationを行ったが, 術後吻合部から末梢の肺動脈狭窄を認め, 経皮的にBAPを試みたが血管の屈曲部が多くバルーンが標的部位に到達せず断念した (Fig. 2)。このため4歳時に手術室で体外循環下に右肺動脈形成術とともに術中BAPを行った。形成した右肺動脈からシースをまず挿入し, そこから透視下に0.018"ガイドワイヤーを用いてマルチパースカテーテルを誘導しようとしたが到達せず, 結局バルーンカテーテルのみで直接狭窄部に到達させることができた。中, 下葉枝の狭窄部は3.2mm, 2.7mmで, それぞれ5mm, 3.5mm径のバルーンでBAPを行った。しかし上葉枝は屈曲がきつくバルーンが到達せず断念した。術後低酸素血症のためECMOを必要とし, 術後30日の造影検査で再狭窄を認めたため, 32日目に手術室で開胸を行ったのちカテーテル検査室に移動し, 狭窄部のBAPを行った。体肺動脈短絡の人工血管にタバコ縫合をかけてシースを挿入し, 透視下に0.035"および0.014"ガイドワイヤーを用いてカテーテルを狭窄部に容易に挿入でき, 順次3mm, 4mm, 5mm径のバルーンで拡張できた。しかし, 肺実質のガス交換能の低下のためECMOを離脱することはできず, 術後52日で多臓器不全のため失った。

#### 5) Brock手術の追加手技としてのBAP

1例は, Brock手術時に十分な肺動脈弁の開口を得るための補助手段として経右室的にBAPを追加施行した。

#### 6) PVOに対するBAPおよびステント留置

3例, 10カ所にBAPを行い, 1例では2カ所にステント留置を追加した。単心室, TAPVCの1例では術前よりPVOを伴っており, TAPVC修復術後にもPVOが生じ, いったん外科的解除を行ったが再発したため再度PVO解除術と術中左肺静脈2本に対し6mm径のバルーンでBAPを行った。径1mmから4mmに拡大できたが, PVO再々発により失った。もう1例は単心房, TAPVCで, やはり術前から高度のPVOを伴っており, TAPVC修復術後にもPVOが生じた。いったん外科的解除を行ったが再発したため再度PVO解除術と術中左右肺静脈4本に対し4mm径のバルーンでBAPを行い, のちのBAPのために心房中隔欠損 (atrial septal defect: ASD) 作製術も行ったが術後状態の改善を得られず失った。他の1例は傍心臓型のTAPVCで, 4カ月時に修復術を行い, 2歳時にPVO解除術を行った。半年後に再度PVO解

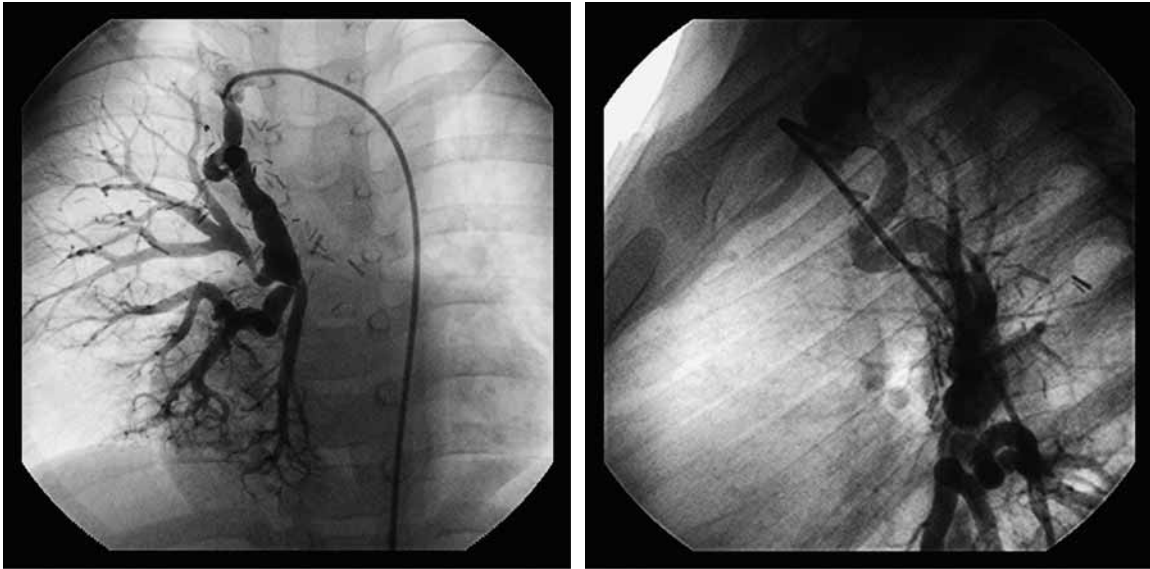


Fig. 2 Blalock-Taussig shunt angiography in a patient after pulmonary unifocalization.

A : Frontal view.  
B : Lateral view.

A | B

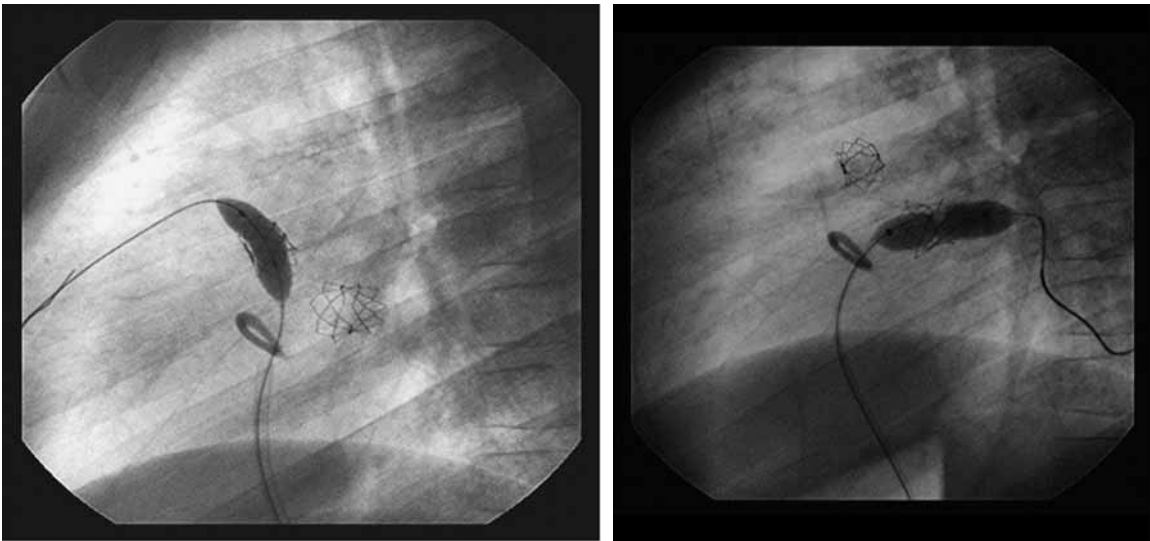


Fig. 3

A: Expansion of balloon for a stent placed in the upper right pulmonary vein through a surgically created ASD.  
B: Expansion of balloon for a stent placed in the lower right pulmonary vein.

A | B

除術を行ったが、再々度PVOが発生し、3歳時に再々度PVO解除術と術中左右肺静脈4本に対しBAPを行い、右の2本に対してはステント留置も行った。左上下肺静脈には10mm径のバルーンでBAPを行った。右上肺静脈には4mm径のバルーンで拡大後5mmのPalmazステントを留置し、7mm径のバルーンで追加拡大した。右下肺静脈は5mm径のバルーンで拡大後、7mm Palmazステントを留置し、9mm径のバルーンで追加拡大した。のち

のBAPのためにASD作製術も行った。その後軽度のPVO再発に対し3~10カ月ごとに7回経皮的にBAPを行って改善し、現在8歳で外来通院中である(Fig. 3)。

耐術例における術後再狭窄は、前述したPVOに対しステントを留置して術後繰り返しBAPを行った1例と、右体肺動脈短絡術後の吻合部狭窄に対してBAPを行い合併症なく拡大できた1例で、39カ月後に再狭窄のため再BAPを行って拡大できた計2例であった。

術中バルーンは、前後で径の計測データの得られた全例で術中の消息子による計測で拡大が確認でき、有効ではあった。しかし最も多かった合併症として、出血性合併症が多く、おもには血管壁が裂けたことによるものであった。

使用したバルーンサイズは、reference vesselに対しては100%のものを基準としていた。また、狭窄部に対しては狭窄径が3mmであった1例で9mm(300%)径のバルーンを選択したのみで、ほかは全例200%以下であり、出血を来した症例も全例200%以下のバルーンの使用例であった。術前の血管造影検査での測定と、術中の消息子による測定の2つの方法で明らかな大きさの違いがないかを確かめるため、狭窄部径のデータがともに得られた9例で値の比較検討も行った。血管造影では $5.3 \pm 1.5\text{mm}$ (2.2~7.1mm)、消息子では $5.8 \pm 1.4\text{mm}$ (3.0~7.0mm)であり、両者の差の絶対値は $0.9 \pm 0.7\text{mm}$ (0.0~2.0mm)で、一定の傾向はみられず有意な差もみられなかった。

後半の適応条件として外科的に到達可能な肺門部より手前の肺動脈では原則的にBAPを行わないこととしてからは、BAPの対象となった症例は当然少なくなり、両側肺動脈絞扼術後の1例とunifocalization後の末梢肺動脈狭窄例の1例のみであったが、癒着剥離による出血性の合併症はなくなった。

## 考 察

近年、小児循環器領域におけるカテーテル治療が発達<sup>1-3)</sup>、一方では外科治療の適応も拡大され、その成績はともに改善されてきた。しかし、ハイブリッド治療は、本邦では欧米に比し、いまだに経験が少ない領域と思われ、今後この領域の治療の幅を広げていくうえで、当院での経験からハイブリッド治療の現状での問題点と展望を検討した。

術中バルーンは有効ではあったが、最も多かった合併症として、経皮的に行う場合に比べ出血性合併症を多く認め<sup>4-6)</sup>、おもに血管壁が裂けたことによるものであった。

経皮的に用いる場合よりむしろ小さいバルーンサイズを選択しているにもかかわらず出血を来した一因として、手術による癒着組織の剥離により周囲の補強効果がなくなり血管壁が脆弱になっていると考えられた。バルーンを行うことを前提にしている場合にはなるべく剥離しないようにはしていたものの、狭窄部位の同定やシャント血管の切断のため、ある程度の剥離が必要であったことが関係していると思われる。他の原因としては、バルーン拡大部位は狭窄部の目視と触

診によるバルーン位置の同定で行っていたが、特に肺出血を来した症例では、バルーン先端が肺動脈上下葉枝にかかり出血を来した可能性があると思われる。

このようなことを予防するためには、剥離は必要最小限にとどめるとともに、バルーンの位置の確認を、一部は用手的あるいは目視で確認できたとしても、透視下にも血管内の位置関係を確認するほうがよいと思われる。

体外循環を併用したハイブリッド治療の他の欠点としては、体外循環時間が長くなりそれに伴う浮腫、出血傾向、術後回復経過の遅延などの可能性が増すこと<sup>7)</sup>、ヘパリンを経皮的カテーテル治療時より大量に使用するため、いったん出血すると体外循環を停止するまで凝固止血は困難なことが考えられる。また、体外循環により血液が肺循環をバイパスしている場合には、肺血流が本来より少なくなっており、確認造影をした場合血管径が過小評価される可能性もあると思われる。

一方、利点としては、血管が細すぎたり閉塞したりしているなど経皮的にはvascular accessが困難な例でも、経上行大動脈、経主肺動脈、経右房などのアプローチにより標的部位に到達可能であること<sup>3)</sup>、カテーテルの走行がより単純になるため標的部位までの挿入が容易になることが挙げられる。またPVOに対してステント留置をする場合には、直視下で行うため閉塞しかけた小さな肺静脈開口部でも容易に挿入が可能で、深さの位置決めも容易であった。

これらの経験より3年前からは、肺門部辺りまでの左右肺動脈狭窄は原則的に全例外科的に解除をすることとし、現在のハイブリッド治療の適応は以下のように考えている。

まず前提条件として、「低体重のため血管が細くてシースが入らない、穿刺または途中の血管が閉塞している、標的部位までの走行に屈曲が多い、などの理由により経皮的アプローチが困難な例であること」である。そのうえで、肺門部より末梢の肺内肺動脈狭窄、肺門部より中枢側であるが複数回の手術既往による高度の癒着があり外科的にも直接到達が困難な例、TAPVC修復術後の再発性PVO、と考えている。いずれの場合もBAPを第一選択とし、効果が不十分であればステント留置を考慮する。特にPVOでは、高頻度に再発するため、初回から積極的にステント留置を考え、その後も経皮的なインターベンションを可能にするため、同時のASD作製術が必須と考えている<sup>8)</sup>。具体的には、EPTFEシートに径4mm程度の穴を開け、その周囲にX線不透過のマーカーとして冠動脈バイパス術用のACロケター<sup>®</sup>を固定したものを心房中隔に縫着し

ている。

今後ハイブリッド治療を進めていくうえでは、施設の設備上の問題が挙げられる。現在、手術室と心カテーテル検査室が同じ清潔区域内のユニットにある施設は徐々に増えてきているように思われるが、まだ少数派であろう。感染予防、出血などの対処のため、開胸手技は基本的には手術室に準じた環境で行うことが必要なことは言うまでもなく、特に体外循環を使用する場合には手術室内でなくてはほとんど不可能であろう。一方で、より安全で有効なカテーテルインターベンションを行うには高解像度の透視装置が必要で、通常の手術室には備え付けられていないためカテーテル室への移動が必要となる。しかし患者の移動やカテーテル検査室では、感染の機会の増大、出血などの不測の事態への対応の困難さが伴うため、今後は手術室と心カテーテル検査室の設備を兼ね備えたハイブリッドスイートと呼ばれるような部屋を、手術室と同一のユニットに備えていく必要があると思われる<sup>2,9)</sup>。

ハイブリッド治療の施行主体は、当初BAP手技に慣れるまでは小児循環器科医と心臓外科医両者で行っていたが、後半は心嚢内の病変に対しては心臓外科医のみで行うようになっていた。しかし、最近は末梢肺動脈病変やステント留置なども行うようになり小児循環器科との共同作業が不可欠となり、今後も、より成功率を上げ合併症を減らすには、基本的にかテーテル操作は小児循環器科医が担うべきと考えている。

これらの問題を解決していけば、すでに欧米で行われ始めているように、今後、左心低形成症候群の動脈管に対するステント留置術、筋性部心室中隔欠損症に対する経心室的閉鎖栓留置などのハイブリッド治療が可能となり、体外循環が禁忌の症例に対しても治療の選択の幅が広がっていくものと期待される<sup>2,3,10,11)</sup>。

#### 結 語

自験例より現在のハイブリッド治療の問題点を検討した。現時点では、経皮的アプローチが困難で、外科的にも直接的解除が困難な血管の狭窄例、TAPVC術後のPVO例がよい適応と考えられた。

今後近い将来、ハイブリッドスイートの設置など設備面で改善が得られれば、心臓外科医、小児循環器科医の密な連携によって、より治療の可能性が広がることが期待できる。

#### 【参考文献】

- 1) Hjortdal VE, Redington AN, de Leval MR, et al: Hybrid approaches to complex congenital cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002; 22: 885–890
- 2) Hijazi ZM: Intraoperative intervention (hybrid surgery) and intervention in the immediate perioperative period. *Catheter Cardiovasc Interv* 2003; 60: 99–100
- 3) Patel HT, Hijazi ZM: Pediatric catheter interventions: A year in review 2004–2005. *Curr Opin Pediatr* 2005; 17: 568–573
- 4) Moore P, Lock JE: Catheter intervention: Balloon angioplasty, in Lock JE, Keane JF, Fellows KE (ed): *Diagnostic and interventional catheterization in congenital heart disease*. Norwell, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp119–150
- 5) 中西敏雄: 末梢肺動脈狭窄に対するカテーテル治療: 先天性心疾患に対するカテーテルインターベンションと外科治療の展開に関する研究, 厚生省循環器病委託研究 9 指-7, 2000, pp26–28
- 6) 矢崎 諭, 北野正尚: 肺動脈狭窄のカテーテル治療; バルーン拡大術, ステント留置術. *循環器科* 2005; 58: 162–168
- 7) Jonas RA: Metabolic response, in *Cardiopulmonary bypass in neonates, infants and young children*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1994, pp205–224
- 8) Hyde JA, Stümper O, Barth MJ, et al: Total anomalous pulmonary venous connection: Outcome of surgical correction and management of recurrent venous obstruction. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999; 15: 735–740
- 9) Nykanen DG, Zahn EM: Transcatheter techniques in the management of perioperative vascular obstruction. *Catheter Cardiovasc Interv* 2005; 66: 573–579
- 10) Akintuerk H, Michel-Behnke I, Valeske K, et al: Stenting of the arterial duct and banding of the pulmonary arteries: Basis for combined Norwood stage I and II repair in hypoplastic left heart. *Circulation* 2002; 105: 1099–1103
- 11) Bacha EA, Daves S, Hardin J, et al: Single-ventricle palliation for high-risk neonates: The emergence of an alternative hybrid stage I strategy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 131: 163–171