

Review

【特集：第 18 回教育セミナー 〈カテーテル治療〉】

動脈管に対するコイル塞栓術の TIPS

鎌田 政博 *

たかの橋中央病院小児循環器内科

*元広島市民病院循環器小児科

Tips for the Coil Occlusion of Patent Ductus Arteriosus

Masahiro Kamada*

Department of Pediatric Cardiology, Takanobashi Central Hospital, Hiroshima, Japan

*Former Department of Pediatric Cardiology, Hiroshima City Hiroshima Citizen's Hospital, Hiroshima Japan

In Japan, Amplatzer™ duct occluder I (ADO I), Amplatzer™ duct occluder II (ADO II), and Amplatzer Piccolo occluder™ (Piccolo) were included in insurance in 2009, 2019, and 2020 respectively. Since then, the occlusion of patent ductus arteriosus (PDA) using coils has become less common. However, knowledge and information about the anatomy and pathophysiology of PDA are very important for catheter interventions for PDA using other devices. Moreover, experiences of PDA coil occlusion have provided information related to catheter interventions using coils for other vessels. We describe our knowledge and experience and provide tips to improve PDA coil occlusion, focusing on 1) indications for PDA coil occlusion in the device era, 2) anatomy and pathophysiology of PDA, 3) performances of coils when deployed in the PDA, 4) complications of PDA coil occlusion, and 5) procedures useful for the closure of moderate or severe PDA.

Keywords: patent ductus arteriosus (PDA), cross-section of the PDA, tips for PDA coil occlusion, complications

わが国においても 2009 年以降, Amplatzer™ duct occluder I [Abbott 社; Chicago, IL] を始めとする各種デバイスが保険収載となり, コイルを用いた動脈管 (patent ductus arteriosus: PDA) 閉鎖術の件数は減少した。さらに最近では Flipper PDA coil (F-coil) [Cook 社; Turlock, CA] も製造中止となり, PDA 閉鎖栓としてのコイルの役割はますます減少していかざるを得ないだろう。しかし, 長い間 F-coil を使用して培った経験や知識, すなわち PDA の形態や特性, 診断・読影上の注意, コイル塞栓術の適応や手技の留意点, 合併症などは, 他のデバイスを使用しての PDA 閉鎖術, 様々な血管系のコイル塞栓術にも有用な情報を提供してくれるだろう。また F-coil の供給が途絶えた後にも, 他のコイルを使用して小さな動脈管を閉鎖することも考えられる。そのような時代の中で, 今後のカテーテル治療にも役立つと思われる知識・情報について, 広島市民病院・循環器小児科時代に得た経験をもとにまとめてみたい。

はじめに

わが国においても, Amplatzer™ duct occluder I (ADO 1), Amplatzer™ duct occluder II (ADO 2), Amplatzer™ Piccolo® occluder (Piccolo) [以上 Abbott

社; Chicago, IL] が, それぞれ 2009 年, 2019 年, 2020 年に保険収載となり, コイルを用いた動脈管 (patent ductus arteriosus: PDA) 閉鎖術の件数は減少した。さらに最近では Flipper® PDA coil (F-coil) [Cook 社; Turlock, CA] も入手困難になり, 今から

この術式の話をして時代遅れではないだろうかとの思いがないわけではない。しかし、長い間 F-coil を使用して培った経験や知識（PDA の形態や特性、診断・読影上の注意、コイルを留置する際の適応や手技の留意点、合併症）は、他のデバイスを使用しての PDA 閉鎖術、様々な血管系のコイル塞栓術にも有用な情報を提供してくれるだろう。また F-coil の供給が途絶えた後にも、他のコイルを使用して小さな動脈管を閉鎖することも考えられる。そのような時代の中で、今後のカテーテル治療にも役立つと思われる知識・情報について、広島市民病院・循環器小児科時代に得た経験をもとにまとめてみたい。

現状でどのような PDA 症例にコイルを使用しているか？

- ① ADO の認定施設か否かにかかわらず、コイル 1 個で閉鎖可能と考えられた場合
- ②デバイスでは大動脈や肺動脈へのディスク突出が危惧された場合：Piccolo 導入により解決された点が少なくない。
- ③ ADO や Piccolo の認定施設（以下認定施設）ではないが、コイルを用いての PDA 閉鎖経験を有する術者がいる場合、などが考えられる。

広島市民病院は ADO, Piccolo を用いた PDA 治療の認定施設であるが、コイルの使用も少なくない。倫理委員会を通して PDA 閉鎖術に Amplatzer vascular plug II (AVP2：適応外使用) [Abbott 社；Chicago, IL] を使用し始めた 2015 年 11 月より 2021 年 6 月までの約 5 年半に、広島市民病院においてカテーテル治療を行った PDA 91 例をデバイス別に分類してみると、AVP2 (33.0%), ADO 1 (23.1%), ADO 2 (8.8%), Piccolo (1.1%) で、コイルで閉鎖した症例数が 34.1% と最も多く、コイルはなお現役のデバイスとした使用されていた。なお、われわれの経験では PDA 最小径 1.7 mm 以上で複数個のコイルを使用する可能性が高く、PDA 最小径 1.6 mm 以下の閉鎖術にコイルを使用している。その結果、上記②の理由でコイルを使用した月齢 2 (体重 3.9 kg) の乳児を含めた 2 例 (6.5%) 以外は、1 個のコイルで閉鎖可能であった。

PDA の特性

1. PDA 径は心周期の中で変化する

PDA 径は心周期の中で変化し収縮期に最大化する

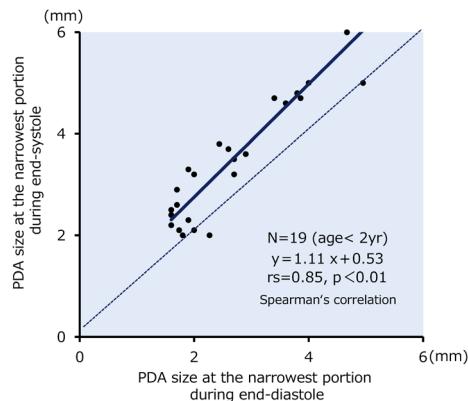


Fig. 1 PDA sizes at the narrowest portion change during cardiac cycles¹⁾

PDA sizes were measured in the ductal view by echocardiography.

が、収縮期には造影剤が wash out されるため PDA 径の計測は難しい。収縮期の PDA 径をみるためには、エコーによる観察、バルーンで閉塞した上での大動脈造影などが考えられるが、特に 2 歳未満の症例では収縮期に拡張期の 1.3 倍前後にまで拡大する可能性があることを知っておく (Fig. 1)。

2. PDA の評価は側面のみでよいか？

PDA の形態・サイズ測定は、通常側面像か左前斜位で判定される。しかし、CT で PDA の長軸方向に垂直な断面をみると、正円ではなく橢円形で横に長い (Fig. 2)。したがって、縦径が同じでも横径によって脱落、遺残短絡、必要なコイルの本数は違ってくる。われわれはコイル閉鎖に限らず、乳児期に PDA のデバイス閉鎖が必要となる場合、CT 検査による PDA 断面チェックをルーチンにしている。

3. PDA はカテーテル検査時に攀縮する

心エコー検査で経時的に PDA 径を観察していると、PDA 径が変化する症例、自然閉鎖したと診断した後に再開通する症例に遭遇する²⁾。特に乳児例ではカテーテルやガイドワイヤーで触ることにより、PDA は攀縮し得る。筆者らはカテーテルやガイドワイヤーで触れた後に、PDA が著明に攀縮した 2 歳児の症例を経験している³⁾。コイルの脱落、遺残短絡、必要なコイルの本数に影響するため、特に乳児例で注意する。カテーテル前の心エコー検査結果との比較、PDA にカテーテルやワイヤーを通過させる前に大動脈造影を行うなどの工夫が必要である。

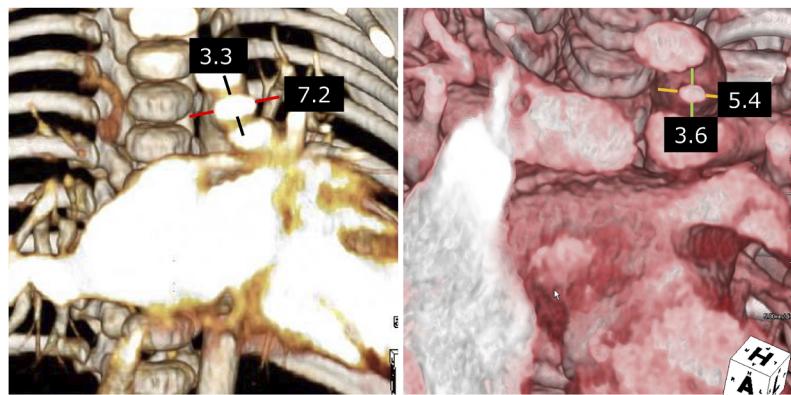


Fig. 2 Cross section of the PDA at the narrowest portion

2-1) Type C PDA of 1 month old girl showed that the cross section of the PDA is ovale shaped with the longer diameter 7.2mm and shorter one 3.3mm. 2-2) Type C PDA of 1 year old girl. The cross section of the PDA is ovale shaped and the longer diameter is 5.4 mm and shorter one 3.6 mm.

PDA, patent ductus arteriosus

4. 特殊な PDA に対するカテーテル治療の適否

血管輪の形成に PDA が関係している場合、コイル留置により症状が顕著化または悪化する可能性がある。PDA は切離する必要があり、コイル留置は禁忌である。また例えば左椎骨動脈の近位側で左鎖骨下動脈が左腕頭動脈と離断、PDA を介して左鎖骨下動脈が肺動脈と繋がっている右大動脈弓・左鎖骨下動脈孤立起始では、PDA の存在が subclavian steal を増悪させる可能性があり、PDA 閉鎖が望まれる。肺動脈側からのアプローチが難しい場合、左上腕動脈から動脈管にアプローチする必要がある。上腕動脈を閉鎖させないように注意を払うとともに、左上腕動脈からのアプローチが可能となる年齢まで待機可能か検討を要する。

5. PDA はコイル留置に際して伸展・拡張する

特に乳児期 PDA では予想外に多くのコイルが必要になる可能性があることを知っておく。最小径 3.7 mm の動脈管を閉鎖するのに 7 個のコイルを必要とした症例（月齢 9）も経験している。

6. 高齢者の PDA

高齢者の大動脈は動脈硬化により拡大・延長し、側面像で PDA と大動脈弓が重なるように位置することも少なくない。したがって、太い大動脈の中で造影剤はうすまり、大動脈弓と重なって PDA 像は不鮮明になる。動脈管内造影による評価もある程度は有効だが、CT の有用性は強調されるべきであろう。

コイルの特性・特徴

Detachable coil の回転方向：a) F-coil の遠位側を例えば 2 卷分巻いた状態で PDA に固定させ、残りのコイルループを伸ばしたままで（マンドリルを残したものまで）、スクリューを離脱方向に十分回してマンドリルを引き抜くと、コイルは本来の巻き方を保持しながら縮んでゆく。一方、b) F-coil を同様に PDA に固定させ、スクリューをはずす前に近位側コイルのマンドリルを引き抜き、これを PDA に向かって押し付けると、近位側コイルのループ回転が逆向きになり、遠位側のコイルループ間に嵌まり込む（Fig. 3）⁴⁾。結果、コイルはダンゴ状に重なり、肺動脈内に突出する。太い PDA に a) の離脱方法を採用すると、離脱時の反動と血流でコイルが流れ PA 側の巻き数が過剰になりやすい。一方、乳児に b) の離脱方法を採用すると、大動脈内にコイルが過剰突出する可能性があるため、ともに注意が必要である。

合併症を知る

1. コイル纖維の絡みと unravel

多くのコイルには塞栓力増大のため化学纖維が縫着されている。Gianturco® coil [Cook 社；Turlock, CA] や F-coil などではコイル自体が細いコイルで形成されており、纖維が細いコイルの隙間に絡みつくことがある⁵⁾。その場合、いったん出したコイルをカテーテル内に再収納しようとしても、纖維が絡んで難しい。無理に引き戻そうとすれば unravel（ほどけること）が誘発される。Unravel した場合、伸びきった

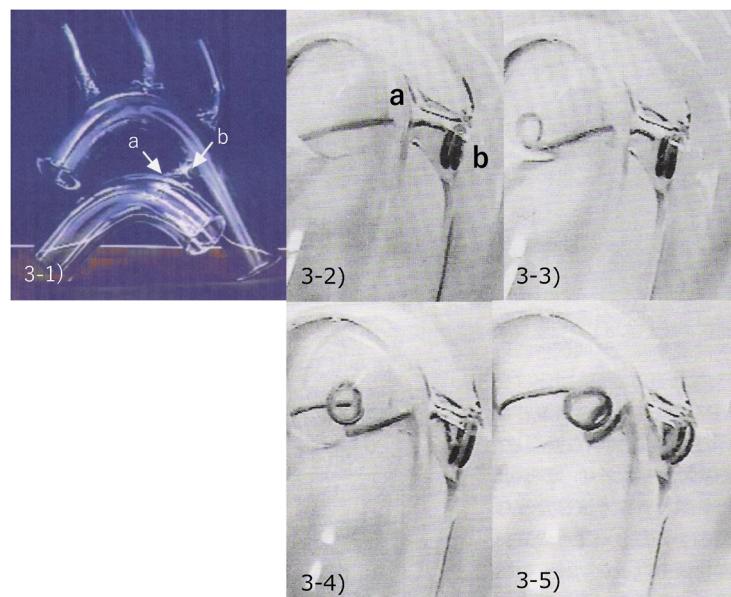


Fig. 3 Performance of Flipper® coil (F-coil) in the PDA glass model

3-1) PDA glass model. 3-2) Two F-coil loops were fixed in the aortic end of PDA. 3-3, 4, 5) When the mandril was pulled back and the coil loops were pushed forward (3-3), the proximal coil loop moved forward and wedged between the 2 loops sitting more distally (3-4). This movement made bulky lump of coil loops which protruded into the pulmonary artery (3-5).

Ao, aorta; PA, pulmonary artery; PDA, patent ductus arteriosus

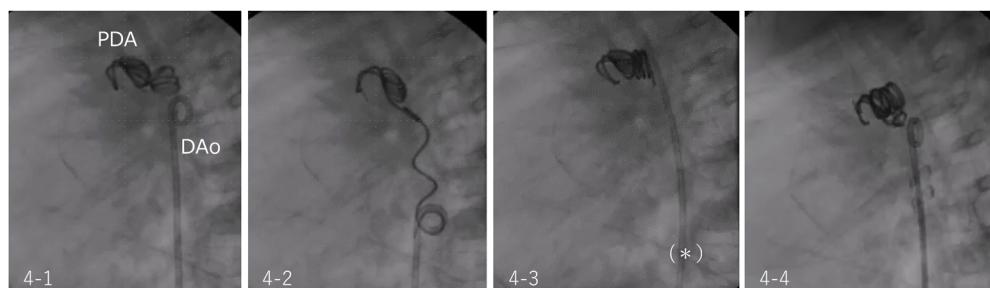


Fig. 4 Coil protrusion in the descending aorta

4-1) According to the mechanism explained in the Fig. 2), the coil loops made bulky lump and protruded in the descending aorta narrow. 4-2) The proximal part of the coil was caught and pulled back by a pigtail catheter until the twist of the coil loops was resolved and finally detached. 4-3) The direction of coil loops aligned with the PDA and the protrusion in the aorta became much better. The coil was pushed into the PDA by inflating the balloon of Berman® catheter (*)[Telefix; Morrisville, NC]. 4-4) PDA was totally occluded with one more coil.

DAo, descending aorta; PDA, patent ductus arteriosus

コイルフィラメントを巻き取るか、unravel していない末端部分をスネアで把持して回収を試みることになるが、回収困難でフィラメントができるだけPDA膨大部内に押し込み経過観察とした報告もある⁶⁾。

2. 大動脈・肺動脈内へのコイル過剰突出と形成

肺動脈側からのアプローチでF-coil (N巻)を留置する場合、PDA内に(N-1巻)収まるようにコイルを出して留置手技を開始するので、大動脈内・肺動脈内

に過剰突出することは稀である。しかしカテーテルへの張力が強すぎる場合や、デタッチ後にコイル自体がネジを緩めるように回って抜け出てくるなど、左肺動脈狭窄が合併する可能性は否めない。一方、大動脈側からアプローチする場合には、肺動脈内で1巻出し、残りがPDA内に残るように設定してコイルを留置していくが、コイルをPDA内に押し付ける段階で、大動脈内に突出して血行動態に影響する可能性がある。

このような場合、立ち上がったコイルを右冠動脈造

影用カテーテルやピッグテールカテーテルなどで引き延ばして再離脱すると、コイルループは順行性の巻方に戻り、きれいにまとまった形態で留置される（Fig. 4）（「コイルの特性・特徴」（p. 160）の応用）。ただし引っ張り過ぎるとコイルが PDA から抜け出てくるので、動脈管内にあるコイルがしっかり固定されていること、コイルループの位置・形状が変化しないことを確認しながら行う必要がある。

3. 赤血球破碎症候群

複数個のコイル留置が必要な PDA に有意な遺残短絡を残した場合、しばしば溶血性貧血が進行する。体内のハプトグロビンが消費されて後に発症するため、入院中のみならず退院後に赤色尿を主訴に再診する症例も経験する。われわれの経験した 2 症例では、肺体血流比 1.4 前後の遺残短絡を残した場合に症候性になっている⁷⁾。軽度の遺残短絡では LDH がやや上昇しても有意な貧血の進行はみられず、ハプトグロビンを投与しながら経過観察すると、血液検査は正常化する。貧血が進行し輸血が必要な程度になると、コイルの追加留置を考えているが、残存肺体血流比 1.2~1.3 以上では注意深い観察が必要と考えている。

4. コイルの脱落・遊走と対処

PDA 径計測の不備、不適切なコイル選択・留置手技、PDA 側の問題（攣縮や間歇性動脈管²⁾）により、コイルの脱落・遊走が発生する。大動脈側への脱落、肺動脈側への脱落でやや違いはあるが、ほとんどの症例で脱落・遊走したコイルは回収できる。

スネアによるコイルの回収：コイルの回収には適切なサイズのスネアを使用すること、適切な部位を把持することが重要である。われわれはコイルの回収には、もっぱら Amplatz™ gooseneck snare (Medtronic; Minneapolis, MN) を使用している。スネアサイズに関して、大は小を兼ねない。大きなスネアループを絞っていくと、ループは橢円形になり。シャフトに対して垂直に出ていたループ角は小さくなりコイルの把持は難しくなる。管腔とほぼ同じサイズのループを有するスネアが扱いやすい（Fig. 5）。

コイルを把持する位置としては、スクリューポジションであるが、難しい場合にはコイルを一塊として捕まえる。右冠動脈造影カテーテルでコイルを引っかける、バルーンカテーテルをコイル遊走部より末梢側に位置させた上で、適切なサイズにバルーンを膨らませて引いてくるなどの操作で、コイルの位置や向きを変えることも考える。

スネアループを適切な位置まで持っていくことができたなら、スネアを締めてコイルの把持を試みる。コイルの手前にスネアがあれば、ループの位置を固定してスネアシースを進めて捕まえる。一方、スネアがコイルの遠位にある場合には、シースを固定した上でループを引いてキャッチする。コイルを一塊として回収する場合には、できるだけ 7Fr 以上のロングシースを使用したい。またコイルをシース内に引き込む際には、スネアワイヤーをコッヘルで固定しておくと、掴んだコイルがはずれにくい（Fig. 5）。

なお、肺動脈側に流出した場合、コイルは肺動脈内で回収する。特にカテーテルが三尖弁腱索間隙を通過している状態で、右室内・右房内にコイルを引き込むと、コイルが三尖弁腱索に絡んでしまう。再収納が困難な場合、開胸手術が必要になる⁴⁾。

複数のコイルが絡まって肺動脈末梢に脱落・遊走した場合、太いデリバリーシースを肺動脈内に進め、肺動脈内でコイルの回収を目指す。しかし、コイルがデリバリーシース内に入ってこない場合、当然被ばく量は多くなり、万一、コイルが三尖弁に引っかかれば開胸手術が必要になる。苦肉の策ではあるが、私の経験を述べてみたい（Fig. 6）。他院に出張で PDA の 2 症例を閉じに行った際の脱落例（67 歳女性）である。F-coil を 3 個留置した後に振り返るとコイルは塊状になり右肺動脈内に脱落していた。さらに 1 例の PDA を閉鎖しなければならなかったこと、物品も限られ脱落したコイルの回収にてこずる可能性、確率は低いもののデリバリーシース内に収納できず三尖弁に引っかかれば、開胸手術が必要になる可能性などを考える必要があった。迷った末、精神的ストレスを軽減するためにも、幸いにも用意してあった 0.052' Gianturco coil [Cook 社; Turlock, CA] 1 個と F-coil 3 個、0.035' platinum pushable coil [Boston Scientific 社; Marlborough, MA] 1 個の計 5 個を用いて、まず PDA を閉鎖した。その上で遊走したコイルを一塊としてより末梢の肺動脈内に押し込んで手技を終了した。もちろんカテーテル検査前にはコイルが脱落する可能性、回収が困難な場合にはそのまま放置する場合もありうるが、生活にはほとんど影響がないことを説明していた。ベストとは言えないが、90 点を目指して 30 点になってしまうこともある。実質影響の少ない 70 点で抑えるか 90 点を目指すのか、周囲の状況、自分の力量、患者の年齢や生活状況などを、術者は常に天秤にかけて決定する必要がある。

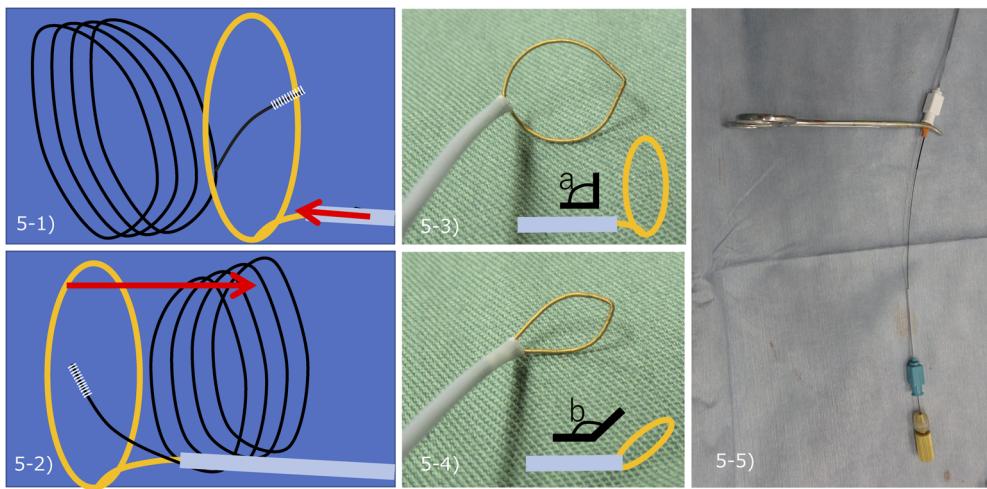


Fig. 5 How to use an Amplatzer™ gooseneck snare

5-1) The coil loop should be caught by pushing the snare delivery catheter forward, not by pulling the snare loop backward, when the snare loop is sitting proximal to the coil. 5-2) The coil loop should be caught by pulling the snare loop back not by pushing the delivery catheter forward, when the snare loop is distal to the coil. 5-3) When the snare loop is fully opened, the loop makes 90-degee angle (a) with the delivery catheter. 5-4) However, when the snare loop is partially opened, the snare loop becomes smaller, oval-shaped and the the angle (b) between the snare loop and the delivery catheter becomes bigger. These changes make it difficult to catch a coil. 5-5) The snare wire should be snugged with forceps at the proximal edge of the hub not to accidentally detach when a migrated coil is retrieved.

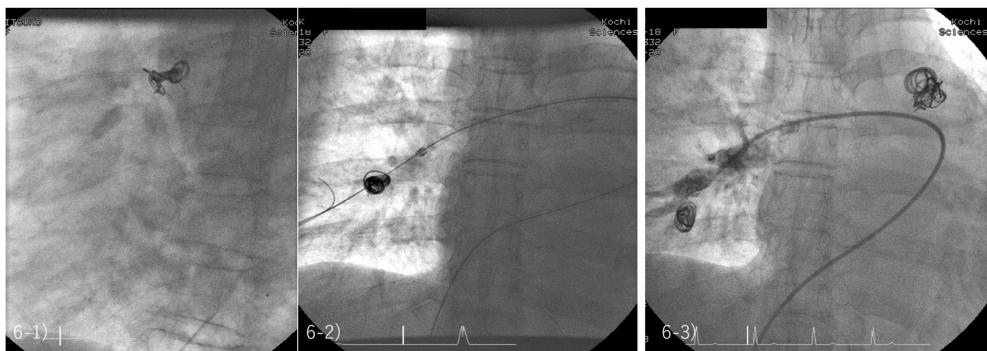


Fig. 6 Push the migrated coils more peripherally to decrease the adverse effects of occluding the normal peripheral pulmonary artery

6-1) Three Flipper® PDA coils were deployed in the PDA of 67 years old woman. 6-2) However, they migrated into the right pulmonary artery. 6-3) As we didn't have enough time and the delivery sheath suitable for retrieving 3 coils together, we pushed them more distantly after we occluded the PDA successfully with 5 coils including 0.052' Gianturco® coil with 8mm in diameter. The patient condition got much better after the procedure.
PDA, patent ductus arteriosus

特殊なコイルの留置方法

1. 複数コイル同時留置型

同時に複数のカテーテルを PDA に通し、複数のコイルを絡めた上で離脱する方法で、最小径 4 mm 前後以上の PDA で行うことが多かった。例えば 2 本の F-coil を同時留置する場合、肺動脈側から 2 本、大動脈側から 2 本のカテーテルを挿入して閉鎖することも考えられる (Fig. 7)。しかし、2 本のコイルの位置調

整がやりやすい、コイルがずれにくいという理由で、われわれはほとんどの場合に両側（大動脈・肺動脈側 1 本ずつ）からのアプローチを採用している。最初のコイル 2 本を留置した後は、順次大動脈側から F-coil または Gianturco coil などの pushable coil を追加していくばよい。コイル追加のためのガイドワイヤーやカテーテルで、既に留置したコイルを押し出さないように注意する。

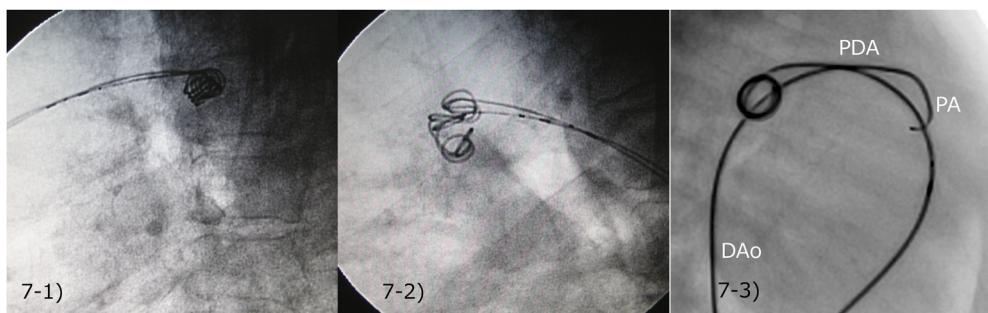


Fig. 7 Simultaneous deployment of the two Flipper® coils (F-coil)

7-1) Both F-coils were deployed from pulmonary side. 7-2) Both F-coils were deployed from aortic side. 7-3) Two delivery catheters were sitting across the PDA with one catheter from the pulmonary side and another from the aortic side. We usually deploy the larger coil first from the pulmonary side (4 coil loops in the PDA) and the smaller coil from the aortic side. When the two coils were confirmed sitting well, both coils can be detached.
DAO, descending aorta; PA, pulmonary artery; PDA, patent ductus arteriosus

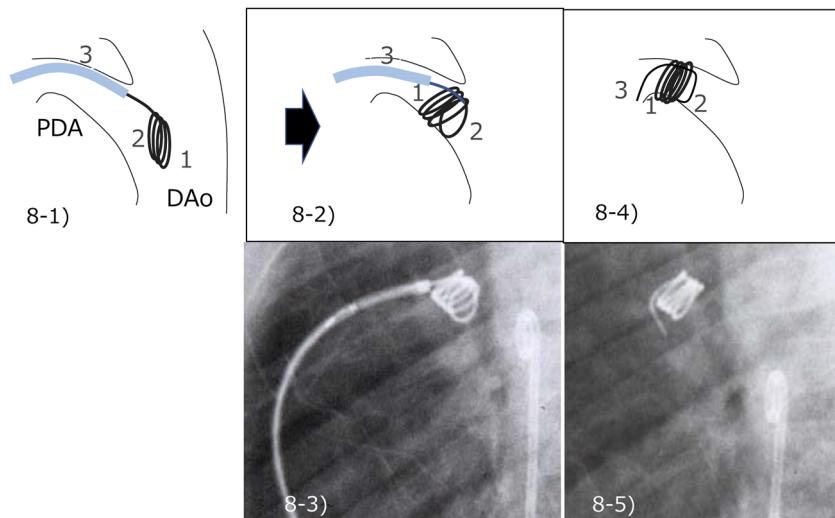


Fig. 8 @ method

8-1) The delivery catheter was advanced into the DAO from PDA side. 8-2, 3) Four coil loops were pulled back till they came at the PDA ampulla, which were moved into the PDA by the shunting flow across the PDA. At this moment, the coil loop 1 located more proximally than coil loop 2. 8-4, 5) When the most proximal coil loop and the screw were pulled back into the PA and detached, the coil looked like @ sign.

DAO, descending aorta; PA, pulmonary artery; PDA, patent ductus arteriosus

2. @ method

初回のカテーテル治療では、コイルを1個のみ留置 (single coil strategy), 6か月以降に追加のコイル留置を行う術式を採用していた時期の工夫で、PDA 最小径 3.5~4 mm 前後、中等度以上の短絡量を有する症例が対象であった。肺動脈側からアプローチし、8 mm/5巻のコイルを4巻出して PDA 膨大部にまで引き戻し、短絡血流によりコイルを逆向きに PDA 内に流入させる。その状態でコイルのスクリュー側を PA 内に引き込みデタッチすれば、PDA 内に @ マークのような形態で留置できる⁵⁾。PDA 壁からの反発

力は増大、コイルの留置形態も複雑になり、脱落を防ぐとともに、塞栓力も増加する (Fig. 8)。ただし、この方法でコイルを1個留置しただけでは遺残短絡が大きく、赤血球破碎症候群の発生率が高くなる。Single coil strategy ではなく、コイルの追加が必要である。

まとめ

1) F-coil は依然として PDA 塞栓術の現役デバイスと言えるが、供給量の問題もあり今後小さな PDA まで ADO, Piccolo などのデバイスを用いて閉鎖するの

か、代替えのコイルを使用するか、学会としても考えていく必要がある。

- 2) コイルによるPDA塞栓術を、安全に行うにはPDA・コイルの特性、合併症につき精通しておく。
- 3) コイルの脱落、化学繊維のコイルへの絡みなど、発生しうる合併症の対処法についてあらかじめシミュレーションし、解決のためのデバイスを準備、適切な患者説明を術前に行っておくことが重要である。

結 語

われわれの経験・知識をもとに、F-coilによる動脈管閉鎖手技前に確認すべき情報、手技上の注意点、合併症、およびその対処法などについて概説した。

利益相反

本稿について開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 森藤祐次、鎌田政博、中川直美、ほか：当院におけるPDAカテーテル治療ストラテジー—Amplatzer Vascular Plug II (AVPII) 使用開始後からのまとめ—. 第30回日本先天性心疾患インターベンション学会 (JCIC)
- 2) Mullins CE: Patent ductus arteriosus, in Garson AJ, Bricker JT, McNamara DG (eds): *The Science and Practice of Pediatric Cardiology*. Philadelphia, Lea & Febiger, 1990, pp1382-1420
- 3) 鎌田政博：動脈管開存—乳児期早期例、低出生体重児に対するカテーテル治療の問題点—. 日小児循環器会誌 2010; **26**: 180-182
- 4) 鎌田政博：着脱式コイルによる動脈管塞栓術—治療成績・合併症とその対策—. 日小児循環器会誌 1998; **14**: 21-31
- 5) 鎌田政博：HEART'S Selection 動脈管開存のカテーテル閉鎖術. 心臓 2007; **39**: 1037-1041
- 6) 川口直樹、坂田 優、小林 優、ほか：コイル回収時にアンラベリングを生じた動脈管開存症の1例. 第32回JPIC学会・学術集会プログラム抄録集 2022: 83
- 7) 鎌田政博、木口久子、木村健秀：心疾患に伴う赤血球破碎症候群（心臓性溶血性貧血）. 小児科 2004; **45**: 211-216