

小児心疾患に対する IVR

埼玉県立小児医療センター 増田 和浩
(循環器撮影技術研究会)

はじめに

バルーン心房中隔欠損作成術 (Balloon Atrial Septostomy ; BAS)、バルーンカテーテルによる弁や、血管などの拡張術に始まった小児循環器領域に対する Catheter Intervention は、現在のところ動脈管開存 (Patent Ductus Arteriosus ; PDA) の閉鎖術を確実に達成し、最近の New device の進歩とともに心房中隔欠損 (Atrial Septal Defect ; ASD) から、心室中隔欠損 (Ventricular Septal Defect ; VSD) へと適応の拡大が試みられている。

小児専門病院や大学病院の小児循環器領域において、現在施行されている主なインターベンションは、バルーン心房中隔欠損作成術 (BAS)、バルーンによる経皮的弁成形術 (Balloon Dilatation Valvuloplasty ; BDV)、バルーンによる経皮的血管成形術 (Balloon Dilatation Angioplasty ; BDA)、ステント (Stent) の挿入、コイルによる塞栓術 (Coil embolization) などが挙げられる。当センターにおいても、BAS、BDV、BDA、Coil embolization、stent 留置は日常的に行われるようになった。

近年、小児循環器領域のインターベンションの症例数は増加しており、当センターでもここ数年、心臓カテーテルに占めるインターベンションの割合は、年間 20%前後で推移している。これは、device の進歩とともに、より複雑な心内修復術の手術成績が向上し、術後の血管狭窄などの症例が増加していることに由来するものと考えられる。そこで小児循環器領域のインターベンションについて、技術的な視点を中心に紹介した。

1. バルーン心房中隔欠損作成術 (BAS)

【概略】

完全大血管転位など無短絡の高度なチアノーゼ性心疾患では、ほとんどの場合において放置すれば新生児期に低酸素血症を起こして死亡する。そのため、右心房と左心房の交通を改善し血液中の酸素濃度を上昇させることを目的として、1966年 Rashkind と Miller¹⁾ によりバルーンカテーテルによる心房中隔欠損が作成された。

【代表的な適応疾患】

完全大血管転位、純型肺動脈閉鎖、三尖弁閉鎖、僧帽弁閉鎖、総肺静脈環流異常などで、心房間交通が乏しいか、全く無い場合。

【施行時の技術的手順】

治療前

右心房と経卵円孔経由 (図 1) にて左心房の血液酸素飽和度の測定を行う。同時に右心房と左心房の心内圧を測定し、左心房から右心房への引き抜き心内圧曲線を記録する。また経皮的な酸素飽和度の値を記憶しておく。造影は、患者の状態が悪化する可能性が高いため原則的には行わない。

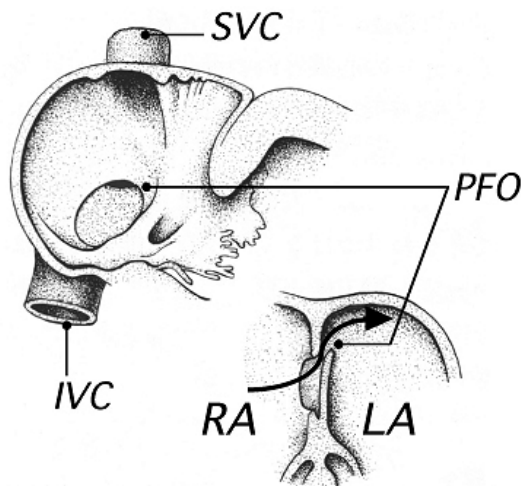


図1 卵円孔の模式図

PFO : Patent Foramen Ovale ; 卵円孔
 SVC : Superior Vena Cava ; 上大静脈
 IVC : Inferior Vena Cava ; 下大静脈
 RA : Right Atrium ; 右心房
 LA : Left Atrium ; 左心房
 新生児・乳幼児期においては、卵円孔を介して右心房より左心房へカテーテルを挿入することが可能である場合が多い。カテーテルは図中の矢印のように進められる。

治療中

左心房から右心房へ治療用のカテーテルを引き抜き、心房中隔を裂開するシーンが記録として必要ならばシネ撮影を行う。撮影は 25 (30) または 12.5 (15) f/sec の Biplane で、照射野は横隔膜の下まで含める。これは、引き抜いたカテーテルがどこで止まったかを確認するためである (図 2)。

治療後

必要に応じて心エコー図で心房間交通を確認する。経皮的な酸素飽和度の値を治療前と比較する。患者の状態によって治療前と同様の血中酸素飽和度と心内圧曲線を測定し、場合によっては造影を行うこともあるので考慮しておく。

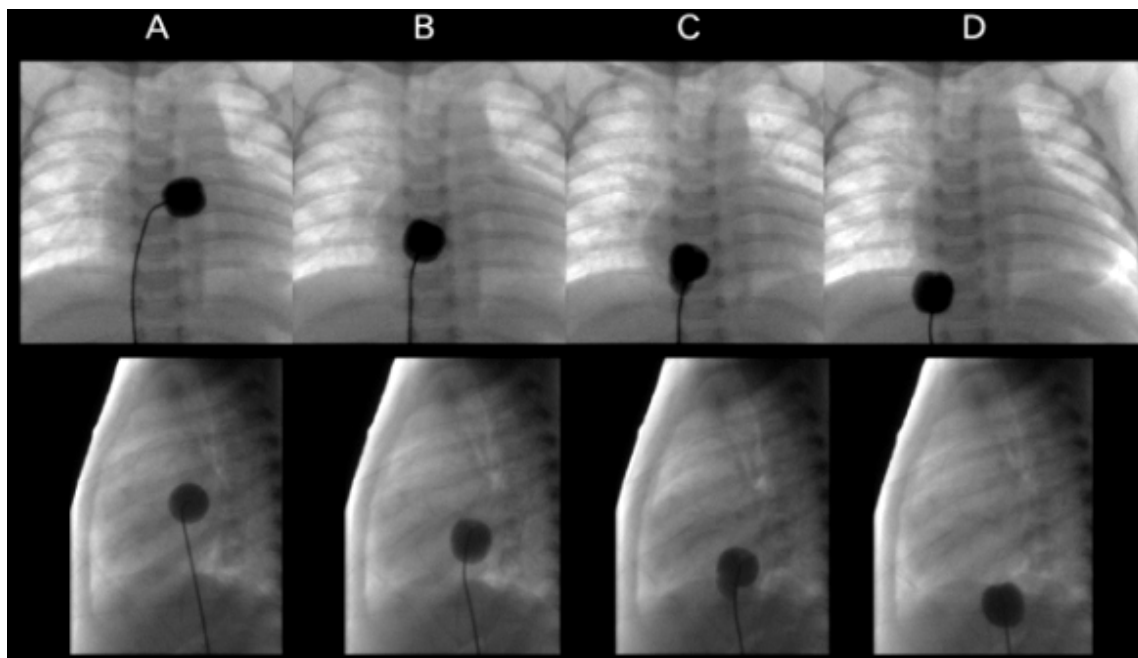


図2 BAS の症例

- A : カテーテルは RA より PFO を介して LA へと進められ、希釈した造影剤にてバルーンをインフレートする。
- B, C : LA より RA 側へカテーテルが引き抜かれ、心房中隔が裂開される。
- D : IVC を閉塞する可能性が高いので、バルーンがデフレートされる。

2. バルーンによる経皮的弁成形術 (BDV) と経皮的血管成形術 (BDA)

BDV、BDA を行う場合も基本的には、通常の診断カテーテルを施行する場合と同様であるが、術前に他の検査情報や以前のカテデータを収集し症例について十分に検討することが望ましい。以下に BDV と BDA に共通する項目を簡単に述べておく。

術前に心エコー図所見や前回のカテデータを参考に、シース、カテーテル、ガイドワイヤ等の材料を検討し、予測される使用材料を準備しておく。準備した材料については、その特性と特徴を充分理解しておくことが必要である。特にインターベンション用のカテーテルについては、種類が多いため次の項目を一覧表にまとめておくことを奨めたい。

- ①カテーテルのメーカーと規格 (バルーンサイズ、シャフト径等)
- ②適合するシース、ガイドワイヤの規格
- ③バルーンの最大耐圧
- ④バルーンの最小有効容量
- ⑤備考として、使用後のカテーテルの評価や他の材料との適合性

などについてカタログデータと実測値を記入しておくとう用である。

次に計測に関する事項について、当センターでの方法を参考として紹介しておく。まず患者入室後に心臓近傍の胸厚を測定し、透視下でフレーミングして撮影位置を確認 (寝台の高さ、焦点-I.I.間距離、撮影角度) する。幾何学的条件を撮影時と同様に設定し、拡大率補正用のメジャー (図 3) を撮影する。距離計測のキャリブレーションは、目的とする部位の近くで行い、誤差を減らすためなるべく長い距離を用いているようにしている。カテーテルによるキャリブレーションは、誤差要因が多いため当センターでは使用していない。

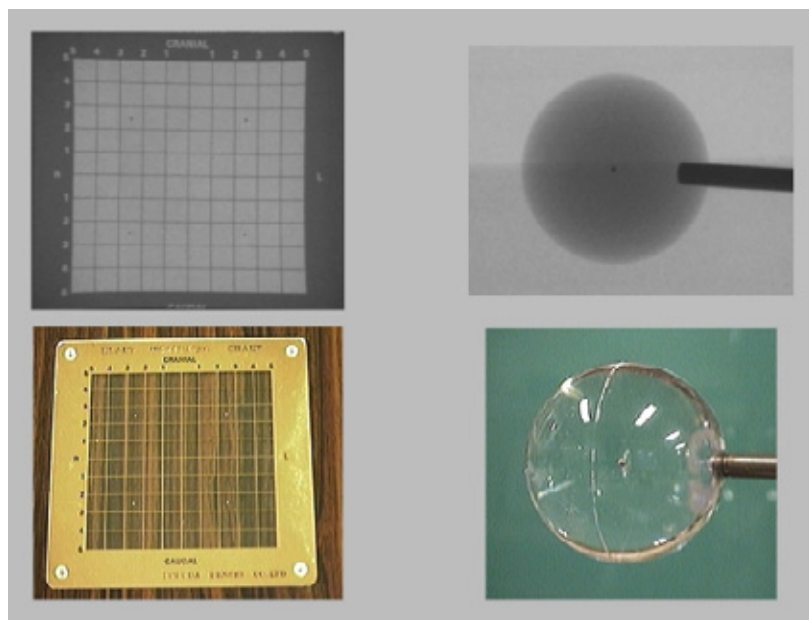


図 3 拡大率補正用メジャー

左：1cm 銅板エッチング

正面・側面撮影用に 1cm 間隔に銅板をエッチング処理したもので、4 点のボールは 5cm 間隔で配置してある。

右：5cm アクリルボール

アンギュレーションを付けた場合の撮影にも使用できるもので、球の中心部にスチール製のボールが埋め込んである。

2.1 バルーンによる経皮的弁成形術 (BDV)

バルーンカテーテルによる経皮的弁成形術は、開胸手術と比較して患者の肉体的、経済的、時間的負担を軽減し、治療成績も比較的良好なため小児領域においても積極的に行われるようになった。図 4 に BDV による弁成形の模式図を示す。

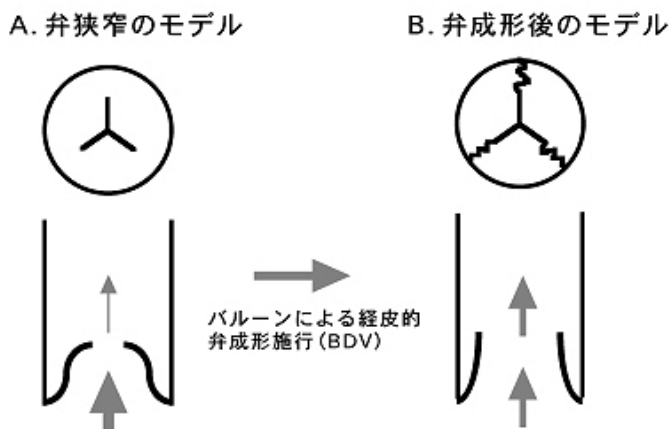


図 4 BDV による弁成形の模式図

A : 弁狭窄のモデル

弁が完全に開放しないため、鍋底型のドームフォーメーションを呈している。

B : 弁成形後のモデル

BDV の施行により、弁の開放が改善される。

a. 肺動脈弁（右室流出路を含む）

【概略】

1979 年 Semb ら²⁾、1982 年 Kan ら³⁾ によって先天性肺動脈弁狭窄症例に適応された。現在多くの施設で施行されており、当センターにおいても、患者の疾患が肺動脈弁狭窄のみの場合は治療の第一選択手法とされることが多い。

【代表的な適応疾患】

肺動脈弁狭窄、肺動脈弁下・右室流出路狭窄など

【施行時の技術的手順】

治療前

術前にカテーテル等の材料を検討しておく。バルーンのサイズは概ね弁輪径の 1.5 倍程度を目安に準備する。右室流出路や弁下狭窄の場合もバルーンが弁にかかる可能性が高いので同様に考える。肺動脈、右室、大動脈の心内圧曲線を測定し、さらに肺動脈から右室への引き抜き心内圧曲線を測定する。肺動脈と右室の圧差が 30~40mmHg 以上ある場合に治療の対象となると考えられるが、新生児から乳児期のフォロー四徴症などでは心内修復術に向けて肺血流を増加させ、姑息術を回避する目的で BDV が施行される場合はこの限りではない。

右室または右室流出路での造影を行い、肺動脈弁輪径の計測を行う。

治療中

撮影は 25 (30) f/s または 12.5 (15) f/s の Biplane または、Lateral singleplane にて行う。バルーンのウェストが消失した位置と肺動脈弁輪付近のバルーン径を計測する。

治療後

治療前と同様の心内圧曲線を測定し、造影を行う (図 5)。

b. 大動脈弁

【概略】

1986 年 Lababidi ら⁴⁾ によって先天性大動脈弁狭窄症例に適応された。しかし、肺動脈弁成形術と比べると広く普及しているとは言えない。これは、技術的な問題だけでなく、考えられる合併症（大動脈弁閉鎖不全）の深刻さによるところが多い。

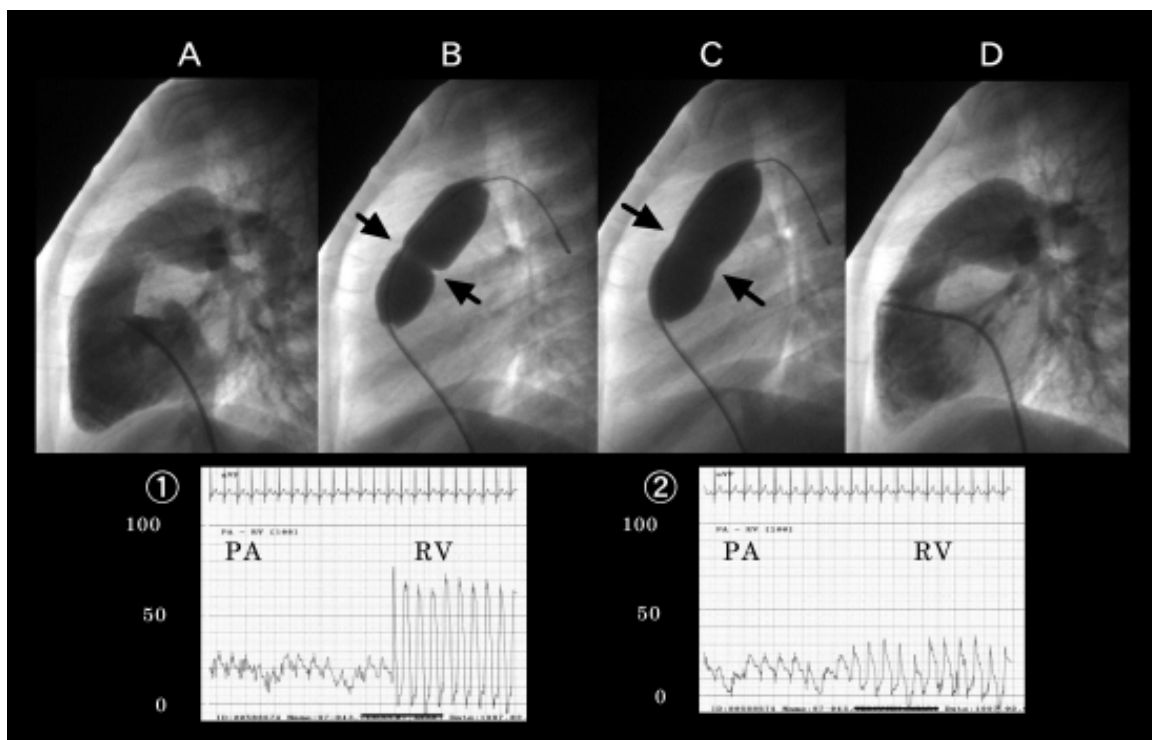


図 5 肺動脈弁狭窄に対する BDV の症例

上段 ; X 線像

A : 治療前の右室造影。肺動脈弁はドームフォーメーションを呈している。

B : バルーンカテーテルを希釈した造影剤にてインフレートすると、弁の狭窄部にウエストが生じる (➡)。

C : さらにバルーンに圧力を加えていくと、ウエストが徐々に消失してゆく (➡)。

D : 治療後に造影を行い弁の開放状態を確認する。

下段 ; 引き抜き圧曲線

① : 治療前は肺動脈 (PA) と右室 (RV) の圧差が 45mmHg 程度であった。

② : 治療後は PA と RV の圧差が 5mmHg 程度に減少した。

【適応疾患】

大動脈弁狭窄など

【施行時の技術的手順】

治療前

エコー所見などを参考に、カテーテル等の材料を検討する。バルーンのサイズは概ね弁輪径程度を目安とする。患者の胸厚測定、撮影位置の確認後メジャーを撮影する。

大動脈と左室の心内圧曲線と、左室から大動脈への引き抜き心内圧曲線を測定する。左室または大動脈での造影をし、大動脈弁輪径の計測を行う。

治療中

撮影は 25 (30) f/s または 12.5 (15) f/s の Biplane にて行う。バルーンのウエストが消失した位置と大動脈弁輪付近のバルーン径を計測する。

治療後

治療前と同様の心内圧曲線と造影を行い、大動脈弁逆流の無いことを確認する。

2.2 バルーンによる経皮的血管成形術 (BDA)

BDA は、1982 年に Singer ら⁵⁾ によって大動脈縮窄術後の再狭窄例で成功が報告されたのをはじめとして、現在は肺動脈分岐部や末梢肺動脈、大動脈、川崎病後の冠状動脈、姑息術後の血管 (BT-shunt など)、根治術後の血管 (Jatene 手術、Rastelli 手術、Fontan 型手術など) に対して広く行われている。技術的な手順については BDV に準ずるが、カテーテルのバルーンサイズは自己血管の場合で、狭窄部の径の概ね 2~3 倍程度まで、人工血管の場合は血管径 (手術記録などで確認) 程度までをひとつの目安としてカテーテルを準備する。左右肺動脈に対して BDA を施行する場合は、撮影角度にも配慮が必要であり、最大情報アングルを検討する必要がある。左肺動脈に対して LAO+CRA、右肺動脈に対して RAO+CRA を基本とすることで、最大情報アングルを設定しやすくなるが、角度は患者毎に異なることが多いので右室造影の正面、側面などを参考にするとよいだろう。

3. ステンント

【概略】

経皮的冠状動脈形成術に使用されているステントも、小児領域への応用例が 1992 年に Hosking ら⁶⁾ によって報告されている。対象の多くは、先天性心疾患術後の難治性狭窄病変に対してであり、バルーンカテーテルによる狭窄解除が困難な場合に、Palmaz-Schatz stent や Iliac stent などが用いられている。

【適応症例】

手術後の肺動脈 (TGA-Jatene 術後、ファロー四徴症に対する心内修復術後など)、術後の体静脈、大動脈縮窄、末梢肺動脈狭窄などに施行される。いずれの場合にも、ステント留置と成長の問題があるため、適応は慎重に検討されなければならない。

【施行時の技術的手順】

治療前

術前にカテーテル等の材料を検討しておく。特に、ステントは種類も多く、ひとつのステントで留置する太さを調節することができるため、使用するバルーンカテーテルの種類と本数のバリエーションが多くなる。また、ステントをデリバリーするためのロングシースの形状とサイズ、ステントやバルーンカテーテル、ガイドワイヤとの相性なども存在するため、事前の材料準備を入念に行うことが必要となる。

治療中

撮影は 25 (30) f/s または 12.5 (15) f/s の Biplane または、最大情報アングルによる singleplane や Lateral singleplane にて行う。留置したステントの位置と形状を確認するため、造影回数が増える傾向がある。したがって、透視条件、撮影条件をよく考えて設定する。ステントの位置は微調整が行われるため、狭窄部の血管径を計測する回数も多くなるので測定手順を熟知しておく。

治療後

治療前と同様の心内圧曲線を測定し、造影を行う (図 6)。

4. 塞栓術

動脈管開存 (PDA)、心内修復手術後の遺残短絡 (BT-shunt などの姑息術後の血管が残存する)、肺動静脈瘻、冠状動脈瘻、側副血行路 (MAPCA など)、などが対象となる。

塞栓術は 1967 年に Porstmann ら⁷⁾ が動脈管 (PDA) をスポンジで作った栓で閉鎖したことに始まるが、この方法は広く普及するには至らなかった。小児循環器領域において、ステンレススチール製コイルによる塞栓術が行われたのは、1980 年代になってからで、1984 年に Gomes ら⁸⁾ による肺動静脈瘻の金属コイル

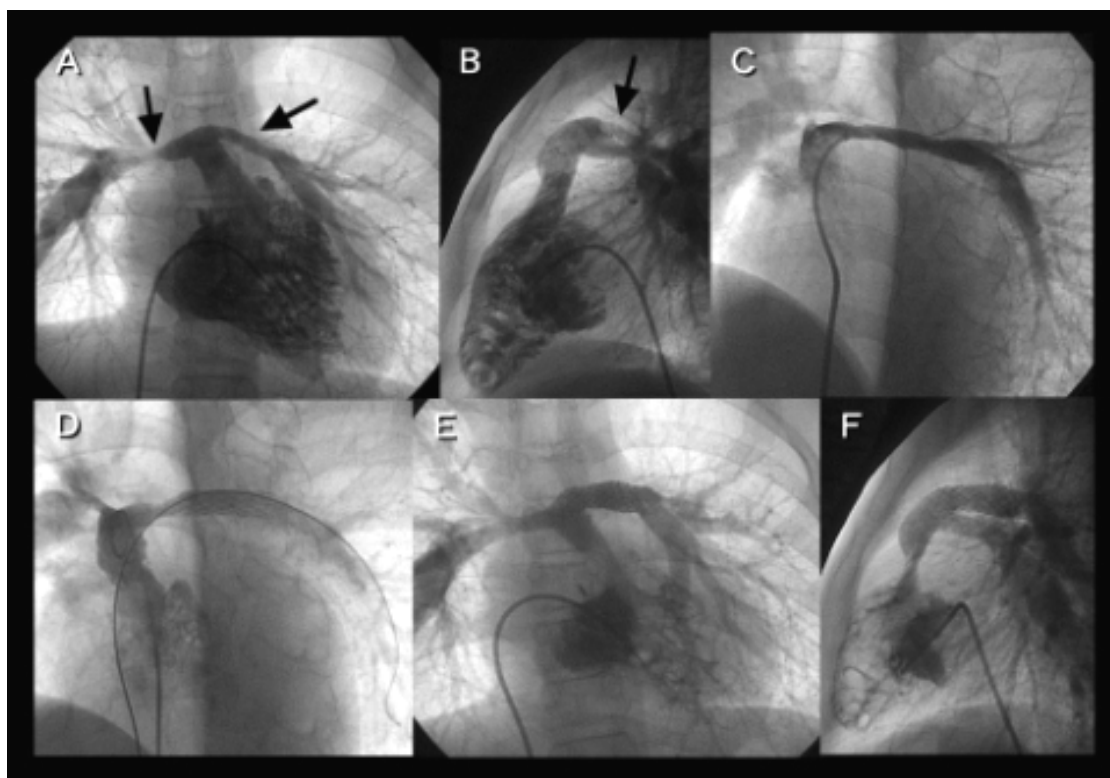


図6 ステンットの症例

- A：治療前の右室造影正面像。左肺動脈に長い狭窄部（➡）があり、右肺動脈にも狭窄部が存在した（➡）。
- B：治療前の右室造影側面像。左肺動脈の長い狭窄部がある（➡）。
- C：治療前の左肺動脈 LAO35° +CRA30° 像。この造影像から、使用するステントの最大径と長さ、個数が検討される。最小血管径は4mm、長さは35mmであった。
- D：ひとつ目のステント留置後 LAO35° +CRA30° 像。ステントは8mmに拡張され位置修正を行った。その後ふたつ目を留置し、最終的に12mmまで拡張された。
- E：右肺動脈は狭窄部と上葉の分岐が近いため、ステントの適応とはならずBDAが施行された。最終的な治療後の右室造影正面像。
- F：最終的な治療後の右室造影側面像。

ルによる閉鎖が報告されている。その後 PDA や心房中隔欠損 (ASD) に対して、傘型 (アンブレラ) の device による閉鎖が試みられている。現在のところ一般的に施行されている方法の多くは、コイルによる塞栓術である。コイルによる塞栓術の特徴は、手術創が残らない事、手術に較べて入院期間が短縮され、医療費の患者負担が軽減される点などがある。ただし、コイルが落下する危険性があり、異物を体内に長期間 (半永久的) 留めることの影響が心配される。しかし、現状では患者利益のほうが優位であると考えられている。本稿では、方法に特徴がある PDA に対するデタッチャブルコイルを用いた塞栓を紹介する。

Coil embolization for PDA

【概略】

動脈管用デタッチャブルコイルの開発に伴い、動脈管のコイル塞栓術は、開胸手術に比較して患者の肉体的、経済的、時間的負担を軽減できるため、ここ数年の間に急速に行われるようになった。特に、女児の症例に対しては、第一選択とする考え方もあるが、現状ではコイルの落下 (約 10%、うち 3%は回収不

能)、遺残短絡 (10%以下) の可能性、遺残短絡による溶血の危険性、左肺動脈狭窄、大動脈狭窄などのリスクを伴うことも事実である。また、術後に発熱を伴うこともある。

【適応】

動脈管の最狭部の径が 2.5mm 以下 (1 本のコイルで閉鎖する場合) を対象とする。ただし 2 本以上のコイルを使用すれば 2.5mm 以上も可能であり、5~6mm 径の PDA を閉鎖した報告も聞かれるが、難易度と危険率はあがる。

【施行時の技術的手順】

治療前

エコー所見を参考に材料を検討するが、PDA に対するアプローチが左心系 (下行大動脈) よりか、右心系 (肺動脈) よりかを確認してカテーテル等を準備する。一般的には、どちら側 (肺、大動脈) のコイルを微調整したいかによってアプローチが決定される。場合によっては両方向からコイルを留置する症例もあるので、症例をよく検討しておく必要がある。患者の胸厚を測定し、撮影位置の確認をした後メジャーを撮影する。DAO 造影後に PDA の計測を行い、同時に DAO 側の膨大部も計測する。コイルの大きさ、巻数、回収用器材とシース、カテーテルの適合性を確認する。

治療中

透視下で施行するため、透視線量とコイルのコントラストを十分考慮する。コイル留置部の短絡を確認するための造影を行う。造影回数と造影剤使用量、患者の体重との関係を把握しておく。造影の目的は PDA のみであるから、注入は注入総量を 1 秒程度の時間で注入する。遺残シャントの量は少ない場合が多いので、十分に検討する必要がある。必要があれば IVUS、または心エコー図検査を行う。

治療後

コイル留置後 10~15 分でコイルに血栓が付着して塞栓されるため、時間をおいて造影が行われる (図 7)。

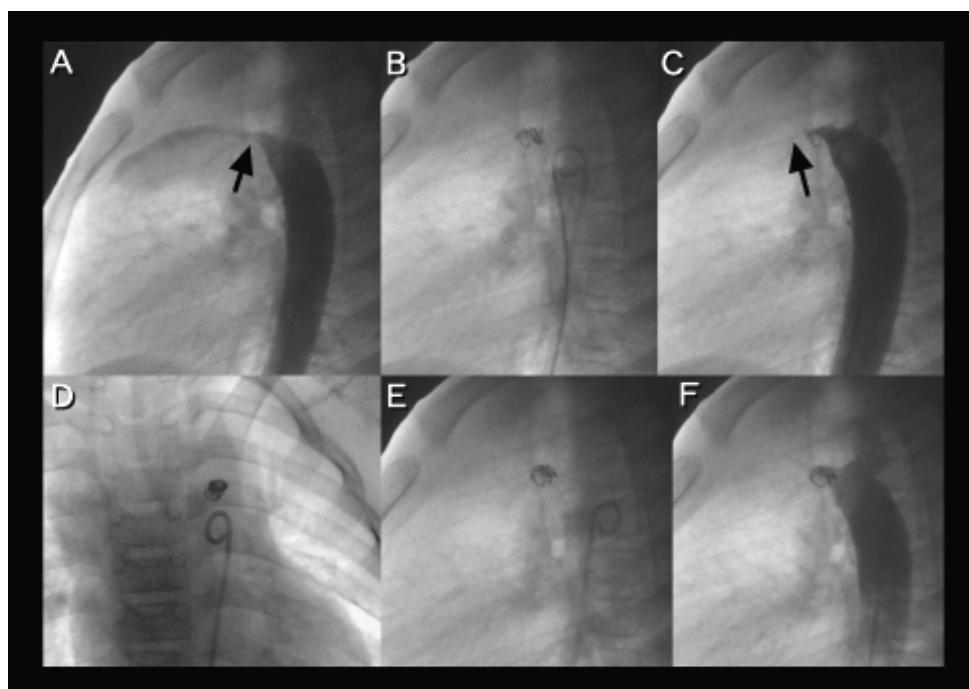


図 7 Coil embolization for PDA の症例

- A : 治療前の下行大動脈造影。PDA より肺動脈が造影されている (➡)。この症例はかなりジェット状の血流が激しい。
- B : 1 つ目のコイルが留置された状態。
- C : 1 つ目のコイルが留置された状態での下行大動脈造影。わずかなジェット状の遺残シャントが認められた (➡)。
- D : 2 つ目のコイル留置後の正面像。
- E : 2 つ目のコイル留置後の側面像。
- F : コイル留置後、約 15 分の下行大動脈造影。PDA はコイル 2 個で塞栓されている。

5. アブレーション

【概略】

経皮的にカテーテルを介して不整脈に関与している組織を焼灼し、難治性頻脈性不整脈を治療する方法であり、小児領域においても 1993 年に Van Hare ら⁹⁾ によって 15 症例に対する検討が報告されている。対象の多くは、先天性心疾患を伴う WPW 症候群であり、心内修復術の術前に施行されることが多いようであるが、本邦における報告はまだ少ないようである。

その他として、純型肺動脈閉鎖 (PA with intact IVS) に対して先端を研磨したガイドワイヤに通電することにより肺動脈弁を穿孔し、バルーンカテーテルによる弁成形を試みた報告がある。

6. おわりに

6.1 小児領域のインターベンション撮影技術の要点

- 1) 術前情報としてエコー所見などを参考に使用する診療材料 (バルーンカテーテル、コイル、ガイドワイヤ等) を予想しておく。
- 2) 正確な直前計測を行うためのメジャーの撮影を行う。
- 3) 使用する材料の正確な情報を認識している。
- 4) 透視・撮影条件の最適化を考慮する。
- 5) 治療をスムーズに行うための知識と経験を習得する。

6.2 小児領域における IVR の今後

現在、小児循環器領域の心臓カテーテルを施行している施設におけるインターベンションの比率は、およそ 15~20% と言われている。今後もしばらくの間は件数が増加すると考えられる。その要因としては、

- 1) 小児領域でのインターベンション手技の確立
 - 2) 複雑な外科手術の増加に伴う再狭窄や残存短絡の増加
 - 3) 小児領域での応用可能な New Device の登場
 - 4) デジタル・シネ装置の進歩と普及
- などを挙げることができよう。

いずれにしても、先天性心疾患の病態とその手術方法を理解し、何がわれわれに要求される事項なのかを考えてインターベンションに取り組むことが重要であり、本稿がその一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) Rashkind WJ, Miller WW : Creation of an atrial septal defect without thoracotomy ; A palliative approach to complete transposition of the great arteries, JAMA : 196 (11) : 991-992, (1966)
- 2) Semb BKH, Tjonneland S, Stake G, et al. : "Balloon valvulotomy" of congenital pulmonary valve stenosis with tricuspid valve insufficiency, Cardiac Radiol : 2 (4) : 239-241, (1979)
- 3) Kan JS, Mitchell SE, et al. : Percutaneous balloon valvuloplasty ; A new method for treating congenital pulmonary-valve stenosis, N Engl J Med : 307 (9) : 540-542, (1982)
- 4) Lababidi Z, Weinhaus L : Successful balloon valvuloplasty for neonatal critical aortic stenosis, Am Heart J : 112 (5) : 913-916, (1986)
- 5) Singer MI, Rowen M, Dorsey TJ : Transluminal aortic balloon angioplasty for the aorta in the newborn, Am

Heart J : 103 (1) : 131-132, (1982)

- 6) Hosking MC, Benson LN, Nakanishi T, et al. : Intravascular stent prosthesis for right ventricular outflow obstruction, J Am Coll Cardiol : 20 (2) : 373-380, (1992)
- 7) Porstmann W, Wierny L, Warnke H : The closure of the patent ductus arteriosus without thoractomy, Thoraxchirurgie Vaskulare Chirurgie : 15 (2) : 199-203, (1967)
- 8) Gomes AS, Benson L, George B, et al. : Management of pulmonary arteriovenous fistulas after superior vena cava-right pulmonary artery (Glenn) anastomosis, J Thorac Cardiovasc Surg : 87 (4) : 636-639, (1984)
- 9) Van Hare GF, Lesh MD, Stanger P : Radiofrequency catheter ablation of supraventricular arrhythmias in patients with congenital heart disease: results and technical considerations, J Am Coll Cardiol : 22 (3) : 883-890, (1993)