

## ■ 総 説 ■

## 動脈管のコイル塞栓術：これから始める人のために

工藤 嘉公

## How to Close Small Patent Ductus Arteriosus Using Coils: For Young Beginner

Yoshiyuki Kudo

doi: 10.20599/jpic.1.53

■ 要 約 ■ 動脈管開存症（PDA）コイル塞栓術は、症例が多く小児循環器医が行うカテーテル治療として重要な手技の一つである。Amplatzer duct occluderの登場によって、コイルの役割は2mm未満のPDAとなった。PDAは盲端の血管ではないので、コイル脱落のリスクやコイルによる周囲の大血管への狭窄のリスクなどを考慮すべきで繊細な手技である。4FrカテーテルをPDAに通過させ、Flipper detachable coil（Cook社）を肺動脈側に1巻弱、大動脈側に残りを留置するのが典型的な方法である。側面像の下行大動脈造影でPDA形態を計測し最狭窄部の2倍以上のループ径のコイルを選択し、PDA形態によって大動脈側からや肺動脈から留置する。PDAコイル閉鎖術を始めたい小児循環器医に知ってほしい基本的な手技の手順と合併症予防や発生時の対処なども含め解説する。

■ Abstract ■ Coil occlusion of patent ductus arteriosus (PDA) is the one of the common procedures that has been performed by pediatric cardiologists. Since Amplatzer Duct Occluder is available in Japan, coil occlusion is indicated only PDA with <2mm of diameter. Typically, using 4Fr catheter, Flipper detachable coil is placed with <1 loop in pulmonary artery and the remaining part in the aortic ampulla. Based on descending aortography in lateral projection, the size of PDA is measured. The loop size of coil is chosen as loop diameter >2 times of the minimum diameter of PDA. Coil is deployed either from aorta or from pulmonary artery depending on the anatomy of PDA. Because PDA connects pulmonary artery and aorta, coil may dislodge or cause obstruction of the adjacent vessels. In this article, I describe basic techniques of coil placement, possible complication, and the way to prevent complication for young beginner.

■ Key words ■ patent ductus arteriosus, coil embolization, catheter intervention

Amplatzer Duct Occluder (ADO) が2009年に国内で保険償還となり、コイルを用いた動脈管開存症（PDA）閉鎖の対象は2mm未満のPDAとなった。昔は大きなPDAに対してもコイルを複数個用いて閉鎖していたが、手技の困難さや大血管へのデバイスの飛び出しなど、ADOの方が有利な点が多く使用されなくなった<sup>1)</sup>。

PDAのデバイス閉鎖の症例数は1998年以降年間200例以上が施行されてきた<sup>2)</sup>。2009年にADOが登場した以降も、コイル塞栓は未だ200例近く施行されている。1990年の報告では対象としたPDA最小径の中央値は2.0mmであり成功率は95%と高いものであった。現在コイル塞栓の対象としては、より細かいPDAを対象としているので、成功率はほぼ100%に近いと考えられる。

PDAのタイプにはA型からE型までである。詳細は2012

年に作成された「先天性および小児期発症心疾患に対するカテーテル治療の適応ガイドライン」<sup>2)</sup>に譲るが、肺動脈側に最狭窄部がある円錐型のA型が約65%を占める。ここではA型に対する治療を主に解説する。

さて、使用するコイルはFlipper PDA detachable coil（Cook社製）が一般的である（Fig. 1）。これは4Frのカテーテルに対応しており、螺旋形態に還元する形状記憶製品である。以前は大きなPDA用にGianturco coil（Cook社製）が使用されていたが<sup>3)</sup>、ADOの登場により使用頻度が減り製造は終了した。

Flipper coilの構造をFig. 2に示す。マンドリル（芯棒）が入っていない状態であれば、コイルはカテーテルから出てらせん状に巻くように形状記憶されている。マンドリルを入れた状態であれば、コイルは直線状に伸びた形態にな

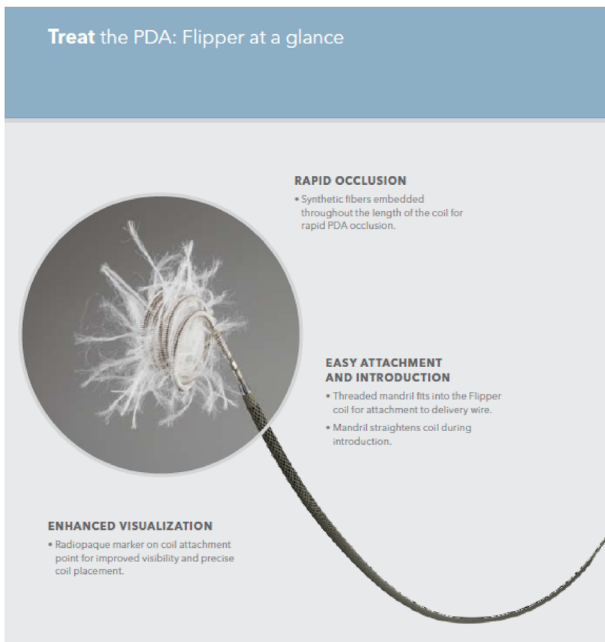


Fig. 1 none

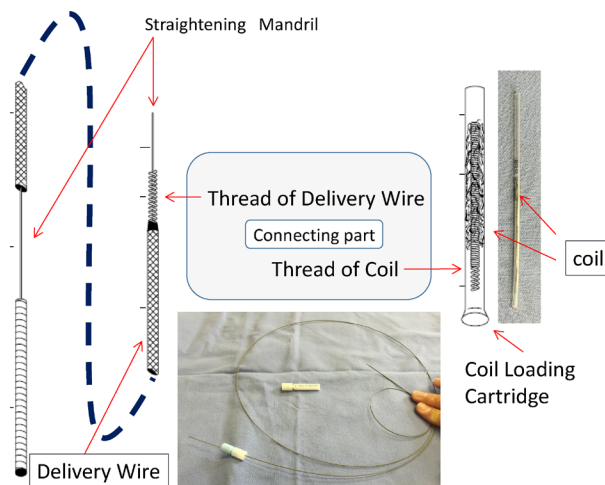


Fig. 2 Assembly of coil delivery system

るので、その状態でカテーテル内を通過させ目標の部位へ運ぶことになる。

Detachableの文字どおりコイルは着脱式となっている。Delivery wireは約1mm径、長さ150cmで先端がらせん状になっており、コイルの後端のらせん状になった部分と接続できる。ローダー内でコイルを出したり引いたりして安定しているか確認する。

コイルはPDAの大動脈側から留置する方法と肺動脈側から留置する方法とがある。動脈管の血流方向に逆らわない点や、A型PDAは大動脈側が大きく通過させやすい点などから、大動脈側から留置する方法が容易なことが多い。肺動脈側からの留意については後述する。

Table 1

- ①下行大動脈を造影しPDA径を計測しコイルを選択する。
- ②診断カテーテル検査を行う。
- ③4Frカテーテルとガイドワイヤーを用いてPDAを通過させる。
- ④PDAを介して肺動脈側へコイルを通過させる。
- ⑤コイルを肺動脈側で0.5~1巻きを巻く。
- ⑥残りのコイルを大動脈側で巻く。
- ⑦Delivery wireから外す。
- ⑧留置後の下行大動脈造影を行う。

PDAコイル留置の手順

実際の手順としては、①~⑧の工程が必要である。(Table 1)

①下行大動脈を造影し、PDA径を計測しコイルを選択する

4Fr Pigtailを用いる。撮影の角度はLAT (90度)+RAO30度が基本となる。造影カテーテルの至適な位置はPDAが想定させる高さよりやや低めになる。高いと大動脈弓が造影されPDAと重なってしまい計測が困難になってしまう。(Fig. 3) また、造影は診断カテより先に行うべきである。診断カテ中にPDAへの誤挿入などがあると、刺激によりPDAが攣縮を起こしてしまうことがある。その後でPDAの造影を行うと過少評価することになり、コイルの脱落につながる。

コイルの選択については、PDAの最狭窄部の2倍以上のループ径のコイルを選択する。Flipperコイルのループ径の種類として3.0, 5.0, 6.5, 8.0mmがある。現在、最狭窄部径2mm未満の症例がコイル塞栓術の適応になるので、PDA閉鎖には3.0mmと5.0mmが主に使用される。これらのコイルは3巻きと5巻きと2種類があるが、巻き数は直接コイルの長さに関係する。長いPDAには長いコイルが当然必要で、長くないPDAであっても Ampulla (膨大部) にコイルを詰めることで塞栓力が増す。しかし長すぎると大動脈側へ飛び出した形態となり大動脈縮窄になってしまう。

②診断カテーテル検査を行う

前述のガイドラインにPDAカテーテル治療の基準が示されている (Table 2)。手術が必要な他の心疾患の有無、肺高血圧の有無などが確認すべき点となる。後述の左肺動脈の狭窄についても評価する。

③4Frカテーテルとガイドワイヤーを用いてPDAを通過させる

PDAを通過させるカテの種類は、マルチパーパス、Judkins Right (JR) カテ、コブラカテを使用することが多く、ガイドワイヤーはラジフォーカスワイヤーのアンクル型を使用することが多い。造影でPDAの形態を確認すれば、比較的容易にPDAを通過させることはできる。マルチ

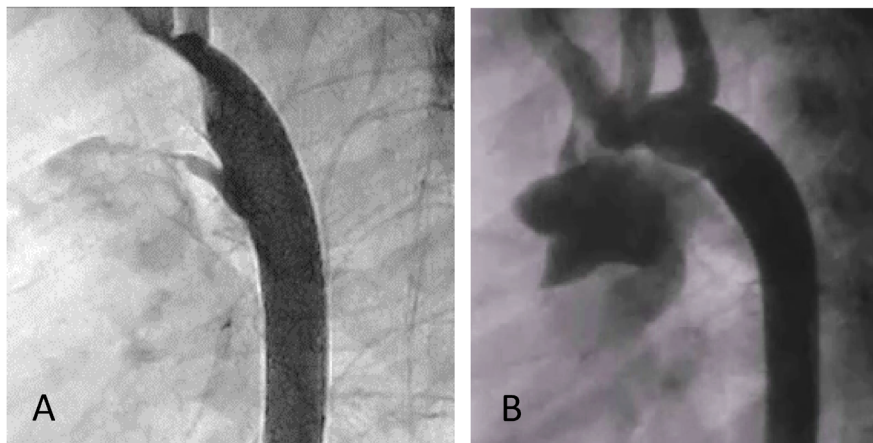


Fig. 3 Catheter position and aortography

A: Optimum level of the tip of catheter in aortography should be somewhat lower than expected orifice of ductus arteriosus. B: In case the tip of the catheter is higher than the orifice of ductus arteriosus, aortic arch may obscure the profile of ductus arteriosus.

Table 2 (文献2より)

クラスI (レベルB)
1. 左右短絡を有する中等大から大きい動脈管で、以下の条件を満たす場合、
(1) ほかに外科手術を必要とする心血管系合併症を有さない
(2) 解剖、患者の体格がカテーテル治療に適している
(3) 多呼吸、体重増加不良などの症状がある
(4) 胸部X線、心エコー検査などで肺血流増加所見、左心系の容量負荷所見を認める場合
クラスIIa (レベルC)
1. 左心系の容量負荷はなく、動脈管は小さいが、聴診で動脈管による心雑音が聴取される場合
クラスIIb
1. 動脈管の短絡血流は肺血管閉塞性病変のため両方向性であるが、酸素負荷、肺血管拡張薬により血管抵抗が減少、左右方向になる場合
2. 左右短絡を有する小さな動脈管で、心拡大なく、動脈管による心雑音を聴取しないが、心エコー検査で乱流シグナルを認め、動脈管を短絡する加速血流が検出される場合
クラスIII
1. 動脈管は肺高血圧、肺血管閉塞性病変のため両方向性が右左方向で、酸素負荷、肺血管拡張薬に反応しない場合

パーパスは先端の曲がりか緩いので肺動脈からPDAを通すのに使用するが、大動脈側からでも使用できる。JRカテは先端の曲がりか3.0~4.0のように先端にきつく曲がりがない方がよい。コブラカテはAmpulla内でコイルを巻きやすいので著者は頻用している。

#### ④PDAを介して肺動脈側へコイルを通過させる

原則はカテーテルを肺動脈まで通過させて、それからコイルを出す。ただし、PDA径が1mm程度と細い場合は、外径1.3mmの4Frカテが通過しない場合があり、その際は

PDAの大動脈側の入り口にカテを差し込むだけの状態で保持し、外径1mmのコイルのみを通過させる。そのとき、当然マンドリンはコイル先端まで入れてコイルを直線化して通過させる。

#### ⑤コイルを肺動脈側で0.5~1巻きを巻く

側面像での気管支透亮像との関係を目印に、造影したPDA最狭窄部を記憶しておいて、これを超えたところで肺動脈を通過したと判断する。この気管支透亮像との位置関係はコイル留置操作時にも必要なのでしっかりと記憶すべきものである。不安な場合は一旦ガイドワイヤーを抜いて圧や酸素飽和度を測定したり、造影して確認したりすることもできる。肺動脈にあるコイルは1巻き程度カテから出し、マンドリルを抜くことでコイルはらせん状に巻く。肺動脈で巻かせたコイルを、それ以上出さないようにコイルとカテを一緒に大動脈側へ引いてくると巻いたコイルが肺動脈壁にひっかかる。強く引くと巻いたコイルが大動脈側へ抜けてしまうので注意する。

#### ⑥残りのコイルを大動脈側で巻く

残りのコイルを巻かせる方法は、Ampulla内に押し出す方法と一旦大動脈内で巻かせたコイルをAmpulla内に押し込む方法とある。Ampulla内で押し出した方がコイルにかかる負荷が少なくまとまりがよい印象がある。まとまりがよいと塞栓力が強いことになる。その手技においてコブラカテは有利で、マルチパーパスやJRカテを使用するとAmpullaで巻かせたいコイルが肺動脈側へ抜けてしまうことが多いが、コブラカテだと多く曲がっている分だけAmpulla壁へ向けてコイルを押し出すことになり肺動脈へ抜けにくい (Fig. 4)。これに対して、一旦大動脈内で巻かせたコイルを押し込む方法は操作が簡単であるが、大動脈の血流でコイルが伸びたり、コイルが大動脈側へ抜けたりすることもしばしばある。

⑦ Delivery wireから外す

コイルが落下しない形態をしているかどうかを確認する。肺動脈側にちゃんと0.5~1巻出ているかを気管支透亮像とPDA造影の記憶と比較して確認する。しかし肺動脈側で巻かせるコイルの量が多いと左肺動脈狭窄のリスクとなる。次に大動脈側のコイルの形態は、外したときにコイルが血流で脱落しない状態に置いているかを見る。最初のPDAの造影が正確に評価されていれば、最狭窄部の2倍のループ径のコイルを選択し、最狭窄部の大動脈側にコイルが出ていれば脱落することはほぼないが、大動脈側へ十分な長さのコイルを出すことで脱落しにくくなる。よって、この点においても肺動脈側のコイルは少ない方が有利である。逆に大動脈側へ飛び出しすぎると大動脈縮窄になってしまう。そうならないようにできるだけAmpullaへコイルは押し込む形態にする。それはコイルが密に絡むことにつながり塞栓力の増加になる。

よい形態に置けたことが確認できたら、デリバリーワイヤーを付属のデリバリー用のトルカーを使用し反時計周りに回し続けると、コイルは外れる。外すときは、コイル本体と接続部がカテーテル内から出ていること、マンドリルが十分に抜かれていることを確認しておく。外れたDelivery wireの先端が血管を傷つけることがあるので、速やかにカテ内へ引き込むようにする。

⑧ 留置後の下行大動脈造影を行う

コイルを留置していたカテを抜き、4Fr Pigtailカテーテルを挿入し、最初の造影と同じ位置で造影する。造影剤を出す勢いでPigtailカテーテルの先端が伸びてしまうことがあり、それがコイルにからまると危険なので、流量を注意しPigtailの巻いている方を背側に向けるようにする。

コイルについているファイバーに血栓形成が起こることによって塞栓力が上がるので、PDAのリーク評価は、留置後5~10分程度待つて造影することが多い。肺動脈側にフワッと漏れる程度のリークであれば徐々に閉鎖していくので問

題ないが、加速しているリークが残る場合は追加のコイル留置を考慮する。放置すると溶血性貧血を起こすリスクがある。

合併症について

PDAコイル留置術の合併症としてはPDAの損傷、コイルの脱落、リークによる溶血性貧血、左肺動脈狭窄や大動脈縮窄が挙げられる。

PDAは脆弱な血管でありガイドワイヤーでの穿孔のリスクがある、通過させる際はカテやガイドワイヤーに抵抗がないことを確認しながら行う。血管外へ穿孔しまった場合は、慌ててカテやガイドワイヤーは抜かず、心臓血管外科をコールし出血性ショックへの備えを行う。ガイドワイヤーくらいの穿孔であれば、もう1本シース確保しPDAにコイルを入れてしまうことで、そのコイルが止血剤の役割をはたして手術を回避できるかもしれない。

コイルが脱落した場合は肺動脈内で回収する。コイルにはファイバーが付いているので心内での操作は弁や腱索の損傷につながるので絶対に行ってはいけない。回収するデバイスとして異物除去カテーテルがあり、アングルスネアー型と鉗子型の2種類が使用される (Fig. 5)。肺動脈内で2方向のシネを見ながら回収することになる。コイルがむき出しのままであると心内構造物を損傷するので、6Fr ロングシース (内径2mm) などに挿んだコイルを二つ折りにしてカテ内へ回収する。また、回収操作に時間がかかり過ぎる症例では、大きな領域の肺梗塞を起こさない末梢肺動脈へコイルを移動・放置するという選択肢も考えるべきである。

コイル後のPDAのリークは、量が多いと加速された血液がコイルやファイバーにぶつかることで溶血が起きる。放置すると溶血による腎障害を起こすのでリークが消失するまでコイルの追加留置を行う必要がある。よってコイル留置後は検尿のフォローを行う。

PDAコイルが脱落しないためには、最狭窄部の肺動脈

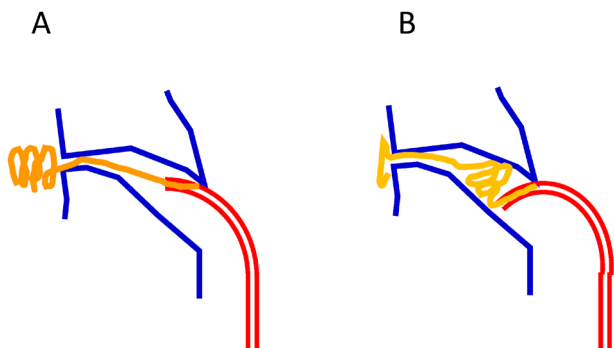


Fig. 4 Delivery catheters  
A: When you use multi-purpose catheter to deliver a coil, a coil may be pushed out into the pulmonary artery. B: While you use Cobra-shaped catheter to deliver a coil, a coil may easily conform to the aortic ampulla.

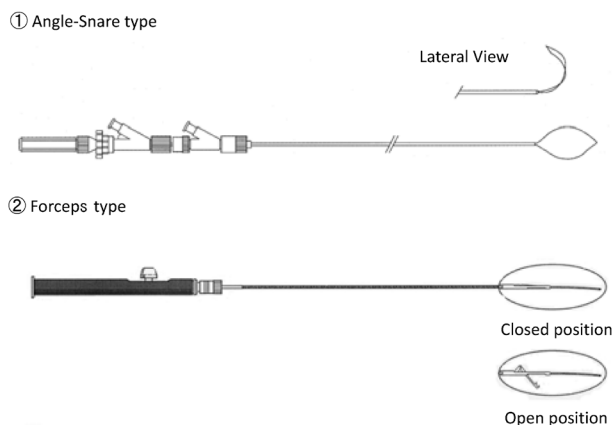


Fig. 5 Retrieval catheters

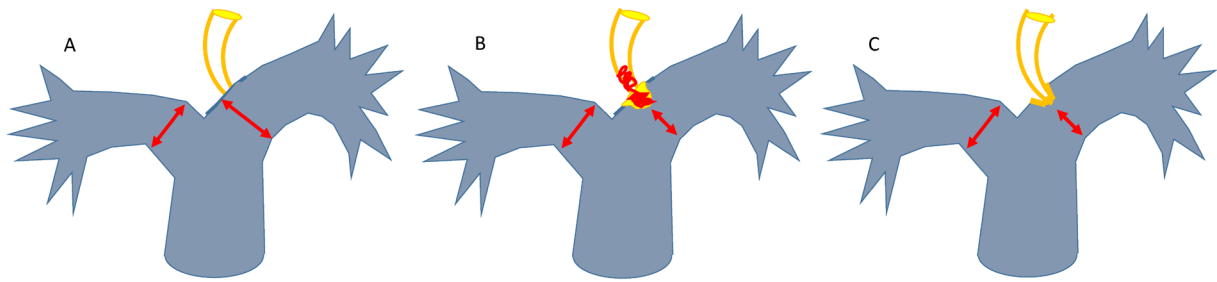


Fig. 6 Mechanisms of left pulmonary artery stenosis

A: normal pulmonary artery anatomy. B: protrusion of coil may result in left pulmonary artery stenosis. C: retraction of ductal tissue may result in left pulmonary artery stenosis.

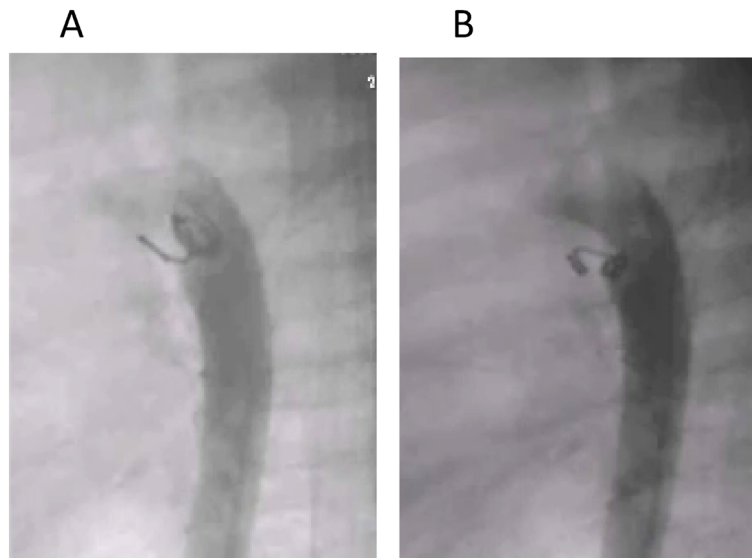


Fig. 7 A: A coil with 5 mm in diameter and 3 loops might have caused aortic obstruction. B: Instead, a coil with 3 mm in diameter and 5 loops can fit in the aortic ampulla without protrusion.

側と大動脈側の両方にコイルを出すことになる。頻度の多いA型のPDAの場合肺動脈側に出すコイルは正常な肺動脈内へ飛び出す形態となる (Fig. 6)。PDAの症例はもともと左肺動脈分岐部が狭い症例も存在するので、左肺動脈に圧較差がないか確認し、必要あれば肺動脈造影も行っておく。したがって肺動脈に出すコイルは少ない方が望ましく0.5~1巻が理想である。ただし成人体型の症例では肺動脈血管径も大きいので1.5~2巻までは許容しうる。左肺動脈狭窄は成長に伴い増悪することがあるので、必要があればフォローアップ中に肺血流シンチを施行し2:8以上のアンバランスであれば治療が必要となる。一方、大動脈側に出すコイルはA型であれば Ampulla が存在するので飛び出しにくい。しかし、他の形態のPDAでは飛び出すこともあるので、その場合は大動脈側のコイル留置をやり直すかコイルの種類を変更する。大動脈への飛び出しが問題となりコイルを変更した症例を示す (Fig. 6)。5mm 3巻コイルから3mm 5巻コイルへ変更することで大動脈側の飛び出しは少なくなった。

### 肺動脈側からのコイル留置

PDAコイルは肺動脈側からでも留置でき、その方がコイルの形態は整いやすく塞栓力が強いことが多い。ただし、PDAを通過させることが難しいため細いPDAは大動脈側から、少し大きめのPDAは肺動脈側から留置することが多い。肺動脈側から通過させるにはマルチパーパスカテと先端ストレートのガイドワイヤーを用いる。困難な場合は大動脈側からもう1本ガイドワイヤーをPDAに通しておく、それを目標にすることで通過させやすくなる。留置の手順は大動脈側とほぼ同様で、最初に大動脈側に4.5巻出しカテーテルごと肺動脈側に0.5巻分引き込んで巻かせる。留置後にリークが残る場合の追加コイルは大動脈側から留置することが多い。

### 操作上で注意すること

コイルの脱落や破損を防ぐにはデバイスの仕組みを理解する必要がある。コイルと Delivery wire との連結部は、コイルの後端と Delivery wire の先端がそれぞれ螺旋状であ

り、それがスクリューのように絡むことで連結されているだけなので、強く引きすぎるとその螺旋形状が伸びて破損してしまう。したがって一度出したコイルをカテ内へ再収納するときは、連結部の負荷を軽減するためにマンドリルをこまめに挿入してカテ内に入ったコイルを直線形態に近づけて抵抗を減らすことが必要である。また何度も血管内に出したりカテ内へ収納する操作を行った場合、ファイバーや連結部に血栓が形成してしまっていたり、連結部が緩んでしまっていたりするので、一度体外にコイルを取り出して確認し血栓を除去する必要がある。

最後にPDAコイル閉鎖術は低侵襲であり、小児循環器医が治療を完了できる有意義な手技である<sup>4)</sup>。合併症の頻度は低いものの重大なものも含まれるので、起こさないような繊細な手技が必要である。また起こった場合には対処できる環境で行うべきである。幸い著者はよい指導者に恵まれ経験を積ませていただいた。この原稿を書く機会を頂いたこととお礼を言いたい。

### 利益相反

日本Pediatric Interventional Cardiology学会の定める利益相反に関する開示事項はありません。

本論文の内容は第27回日本Pediatric Interventional Cardiology学会の教育講演の内容をもとに一部加筆したものです。

### 引用文献

- 1) Masura J, Walsh KP, Thanopoulos B, et al: Catheter closure of moderate- to large- size patent ductus arteriosus using the new Amplatzer dust occlude: Immediate and short-term results. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 878-882
- 2) 先天性および小児期発症心疾患に対するカテーテル治療の適応ガイドライン. *日小児循環器会誌* 2012; 28: s13-s15
- 3) Grifka RG, et al: Transcatheter closure of large PDA using 0.052" Gianturco coils: controlled delivery using a bioptome catheter through a 4 French sheath. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000; 49: 301-306
- 4) Cambier PA, Kirby WC, Wortham DC, et al: Percutaneous closure of the small (less than 2.5 mm) patent ductus arteriosus using coil embolization. *Am J Cardiol* 1992; 69: 825-826

販売名:VT PTAカテーテル 医療器承認番号:21100BZZ00509A01

PTA/バルーンカテーテル

# Gokū

カーブタイプ

ストレートタイプ

販売名:TMP PED/バルーンカテーテル 医療器承認番号:22600BZX00334000

# TMP PED

Balloon Catheter  
VALVULOPLASTY CATHETER

製造販売業者



株式会社  
東海メディカルプロダクツ

本社 〒486-0808 愛知県春日井市田楽町字更屋敷1485番地  
TEL 0568-81-7954 FAX 0568-81-7785  
URL <http://www.tokaimedpro.co.jp>