

特集 循環器の画像診断

4. 小児循環器におけるカテーテル治療

星野健司

埼玉県立小児医療センター 循環器科

Catheter intervention in pediatric cardiology

Kenji Hoshino

Pediatric Cardiology, Saitama Children's Medical Center

Abstract

Following Rashkind's first report on balloon atrial septostomy for infants with transposition of the great arteries in 1966, catheter intervention has achieved popularity as the treatment of choice for congenital heart disease. In the 1970s to 1980s, catheter interventions such as balloon valvuloplasty, balloon angioplasty, coil occlusion, and device closure of cardiac defects, have developed markedly. Recently, balloon valvuloplasty for pulmonary valve stenosis, coil occlusion/device closure of the ductus arteriosus and angioplasty/stent implantation for postoperative stenotic vessels have been recommended as the therapy of first choice.

In the last 10 years, transcatheter closure of atrial septal defect using an Amplatzer septal occluder has become a standard procedure. But in some institutions, this technique has not gained quick acceptance because a foreign body is left in the heart. And complications associated with this new device are sometimes life-threatening.

Many of the catheter modes of treatment are replacing standard surgical procedures. However, there has not been a careful, prospective comparison between surgical and transcatheter therapeutic modalities. There are a limited number of reports, on a limited number of patients, describing intermediate-term follow-up results. Long-term results are also needed to assess the efficacy of the techniques.

Keywords : *Congenital heart disease, Catheter intervention, Coil occlusion, Amplatzer septal occluder, Amplatzer duct occluder*

はじめに

先天性心疾患に対するカテーテル治療が確立されたのは約50年前である。1966年にRashkindら¹⁾は、大血管転換症に対する心房中隔裂開術 (balloon atrial septostomy; BAS) の報告を世界で初めて行った。1971年にはPorstmannら²⁾が閉鎖栓による動脈管塞栓術を、1975年にはGianturco

ら³⁾がコイルによる血管塞栓術を報告している。また1982年にはKanら⁴⁾が肺動脈弁狭窄に対するバルーン拡張術を、1983年にはLockら⁵⁾が、血管 (肺動脈) 狭窄に対するバルーン拡張術を報告している。このように海外では、1970～1980年代に先天性心疾患に対するカテーテル治療が急速に進歩した。

日本でも近年、先天性心疾患に対するカテー

テル治療の進歩はめざましい。2005年以降には、amplatzer septal occluder (ASO)による心房中隔欠損閉鎖術・amplatzer duct occluder (ADO)による動脈管塞栓術が相次いで導入され、カテーテル治療の内容は一新した。しかし日本では新しい治療手技に対する認可が遅く、依然として諸外国に遅れをとっている。

本稿では、日本で現在行われているカテーテル治療の中から、代表的な治療(肺動脈弁形成術・動脈管塞栓術・心房中隔欠損閉鎖術塞栓術・血管形成術)について概説する。

主なカテーテル治療

1. 肺動脈弁形成術

(1)肺動脈弁狭窄

肺動脈弁狭窄は先天性心疾患の8~10%に認められる⁶⁾。肺動脈弁尖は癒合し、円錐形あるいはドーム状を呈する。通常弁輪径は正常で、肺動脈は多くの場合狭窄後拡張を示す。右室収縮期圧により、軽症(50mmHg以下)・中等症(50mmHg~体血圧程度)・重症(体血圧以上)に分類される。自然歴を追った報告では⁷⁾、4歳未満で圧較差が40mmHg以上の場合には病態の進行が認められ、圧較差50以上では流出路狭窄・弁尖の線維化・心筋肥大などが出現すると言われている。一方軽症例では、病態の進行はなく治療は必要ないとされている。従って治療の適応は、右室圧が体血圧の50%以上⁶⁾、あるいは右室-肺動脈間の圧較差が40~50mmHg以上、が一般的である。

肺動脈弁狭窄に対するカテーテル治療(percutaneous transluminal pulmonary valvuloplasty; PTPV)は、バルーンカテーテルを用いて弁尖の癒合部を裂開するもので(Fig.1)、1982年にKanら⁴⁾が初めて報告している。我が国でも1980年代からカテーテル治療が行われるようになり、現在では外科手術に代わる手技として確立されている。

手技: 右室圧の測定・右室造影を施行後、先端孔のカテーテルを右室から肺動脈へ進める。ガイドワイヤーの先端(flexible side)を肺動脈内(できるだけ末梢側)に留置した状態で、先端孔のカテーテルのみ抜去する。ガイドワイヤーに沿わせてバルーンカテーテルを挿入し、肺動脈弁の位置に留

置する。1/2稀釈の造影剤でバルーンをinflateする。弁輪部で生じるwaistが消失したらすみやかにバルーンをdeflateする。使用するバルーン径は弁輪径の1.3倍程度で(1.5倍は超えない)、高耐圧のバルーンを必要とすることは殆どない。

(2)純型肺動脈閉鎖

純型肺動脈閉鎖は、出生児の0.041~0.083/1000^{8,9)}、先天性心疾患の3%に認められ、やや男児に多い。頻度は少ないが完全大血管転換・心室中隔欠損を伴う肺動脈閉鎖などと共に、新生児期のチアノーゼ型心疾患の原因疾患となる。右室の一次的発生発達障害または弁形成異常が原因と考えられる。形態は、三尖弁・右室・肺動脈弁の状態により様々であり、右室-冠動脈間の交通(右室冠動脈瘻:right ventricle-to-coronary artery fistula; 類洞交通と呼ぶ場合もある)を合併する場合もある。肺動脈弁は、膜様閉鎖が70~80%で残りが筋性閉鎖である。治療方針は、右室の形態と右室冠動脈瘻の有無により異なる。右室は、流入部・肉柱部・流出部の3部分に分けられるが、右室が3部分あり右室依存性の右室冠動脈瘻が無い場合は、右室と肺動脈間に交通を作ることを治療の第一目標とする。従来外科的治療が第一選択であったが、近年カテーテル治療の進歩に伴い、PTPVも行われている^{10~12)}(Fig.2)。

手技: 詳細は、以前報告した通りである¹³⁾(紙面の都合で本編では詳細は省略)。右室造影を行い、右室減圧の適応を確認する。右室流出路へ4 French Judkins右冠動脈カテーテル(ガイディングカテーテル)を留置する。肺動脈弁を0.018 inchガイドワイヤーのstiff sideなどで穿孔する。穿孔後に、ガイドワイヤーを0.014 inchのflexible sideに入れ換え、肺動脈遠位端へ進める。経皮的冠動脈形成術(PTCA)用バルーンカテーテル(4mmを使用する人が多い)をガイドワイヤーに沿って進め、予備拡張を行う。次に目的のサイズ(肺動脈弁径の1.3倍程度)のバルーンカテーテル(Sterling: Boston Scientific社製を使用することが多い)で、拡張を行う。肺動脈弁閉鎖不全の出現を考慮して、過大なサイズのバルーンを使用しないように留意している(3~6か月後に再拡張をする人が多い)。

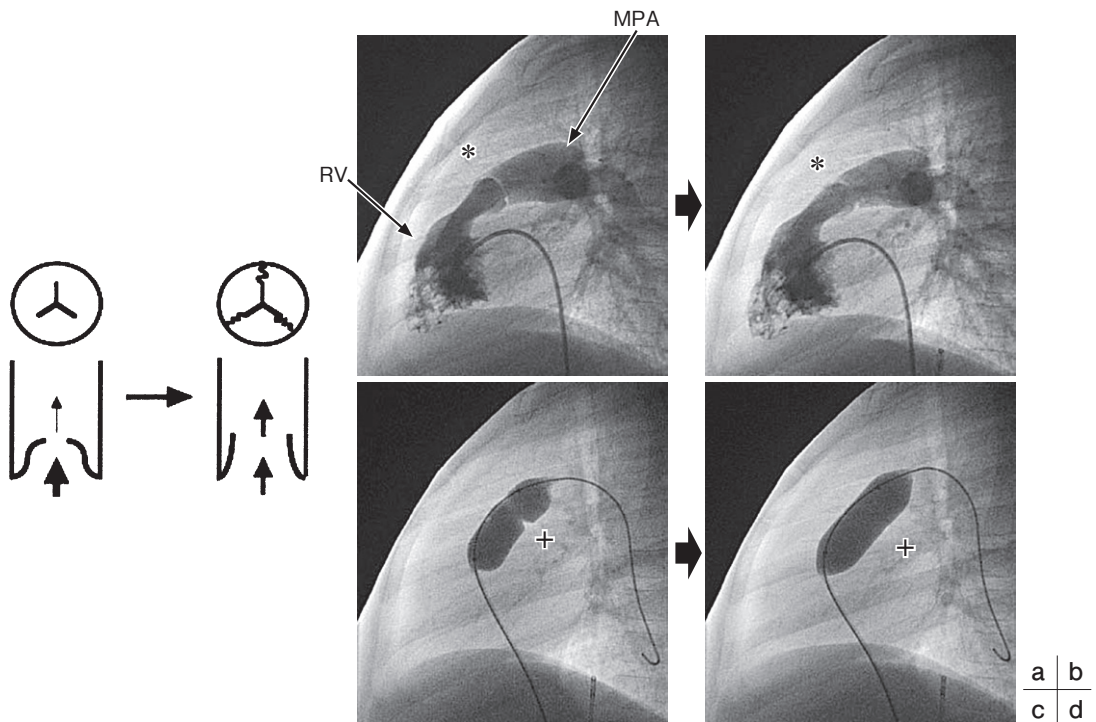


Fig.1 Balloon valvuloplasty for pulmonary valve stenosis
 Left panel; Mechanism of balloon valvuloplasty. The fused commissures are broken with balloon dilatation.

Selected frames from lateral view :

RV ; Right ventricle MPA ; Main pulmonary artery

a : Right ventricular cineangiogram before balloon pulmonary valvuloplasty.

* : Thickened and domed pulmonary valve. Thin jet flow prior to balloon dilatation

b : After balloon pulmonary valvuloplasty * : Wider jet flow after balloon dilatation

c : Balloon dilatation catheter placed across the pulmonary valve.

+ : Note the waisting of the balloon during the initial phases of balloon inflation

d : + : Waisting is almost completely abolished during the later phases

2. 動脈管塞栓術

(1)動脈管開存(コイル塞栓術)

動脈管は正常の新生児では生後1～2日で閉鎖する。新生児期以後まで閉鎖しない場合は、動脈管開存と診断される。動脈管開存は、満期産の1/2000、先天性心疾患の5～10%に認められる¹⁴⁾。家族内での発症もあり、12番染色体の関与を示唆する報告がある¹⁵⁾。太い動脈管は肺高血圧症を合併し、乳児期に心不全を生じる場合がある。細い動脈管は心不全を起こすことは殆どないが、細菌性心内膜炎を合併する危険性がある。

動脈管開存に対するカテーテル治療は、1970年

代のPorstmannら²⁾の方法、1980年代のRashkindら¹⁶⁾の方法など様々な方法¹⁷⁾が報告されてきた。小さな動脈管に対しては、北米を中心にGianturcoコイルなどの金属コイルを用いた塞栓術が有効であると報告され^{18,19)}、ヨーロッパではコイルの近位端にねじ込み式の着脱機構を有するコイル(PDA detachable coil, Cook社製)が開発された。日本ではPDA detachable coilが1996年12月に保険収載され、1997年2月から販売された。これにより、我が国でも動脈管開存に対するカテーテル治療が本格的に開始されたが、3～4mmを超える太い動脈管はコイル塞栓術が困難であった^{20,21)}(Fig.3)。

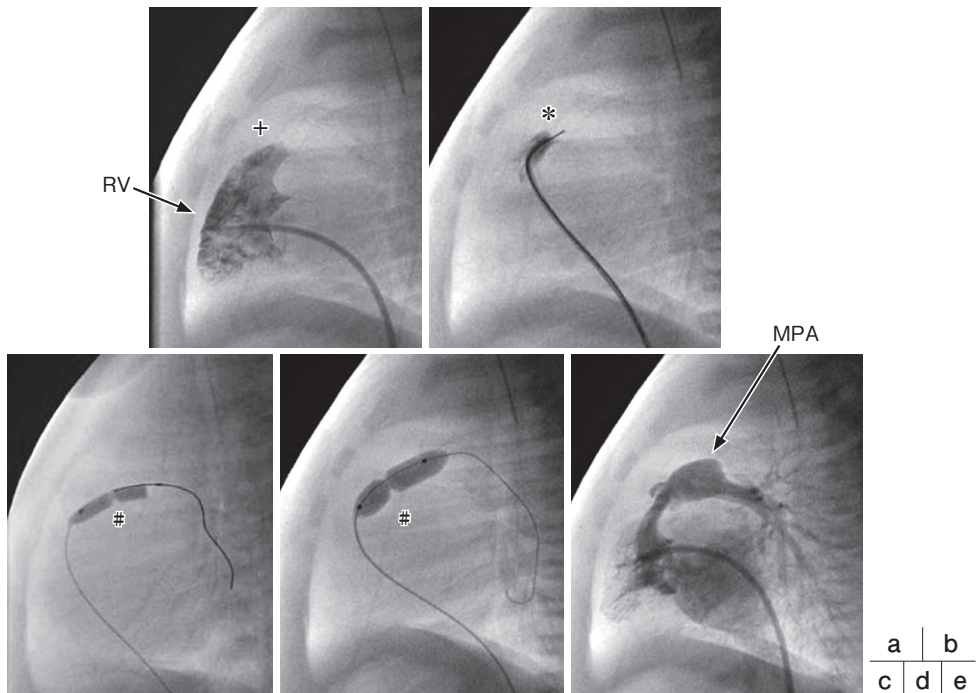


Fig.2 Balloon valvuloplasty for pulmonary atresia with intact ventricular septum

Selected frames from lateral view

RV ; Right ventricle MPA ; Main pulmonary artery

a: Right ventricular cineangiogram before balloon pulmonary valvuloplasty

+ : atretic pulmonary valve

b: Perforation of atretic pulmonary valve using guide wire

*: stiff side of 0.018 inch guide wire

c: Balloon dilatation catheter placed across the atretic pulmonary valve.

: Waisting of the balloon during the initial phases ; using PTCA balloon (4mm)

d: # : Waisting of the balloon; using Sterling balloon (7mm)

e: After balloon pulmonary valvuloplasty. Pulmonary flow across the pulmonary valve is recognized.

手技: 心血管造影 (RAO 30°・側面像の2方向: 造影剤1ml/kg前後を1~1.5秒で下行大動脈で注入) で動脈管の正確な形態診断・径の測定を行う。コイルの径は動脈管最狭部 (通常肺動脈側) の2倍以上を選択, コイルの巻き数は膨大部の大きさ・形態から, 膨大部内に収まる最大巻き数を選択する (通常5巻きを使用することが多い)。動脈管の形態・施設の治療方針により, 大動脈側から留置する場合と肺動脈側から留置する場合がある。

大動脈側からの留置: デリバリーカテーテル

(5French multipurposeカテーテル) を, 下行大動脈から動脈管を経由して肺動脈へ進める。肺動脈側にコイル1巻き弱を出して, 最狭部に引き寄せる。肺動脈側のコイルが最狭部に固定された状態で, 下行大動脈側で2~3巻き目をデリバリーカテーテルから引き出し, 素早く膨大部に引き入れる。さらに形状を整えながら, 4~5巻き目を膨大部に留置する。左肺動脈・下行大動脈にコイルの突出が無いことを確認後, コイルをデタッチする。
肺動脈側からの留置: 肺動脈から動脈管を経由し

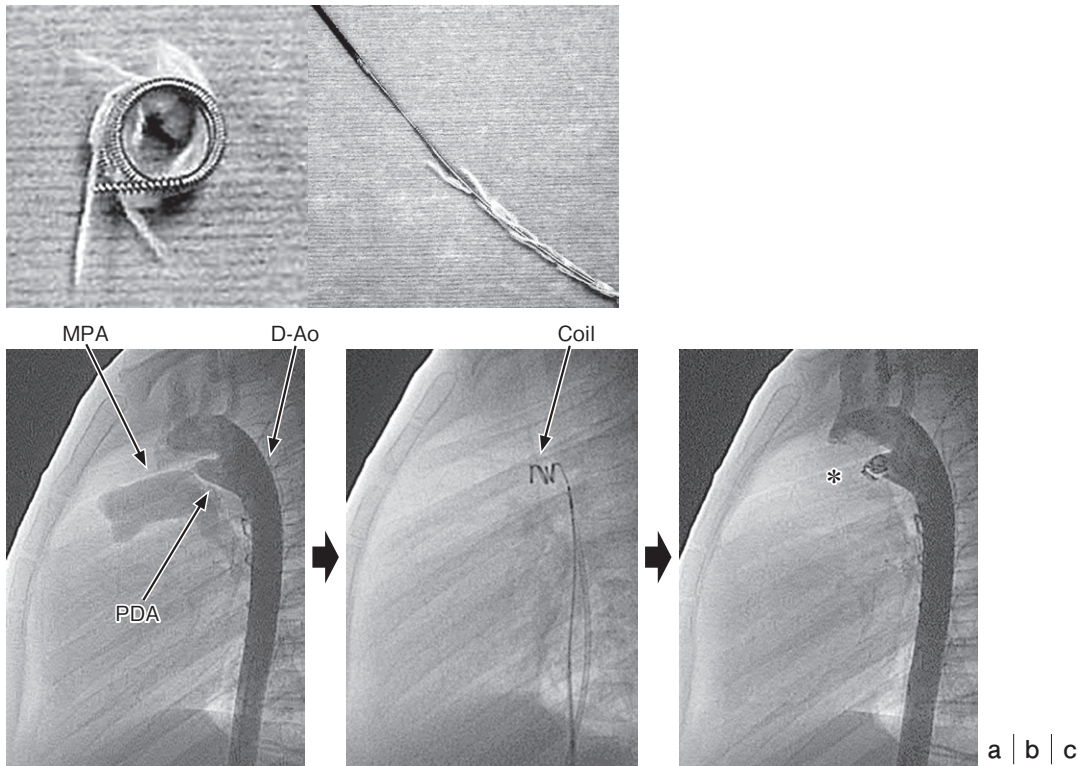


Fig.3 Coil occlusion of the ductus arteriosus

Upper panel ; PDA detachable coil ; Cook Inc.

Selected frames from lateral view

MPA : Main pulmonary artery PDA : Patent ductus arteriosus

D-Ao : Descending aorta

a : Aortogram before coil occlusion. Contrast medium is injected at descending aorta. Flow across the PDA to MPA is recognized.

b : Coil is positioned at the PDA from D-Ao.

c : Aortogram after coil occlusion

* : The flow across the PDA is completely abolished.

て下行大動脈へウエッジカテーテルを進め、デリバリーカテーテル (5 French multipurpose カテーテル) と入れ換える。デリバリーカテーテルにコイルを挿入後、1巻き分をカテーテル内に残し、下行大動脈側に残りのコイルを出して、膨大部に引き入れる。下行大動脈側のコイルが ampulla に固定された状態で、デリバリーカテーテルを肺動脈へ引き戻し、肺動脈側へ1巻き弱を留置する。左肺動脈・下行大動脈にコイルの突出が無いことを確認後、コイルをデタッチする。

(2)動脈管開存 (Amplatzer 閉鎖栓での塞栓術)

ADO (Amplatzer 動脈管閉鎖栓) による動脈管塞

栓術は、1998年に Masuraら²²⁾ が最初に報告し、2003年には米国FDAで認可された²³⁾。ADOは形状記憶性を有するニチノール (ニッケル・チタニウム合金) メッシュ形状と、ポリエステル繊維で構成される。日本では、2008年12月に保険収載、2009年6月から認可施設のみで使用可能となった。動脈管開存の治療戦略はADOの出現で大きく変化した^{23,24)}。コイル塞栓術は3mm以下の細い動脈管が対象であったが、ADOは2mm以上の太い動脈管が対象で16mmまで閉鎖可能とされる (日本では12mmまでが対象とされている)。このため、現在ADOでは適応外となっている小さい患児 (6か月又は6kg

未満、未熟児PDA) 以外は、殆どがカテーテルでの治療が可能となった。2010年に当センターで動脈管開存に対して治療を行った30名中、カテーテル治療を行ったのは21名(16/21はADOを使用)であった。過去12年間のカテーテル治療の割合(54% : 125/233)に比べ、カテーテル治療の比率が著明に増加した。また、現在治療の対象外となっている小さい児でも、ADOを用いた治療が多数報告されている^{25,26)}。5~6kg以下の乳児、さらには未熟児でも治療が可能という報告もある²⁷⁾(Fig.4)。**手技**：コイルと同様の手順で、肺動脈側から塞栓術を行う。肺動脈から動脈管を経由して下行大動

脈へwedgeカテーテルを進め、デリバリーカテーテル(TorqVue 180°; AGA Medical)と入れ換える。デリバリーケーブルに閉鎖栓を装着し、デリバリーカテーテルに導入し、閉鎖栓を下行大動脈まで進める。下行大動脈側に閉鎖栓のスカート部を出して、膨大部に引き入れる。スカート部が膨大部内で固定された状態で、デリバリーカテーテルを肺動脈側へ引き戻し、閉鎖栓円形部分を留置する。円形部分が肺動脈側へ1~2mm出て固定され、左肺動脈・下行大動脈に閉鎖栓の突出が無いことを確認後、閉鎖栓をデタッチする。

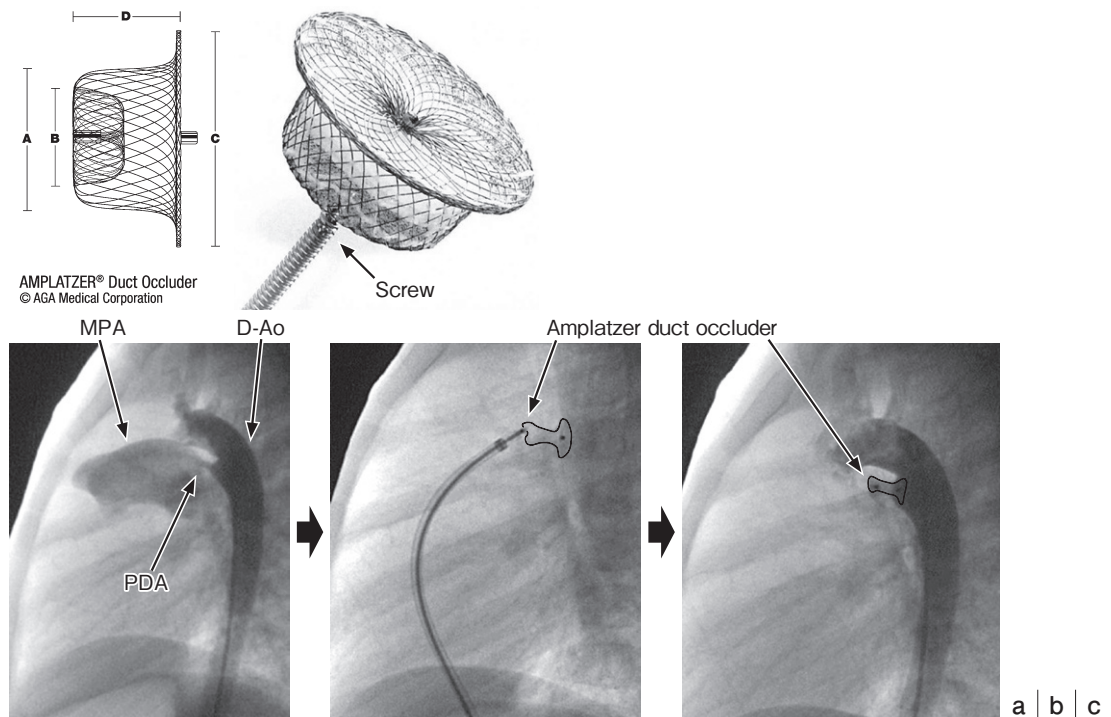


Fig.4 Transcatheter closure of the ductus arteriosus using Amplatzer Duct Occluder
Upper panel ; Amplatzer Duct Occluder (ADO); AGA Medical Corporation
Selected frames from lateral view

MPA : Main pulmonary artery PDA : Patent ductus arteriosus
D-Ao : Descending aorta

a : Aortogram before device occlusion. Contrast medium is injected at descending aorta. The flow across the PDA to PA is recognized.

b : ADO is opened in the PDA from PA. The device is still attached to the delivery cable.

c : Aortogram after release of the device. The flow across the PDA is completely abolished.

3. 心房中隔欠損閉鎖術・塞栓術

心房中隔欠損

心房中隔欠損は、出生児の1/1500、先天性心疾患の6～10%に認められる^{28,29}。女性の頻度が高く、女性：男性の比率は2：1である。家族内発症もあり、NKX2.5とGATA4遺伝子のheterozygous mutationsがfamilial ASDの原因として同定されている³⁰。短絡量が中等度以下の心房中隔欠損は、小児期は無症状で経過する場合が多い。短絡量が中等度を超える場合は、疲労感・息切れなどの症状が出る場合がある。稀に、乳児期に発育障害・心不全・頻回の呼吸器感染症などを合併する場合がある³¹。

大部分の心房中隔欠損は乳幼児期に症状が出ることは稀であり、自然閉鎖する場合があるため、治療時期は4歳以降が一般的である。多量の短絡がある場合は、乳児期に治療が必要となる場合がある。長期間の右心系への容量負荷は、心筋の不可逆的変化・それに伴う不整脈・早期死亡の原因となるため、治療時期は10代を超えない方が良いとされる。

心房中隔欠損に対するカテーテル治療は、1976年にKing³²らが報告したdouble umbrella閉鎖栓

による治療が最初である。その後、Rashkind ASD occluder, Lock-USCI clamshell occluder, Cradio SEAL device, the Sideris buttoned device, ASD occlusion system, Das-Angel wings occlusion device, Amplatzer septal occluder (ASO), CardioSEAL/STARFlex devices (CS/SF), など様々な閉鎖器具が開発・使用されてきた³³。しかし、閉鎖栓の破損・塞栓、太い留置システム、残存短絡などの問題点があった。2001年12月に、FDAは心房中隔欠損の閉鎖栓として唯一ASOを認可した。近年ASOの中～長期予後が報告され、Masuraら³⁴は151例の平均6年間(4.7～9年)の経過観察を行い、3年間で完全閉鎖が得られ、死亡・重大な合併症はなかったと報告している。またButeraら³⁵はASOとCS/SF deviceを比較し、残存短絡・透視時間などでASOが優れていると報告している。ASOの重大な合併症はびらん(erosion)・閉鎖栓の脱落で³⁶、米国ではびらんの頻度は0.1%と報告されている(通常72時間以内だが1例は3年後に発症)。日本ではびらんの頻度は約0.2%と高く(現在までに6例)、3か月後・6か月後とやや遅れて発生している場合が多い。また閉鎖栓の脱落は、日本では現在までに6例報告されている(Fig.5)。

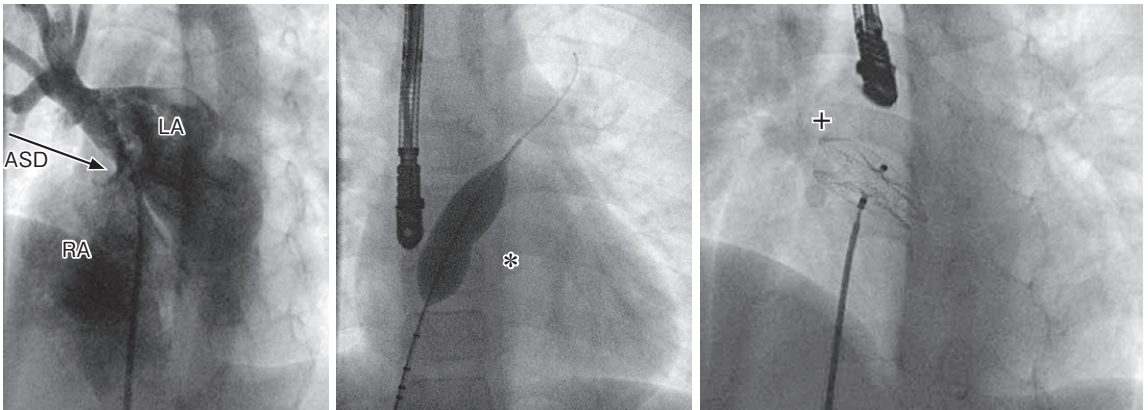


Fig.5 Transcatheter closure of atrial septal defect using Amplatzer septal occluder a | b | c
 Selected frames from frontal (b) and LAO 30° & cranial 30° (a, c) view
 LA : Left atrium RA : Right atrium ASD : Atrial septal defect
 a: Cineangiogram at left upper pulmonary vein. The flow across the ASD to RA is recognized (arrow).
 b: Balloon sizing *: Waisting of the balloon at the position of ASD
 c: Amplatzer setal occluder is opened at the position of ASD.
 + : Amplatzer setal occluder ; still attached to the delivery cable

手技：全身麻酔下で経食道エコー (TEE) を挿入して実施する。TEEで欠損孔の径・辺縁の壁 (rim) を測定する。通常のカテーテル検査 (心内圧・酸素飽和度の測定) を行い、右肺静脈で造影を行う。サイジングバルーンで欠損孔の径を計測し、閉鎖栓のサイズを決定する (通常計測値+1mm前後)。右心房から心房中隔欠損を経由して multipurpose カテーテルを左上肺静脈へ進め、デリバリーカテーテル (TorqVue 45°; AGA Medical) と入れ換える (デリバリーカテーテルは左心房内へ留置する)。デリバリーケーブルに閉鎖栓を装着し、デリバリーカテーテルに導入し、閉鎖栓を左心房まで進める。左心房側の閉鎖栓を展開後、デリバリーカテーテルを中心に全体を右心房側へ引き込む。右心房側の閉鎖栓を展開後、デリバリーカテーテルを軽く押し戻し、中隔を挟み込む。辺縁・弁などの圧迫が無いことを確認後、閉鎖栓をデタッチする。

4. 血管形成術

血管狭窄

血管 (肺動脈) 狭窄に対するバルーン拡張術は、1983年に Lockら⁵⁾により初めて報告された。現在、肺動脈狭窄・大動脈縮窄など血管狭窄病変に対するカテーテル治療は、確立された治療手技となっている。カテーテル治療は、バルーンカテーテルによる血管拡張術後と、ステント留置術がある。血管拡張術は、バルーンカテーテルにより内膜・中膜に亀裂を生じることで血管を拡張する。亀裂を生じた血管は、remodelingにより修復されるが、再狭窄となる場合もある。ステント留置術は、小児では成長の問題があるため、バルーンカテーテルでの血管拡張が期待できない場合に適応となることが多い。血管狭窄は、nativeの狭窄病変・術後の狭窄病変ともにカテーテル治療の対象となる。術後の狭窄病変は殆どの場合カテーテル治療が第一選択となるが、nativeの狭窄病変 (特に大動脈縮窄) は動脈瘤等の合併症があり、施設により治療戦略が異なる (Fig.6)。

手技 (バルーン拡張術)：通常のカテーテル検査 (心内圧・酸素飽和度の測定) を行い、狭窄部位で造影を行う。狭窄部径を測定後、先端孔のカテーテルで狭窄部位を通過させ、入れ換え用のガイド

ワイヤーを留置する。ガイドワイヤーに沿ってバルーンカテーテルを挿入し、狭窄部位にバルーンの中央部が位置するように調節する。バルーンカテーテルの耐圧を超えない範囲で、waistが消失するまでバルーンをinflateする。バルーンのwaistが消失したら、直ちにバルーンをdeflateする。術後病変の一部では、高耐圧のバルーンカテーテルでも拡張不可能の場合がある。このような場合は、バルーン表面に刃が装着された、カッティングバルーンなどを使用する場合がある。バルーン径は、狭窄部の2~3倍の径を選択することが多い。耐圧が高く、シャフトが細く柔らかいバルーンカテーテルが理想であるが、その病変に応じて至適なバルーンカテーテルを選択することが重要である。

手技 (ステント留置術)：上記と同様に、狭窄部位を通過させて、入れ換え用のガイドワイヤーを留置する。ガイドワイヤーに沿ってロングシースを狭窄部位に留置する。ステントがマウントされたバルーンカテーテルをロングシースに導入し、ステントを狭窄部位まで進める。造影を繰り返し、注意深く位置確認をして、至適位置と判断されたらバルーンカテーテルをinflateする。バルーンが十分拡張されたら、バルーンをdeflateする。必要に応じて、追加バルーンを行い、形状の調整などを行う。

将来の展望

成人同様に小児循環器領域でも、カテーテル治療の進歩はめざましい。肺動脈弁狭窄・動脈管開存・術後の血管狭窄などに対する治療は、殆どの場合カテーテル治療が第一選択として確立されている。心房中隔欠損・大動脈弁狭窄・純型肺動脈閉鎖などに対する治療は、外科手術を優先させる施設もあるが、カテーテル治療を積極的に行う施設が多い。海外では、心室中隔欠損に対するカテーテル治療・肺動脈弁閉鎖不全などに対する右室流出路への valve stent の留置^{37,38)}・大動脈弁狭窄に対する prosthetic heart valve の留置^{39,40)} など、新しい治療が臨床応用されている。

今後、日本でもこれらの新しい治療方法が導入され、カテーテル治療の重要度はさらに増すと考えられる。一方、新しいカテーテル治療は、生命に危険が及ぶ重篤な合併症を生じる場合がある。

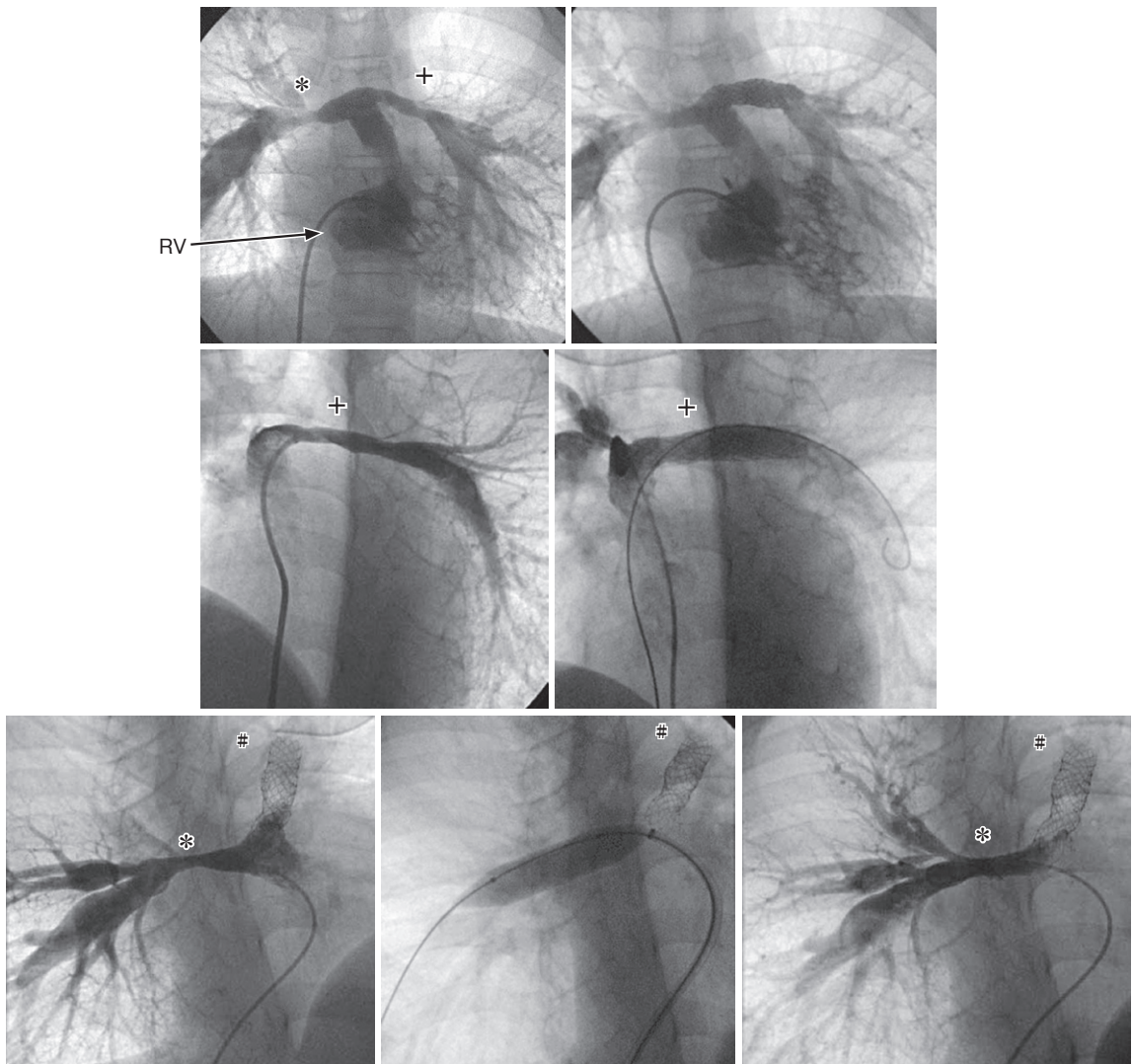


Fig.6 Stent implantation for left pulmonary artery and balloon angioplasty for right pulmonary artery

Selected frames from frontal (a, b), LAO 30° & cranial 30° (c, d) and RAO 30° & cranial 30° (e, f, g) view

RV : Right ventricle

a : Right ventricular cineangiogram before intervention

* : Right pulmonary artery (RPA) stenosis, + : Left pulmonary artery (LPA) stenosis

b : After intervention

c, d : LPA stenosis improved after stent implantation.

+ : LPA stenosis

e, f, g : RPA stenosis improved after balloon angioplasty.

* : RPA stenosis, # : Stent of LPA.

a	b
c	d
e	f g

適応を厳守し、他の治療手技との比較を厳密に行い、患者・家族への説明を十分に行うことが、非常に重要である。

●文献

- 1) Rashkind WJ, Miller WW : Creation of an atrial septal defect without thoracotomy. A palliative approach to complete transposition of the great arteries, *JAMA* 1966 Jun 13 ; 196 : 991-992.
- 2) Porstmann W, Wierny L, Warnke H, et al : Catheter closure of patent ductus arteriosus : Long term results of 62 cases treated without thoracotomy, *Radiol Clin North Am* 1971 ; 9 : 203-218.
- 3) Gianturco C, Anderson JH, Wallace S : Mechanical devices for arterial occlusion. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1975 ; 124 : 428-435.
- 4) Kan JS, White RI Jr, Mitchell SE, et al : Percutaneous balloon valvuloplasty: a new method for treating congenital pulmonary-valve stenosis, *N Engl J Med* 1982 Aug 26 ; 307 : 540-542.
- 5) Lock JE, Castaneda-Zuniga WR, Fuhrman BP, et al : Balloon dilation angioplasty of hypoplastic and stenotic pulmonary arteries, *Circulation* 1983 May ; 67 : 962-967.
- 6) Prieto LR, Latson LA : PULMONARY STENOSIS, Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents (7ed), Ed by Moss and Adams. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2008, p835-859.
- 7) Nugent EW, Freedom RM, Nora JJ, et al : Clinical course in pulmonic stenosis. *Circulation* 1977 ; 56 : I-38- I-47.
- 8) Ferencz C, Rubin JD, McCarter RJ, et al : Congenital heart disease : Prevalence at livebirth. The Baltimore-Washington Infant Study, *Am J Epidemiol* 1985 ; 121 : 31-36.
- 9) Daubency PE, Sharland GK, Cook AC, et al : Pulmonary atresia with intact ventricular septum : Impact of fetal echocardiography on incidence at birth and postnatal outcome. UK and Eire Collaborative Study of Pulmonary Atresia with Intact Ventricular Septum, *Circulation* 1998 ; 98 : 562-566.
- 10) Hijazi ZM, Patel H, Cao QL, et al : Transcatheter retrograde radio-frequency perforation of the pulmonary valve in pulmonary atresia with intact ventricular septum, using a 2 French catheter. *Cathet Cardiovasc Diarn* 1998 ; 45 : 151-154.
- 11) Wang JK, Wu MH, Chang CI, et al : Outcomes of transcatheter valvotomy in patients with pulmonary atresia and intact ventricular septum. *Am J Crdiol* 1999 ; 84 : 1055-1060.
- 12) Alwi M, Geetha K, Bilkis AA, et al : Pulmonary atresia with intact ventricular septum percutaneous radiofrequency-assisted valvotomy and balloon dilatation versus surgical valvotomy and Blalock Taussig shunt. *J Am Coll Cardiol* 2000 ; 35 : 468-476.
- 13) 星野健司, 小川 潔, 衛藤義勝 : 純型肺動脈閉鎖に対する経皮的肺動脈弁形成術—手技上の問題点—。 *心臓* 2005 ; 4 : 287-297.
- 14) Mitchell SC, Korones SB, Berendes HW : Congenital heart disease in 56,109 births : Incidence and natural history. *Circulation* 1971 ; 43 : 323-332.
- 15) Mani A, Meraji SM, Houshyar R, et al : Finding genetic contributions to sporadic disease : a recessive locus at 12q24 commonly contributes to patent ductus arteriosus. *Proc Nat Acad Sci USA* 2002 ; 99 : 15054-15059.
- 16) Rashkind WJ, Mullins CE, Hellenbrand WE, et al : Nonsurgical closure of patent ductus arteriosus : Clinical application of the Rashkind PDA occluder system, *Circulation* 1987 ; 75 : 583-592.
- 17) Rao PS, Wilson AD, Sideris EB, et al : Transcatheter closure of patent ductus arteriosus with buttoned device : First successful clinical applicaiton in child, *Am Heart J* 1991 ; 121 : 1799-1802.
- 18) Moore JW, George L, Kirkpatrick SE, et al : Percutaneous closure of the small patent ductus arteriosus using occluding spring coils, *J Am Coll Cardiol* 1994 ; 23 : 759-765.
- 19) Lloyd TR, Fedderly R, Mendelsohn AM, et al : Transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus with Giantruco coils, *Circulation* 1993 ; 88 (Part 1) : 1412-1420.
- 20) Akagi T, Hashino K, Sugimura T, et al : Coil occlusion of patent ductus arteriosus with detachable coils, *Am Heat J* 1997 ; 134 : 538-543.
- 21) 間 峽介, 衣川佳数, 佐々木康, 他 : 新しいデタッチャブルコイルを用いた経皮的動脈管塞栓術, *日小循誌* 1995 ; 11 : 782-789.
- 22) Masura J, Walsh KP, Thanopoulous B, et al : Catheter Closure of Moderate-to Large-Sized Patent Ductus Arteriosus Using the New Amplatzer Duct Occluder : Immediate and Short-Term Results, *J Am Coll Cardiol* 1998 ; 31 : 878-882.

- 23) Giroud JM, Jacobs JP : Evolution of strategies for management of the patent arterial duct. *Cardiol Young* 2007 ; 17 (Suppl 2) : 68-74.
- 24) Bilkis AA, Alwi M, Hasri S, et al : The Amplatzer duct occluder : experience in 209 patients, *J Am Coll Cardiol* 2001 ; 37 : 258-261.
- 25) Vijayalakshmi IB, Chitra N, Rajasri R, et al : Initial clinical experience in transcatheter closure of large patent arterial ducts in infants using the modified and angled Amplatzer duct occluder, *Cardiol Young* 2006 ; 16 : 378-384.
- 26) Al-Ata J, Arfi AM, Hussain A, et al : The efficacy and safety of the Amplatzer ductal occluder in young children and infants, *Cardiol Young* 2005 ; 15 : 279-285.
- 27) Bentham J, Meur S, Hudsmith L, et al : Echocardiographically guided catheter closure of arterial ducts in small preterm infants on the neonatal intensive care unit, *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011 ; 77 : 409-415.
- 28) Fyler DC : Atrial septal defect secundum. In : *Nadas' Pediatric Cardiology*. Philadelphia, Hanley & Belfus, 1992, p513-524.
- 29) Samánek M : Children with congenital heart disease : Probability of natural survival. *Pediatr Cardiol* 1992 ; 13 : 152-158.
- 30) Srivastava D, Olson EN : A genetic blueprint for cardiac development. *Nature* 2000 ; 407 : 221-225.
- 31) Porter CBJ, Edwards WD : *ATRIAL SEPTAL DEFECTS*, *Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents (7ed)*. Ed by Moss and Adams. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2008, p632-645.
- 32) King TD, Thompson SL, Steiner C, et al : Secundum atrial septal defect: Nonoperative closure during cardiac catheterization. *JAMA* 1976 ; 235 : 2506-2509.
- 33) O' Laughlin MP : Catheter closure of secundum atrial septal defects. *Tex Heart Inst J* 1997 ; 24 : 287-292.
- 34) Masura J, Gavora P, Podnar T : Long-term outcome of transcatheter secundum-type atrial septal defect closure using Amplatzer septal occluders. *J Am Coll Cardiol* 2005 ; 45 : 505-507.
- 35) Butera G, Carminati M, Chessa M, et al : Cardio SEAL/STARflex versus Amplatzer devices for percutaneous closure of small to moderate (up to 18mm) atrial septal defects. *Am J Heart J* 2004 ; 148 : 507-510.
- 36) Divekar A, Gaamangwe T, Shaikh N, et al : Cardiac perforation after device closure of atrial septal defects with the Amplatzer septal occluder. *J Am Coll Cardiol* 2005 ; 45 : 1213-1218.
- 37) Bonhoeffer P, Boudjemline Y, Saliba Z, et al : Percutaneous replacement of pulmonary valve in a right-ventricle to pulmonary-artery prosthetic conduit with valve dysfunction. *Lancet* 2000 ; 356 : 1403-1405.
- 38) Khambadkone S, Coats L, Taylor A, et al : Percutaneous pulmonary valve implantation in humans : results in 59 consecutive patients. *Circulation* 2005 Aug 23 ; 112 (B) : 1189-1197. Epub 2005 Aug 15.
- 39) Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, et al : percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis : first human case description. *Circulation* 2002 Dec 10 ; 106 (24) : 3006-3008.
- 40) Kallenbach K, Karck M : Percutaneous aortic valve implantation-*contra*. *Herz* 2009 ; 34 : 130-139.