

Review

【特集：第 18 回教育セミナー 〈カテーテル治療〉】

側副血行路に対するコイル塞栓術：
どこまで、どのコイル？

馬場 健児

岡山大学病院 IVR センター小児循環器

Coil Embolization of Collateral Vessels

Kenji Baba

Okayama University Hospital, Interventional Radiology Center, Division of Pediatric Cardiology, Okayama, Japan

Coil embolization of collateral vessels is one of the most common catheter interventions. Owing to variations in the target vessels and the coils used, catheter interventionists should have a wide range of knowledge and skills. This paper describes our approach to coil embolization of collateral vessels with case presentations.

Keywords: coil embolization, catheter intervention, congenital heart disease

側副血行路に対するコイル塞栓術は小児循環器領域で比較的多く行われているカテーテル治療の一つであるが、対象疾患、対象血管の特徴は様々であり、さらにコイルの種類も多岐にわたる。対象および道具自体も種類が多いため画一化、統一化された考え方を確立することは難しい手技ではあるが、本稿では当施設でのコイル塞栓術に関する考え方も含めて提示する。

はじめに

側副血行路のコイル塞栓術¹⁻⁹⁾に関して概説する。タイトルから対象疾患の解剖学的な特徴を加味した使用コイルの選択などが読者の知りたい情報だと考えるが、筆者が使い慣れているか否かというバイアスがかかることはどうしても避けられない。読者の参考になればと自施設で行っているコイル塞栓術の手順およびコイル選択を紹介するが、あくまでも一案であり、こうしたほうがもっとよいのではなど意見を持って本稿に目を通していただきたい。

総 論

検査所見で異常所見を認めることと治療適応があることは全く異なるのは当然である。患者側の側面を考慮する適応として、1) 不具合を訴える症状がある

か、2) 治療した場合のメリット、3) 放置した場合のデメリットなどがあり、術者側から考慮する適応として、1) 他の方法（外科手術）との比較、2) コイルの移動や脱落による正常血管の閉塞など合併症の可能性、3) アプローチ可能かまたは既存の道具での遂行可能かなどが挙げられる。これらのことを総合的に考えてどこまで行うかを決めるのが術者の仕事である。

コイルは数多くの種類があり、その選択は重要だが、全てのコイルの特徴を熟知することは至難の業である。特徴を理解し、経験を積んで慣れたものを徐々に増やしていくスタンスでよく、アプローチさえできればどのコイルを使用しても目的は達成可能なことが多い。近年新しいコイルの開発はめざましく、セミナーなどに積極的に参加し情報収集を常に心がける必要がある。

コイル塞栓術の適応疾患として、動脈管、主要体肺動脈側副動脈、体肺短絡血管、体肺側副動脈、静

脈-静脈短絡，冠動脈瘻，肺動静脈瘻などが挙げられる．これらの異常血管をカテーテル的に塞栓することを考慮する場合，コイルとともに選択肢に挙がるのは Amplatzer Vascular Plug¹⁰⁾ (AVP; Abbott, Chicago, IL) であり，AVP とコイルとどちらが適しているか，また場合によっては併用するかという判断も行わなければならない．また国内未導入だが，海外では Micro Vascular Plug¹¹⁾ (MVP; Covidien, Irvine, CA) の有用性も報告されているため，将来的に導入されれば MVP も含めた検討が必要になる．AVP の中では AVP II が塞栓力に優れているため，アクセスルートやランディングゾーンが許容されれば AVP II の使用が優先される．あくまで個人的な意見ではあるが，コイル塞栓術の適応としては「閉塞適応のある対象血管に AVP II が使用できず，ランディングゾーン，到達ルート，閉塞効果およびコストを考慮して AVP1 や AVP4 よりコイルが優れていると考えられるもの」と考えている．

塞栓術を行うにあたり対象血管決定が重要で，血管造影による評価が gold standard ではあるが，術前 CT や MRI は有用で，特にシャント量の大きいものでは 3D 構築により詳細な構造が判明でき，血管造影を行う際にも大きな一助となる．また，対象血管によってはマイクロカテーテルのみのアプローチが予想され，血管造影では全体像描出が困難な場合は CT や MRI での計測値を参考にコイルのサイズ選択を行わなければならない可能性もある．したがって症例により事前の CT や MRI の必要性を常に考慮する必要がある．次に血管造影により塞栓を行う対象血管を決定し，その走行，血管径から使用するロングシース，ガイドワイヤーカテーテル，カテーテル，マイクロカテーテル，コイルなどを決定する．留置手技に関しては次に述べるが，当施設でのコイル選択に関しての考え方の一案は症例提示で示す．

コイル塞栓術手技

コイル留置の手技に関しては対象血管が異なっても共通する部分が多いためマイクロカテーテルから 0.018 インチコイルを留置する際の手技を代表例として述べる．

4Fr 造影カテーテルを挿入可能な部位までしっかり挿入する．4Fr 造影カテーテルがコイル留置時のバックアップとなるため解剖を考慮し最もしっかり挿入できると考えられるものを選択する．選択的血管造影検査を行い，解剖学的形態から使用するコイルを決定

し，そのサイズにあったマイクロカテーテルを選択する．4Fr カテーテルに Y コネクターを装着し，マイクロカテーテルにガイドワイヤーを通して目的部位まで進める．アプローチ部位や対象血管の走行によっても異なるが大腿動脈穿刺の内胸動脈から起始している体肺側副動脈の場合，当科では側孔のない Judkins right catheter (メディキット，東京，日本) と暁マイクロカテーテル (ガデリウスメディカル，東京，日本) に 0.016" GT ガイドワイヤー (テルモ，東京，日本) を組み合わせて使用することが多い．マイクロカテーテルをガイドワイヤー先行で目的部位まで進めた後，エアの吸い込みを避けるために生理食塩水を入れた膿盆の中でガイドワイヤーを抜き，マイクロカテーテルから選択造影を行い，塞栓開始部位を最終的に決定する．4Fr カテーテルの位置，マイクロカテーテルの位置が適切な位置にあることを確認，Y コネクターにより造影カテーテルとマイクロカテーテルが適切に一体化されていることを確認し，コイルをマイクロカテーテル先端まではすばやく進める．コイルをマイクロカテーテル先端から出すときにはゆっくり，コイルのテンションを感じながら，Y コネクターを緩めずにそのまま送り出せるのであればそのまま，抵抗を感じそのままではコイルを送り出せないと判断すれば Y コネクターを少し緩めると送り出せることが多いが，それでも送り出せない場合はマイクロカテーテルを少し引いてスペースを確保する．強く押しすぎると Stretch Resistance (SR) 機構のないものなら容易に，SR 機構を有するものでも程度によりアンラベルする可能性があるため注意が必要である．コイルに無理な力をかけないことはアンラベル予防とともにコイル留置の合併症の一つである血管外漏出を予防するためにも最も重要である．手技的にはこれらの操作がマイクロコイル留置で最も重要な点と考えている．コイルをマイクロカテーテルから完全に出たことを確認し，コイルが移動するリスクがあると考えられる場合は離脱前にアンラベルしない程度の弱いテンションをかけてコイルが移動しないことを確認後に離脱する．

追加コイルが必要な場合は素早く追加留置を行う．必要であればマイクロカテーテルからの造影を行い確認する．4Fr 造影カテーテルから AVP4 や 0.035 インチコイルの追加治療が必要か否か常に考慮する．最終確認として 4Fr 造影カテーテルからの血管造影を行う．

コイル選択

コイルのサイズ選択に関してはコイルの種類によっ

でも異なるのは当然だが、解剖学的な特徴、血流量、血圧、患者年齢などによっても大きく変わるため一概に述べることは難しい。一般的には最初に留置するアンカーコイルのほうが追加コイルよりも径は大きく、静脈の方が動脈よりも、また柔らかいコイルのほうが固いコイルよりも径は大きくなることが多い。コイルの長さに関してはコイル径が決まると長さも決まることが多いが、複数ある場合にはランディングゾーンを考慮して長いものが留置可能であれば医療経済的な観点から長いものが選ばれる。またあくまで個人的な意見だが、小児の場合は血管の弾力性が成人よりあると考えられるため、メーカー推奨よりやや大きめのほうが適している可能性があると考えている。コイルの推奨径を述べるためにはコイル毎に述べなければならないためこの稿では割愛するが、一例として0.035インチハイドロゲルコイルは外膨潤型 Azur 35 と内膨潤型 Azur CX 35 (いずれもテルモ、東京、日本) があるが、Azur 35 と Azur CX 35 のサイズは動静脈混在した参照血管径対して、最初に留置するアンカーコイルの場合はそれぞれ1.5倍、1.8倍、追加コイルの場合はいずれも1.2倍であったという報告¹²⁾を我々の施設から行っている。遠位部に移動する可能性がある場合のアンカーコイルの選択が最も問題で、コイルの遠位部への移動の可能性を少なくするためには、ラディアルフォースを持つ硬めのコイルで、うまく巻くことのできる最大径のコイルを選びたいが、サイズが大きすぎると巻かずそのまま遠位部に進んでしまうこともあり、コイルの挙動は留置してみないとわからないことが多い。ただしサイズ選択に迷った場合はやり直しを覚悟しても大きめから選択することはコイル留置後の遠位部への移動という合併症を防ぐ意味で重要と考える。追加コイルの場合はその直前に留置したコイルの挙動がわかっているので径の選択は容易であるが、残りのランディングゾーンを考慮して正常血管に突出することのないように注意を払う必要がある。

各 論

代表的な側副血行路として体肺側副動脈と静脈-静脈短絡に関するコイル塞栓術に関して述べる。

体肺側副動脈

先天性心疾患、心臓大血管の構造的疾患に対するカテーテル治療のガイドラインによれば、推奨クラスIとして「うっ血性心不全、高肺血流状態、呼吸障害、もしくは著しい胸水貯留や蛋白漏出性胃腸症をきたす

相当量の左右短絡を伴う体肺側副動脈に対し、カテーテル治療を行う」が挙げられており、エビデンスレベルはBである。

症例1: 7歳、男児、体肺側副動脈

造影検査にて対象血管を同定し (Fig. 1-A), 対象血管を選択造影する (Fig. 1-B). 血流量多く、屈曲あり4Fr 造影カテーテルが途中までしか進まないため、より太いガイディングシースなどが要求される AVP II はもちろん、4Fr カテーテルから使用可能な AVP4, Azur 35 コイル (テルモ、東京、日本) や off-label ではあるが使用する機会のある Flipper PDA コイル (Cook, Bloomington, IN, USA) などの0.035インチコイルも最初のコイルとしては不適と考えた。対象血管は動脈で留置するコイルにかかる圧も高く、血流によって遠位部にコイルが移動する可能性があり、最初に留置するコイルとしてはアンカリング力を重要視した。4Fr 造影カテーテルがより末梢まで進んでいれば、アンカリング力の高い Flipper PDA コイルを最初

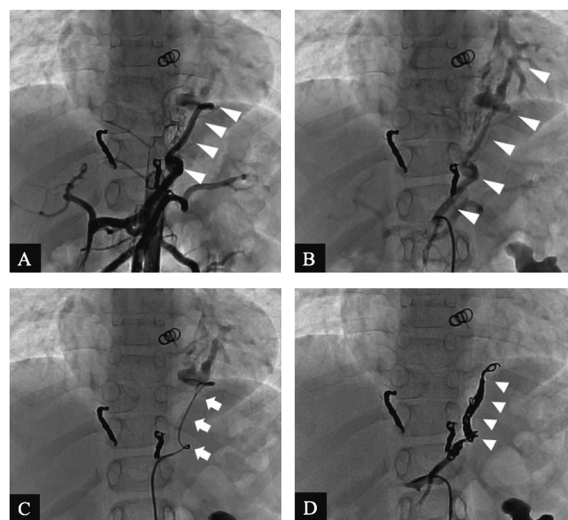


Fig. 1 Aortopulmonary collaterals. Angiograms show A) Aortopulmonary collateral (arrowhead) arising from the descending aorta and B) Selective angiography via 4Fr catheter shows aortopulmonary collateral (arrowhead). C) The microcatheter (arrow) was advanced through a 4Fr catheter to the initial coil placement point. Selective angiography via microcatheter shows aortopulmonary collateral. D) After coil (arrowhead) placement, no residual flow is present.

のコイルとして使用することを検討していたが、4Fr カテーテルの到達位置から断念せざるを得ず、マイクロカテーテル経路で留置を行うコイルの中ではアンカリング力の高い POD コイル 4mm-30cm (Penumbra, Alameda, CA, USA) を最初のコイルとして使用する計画とした。POD コイル使用のためマイクロカテーテルはハイフロータイプを選択した。コイル留置の際には塞栓を開始する部位と終了する部位の選定は重要で、留置したコイルの移動の危険性が少なくなると考えられる狭窄や屈曲があり、かつ遺残短絡に対して追加治療が可能となるスペースも残しておく必要がある。末梢がより細くなる対象血管の場合は遠位部へのコイルの移動は考慮する必要がないためその点においては安心して手技が可能だが、末梢に移動してしまうと重要血管の塞栓につながる形態の対象血管では最初に留置したコイルがその場所に留まってくれることが最重要となるため解剖学的な状況およびコイルの特性を考慮しながらコイルを選択することになる。マイクロカテーテルをコイル留置開始部まで進め選択造影を行った (Fig. 1-C)。POD コイル挿入後にアンラベルしない程度の弱いテンションをかけてコイルが移動しないことを確認後に離脱した。POD コイルの特徴としてアンカリング力に優れているが、これだけでは血流量の多いこの対象血管の塞栓はすぐには期待できないため、追加コイルとしてハイドロゲルを有し高い塞栓力をもつ Azur 18 と Azur CX 18 コイル (テルモ, 東京, 日本) を選択した。Azur 18 と Azur CX 18 に対応するマイクロカテーテルはセレクトティブタイプとハイフロータイプのいずれでも可能であるため、そのままハイフロータイプのままで留置したが、単独での使用時には我々は操作性を重視してセレクトティブタイプを使用することが多い。我々は経験からセレクトティブタイプを用いて留置を試みたほうが前述したコイルを送り出す力が伝わりやすく、ランディングゾーンを短くすることができる印象を持っている。Azur 18 と Azur CX 18 を留置後も遺残短絡をわずかに認め、4Fr カテーテルからの追加治療を考えた。選択肢としては AVP4 や Flipper PDA コイルや Azur 35 コイルなどの 0.035 インチコイルなどがあるが、下行大動脈

までのランディングゾーンを考慮して Azur 35 コイルを留置し、完全閉塞を確認した (Fig. 1-D)。使用した合計 6 本のコイルを使用順に Table 1 に列記する。

静脈-静脈短絡

ガイドラインによれば、推奨クラス I として「静脈-静脈短絡は、高度チアノーゼや塞栓症のリスクがある患者の場合、経カテーテル塞栓術を行う」および「Glenn 手術後に横隔膜より下位への静脈-静脈短絡が発達し、高度チアノーゼを引き起こしている患者の場合、ただちに Fontan 手術を行うのでなければ経カテーテル塞栓術を行う」が挙げられており、エビデンスレベルは C である。

症例 2 : 7 歳, 女児, 静脈-静脈短絡

フォンタン循環不全の重症心不全患者で、不穏状態から重度低酸素血症をきたし、アシドーシスから徐脈となり集中治療を必要とした患者。フォンタン循環における静脈-静脈短絡に対する閉鎖術に関しては低酸素血症の改善は見込める可能性はあるものの、心拍出量低下と中心静脈圧上昇を来すため適応に関してより慎重に判定する必要がある。本来であれば閉鎖試験を行い、心拍出量と中心静脈圧の変化を確認して、閉塞を行うか否か決定することが望ましいが、本症例は多数の短絡のため閉鎖試験が極めて困難なことから、低酸素血症により著しい状態悪化を来したため、合同カンファレンスにて急性期を乗り切るために静脈-静脈短絡閉鎖術を行う方針となった。造影 CT を示す (Fig. 2-A, B)。多数の体静脈が集まり一塊となり右肺静脈へ還流する体静脈-肺静脈短絡を認めるが詳細な解剖は CT では不明であった。両側大腿静脈および内頸静脈閉塞のため右腋窩静脈からのアプローチとしたが、右腋窩静脈から直接に右肺静脈に到達するルートは同定できず、いったん下大静脈までマイクロカテーテルを下ろして、標的血管を探し、左腎静脈から奇静脈を経由し右上肺静脈に還流する体静脈-肺静脈短絡を同定し、ガイドワイヤーを標的血管近くまで到達させることができた (Fig. 2-C)。蛇行が強くマイクロカテーテルはセレクトティブタイプしか到達させることができず、造影は不十分であったが、造影 CT の画像を参考にコイル径を決定した。対象血管の違いはあっても基本的な留置手技としては症例 1 と変わらない。ただし、本症例ではマイクロカテーテルの屈曲点も多いため、コイルを送り出す際の手元に伝わる感触が伝わりにくいことを危惧し最初に留置するコイルは SR 機構

Table 1 Coil used in case 1

| Coil | Diameter-Length | No of coil |
|-----------|-----------------|------------|
| POD | 4mm-30cm | 1 |
| Azur CX18 | 4mm-13cm | 3 |
| Azur 18 | 4mm-5cm | 1 |
| Azur 35 | 4mm-10cm | 1 |

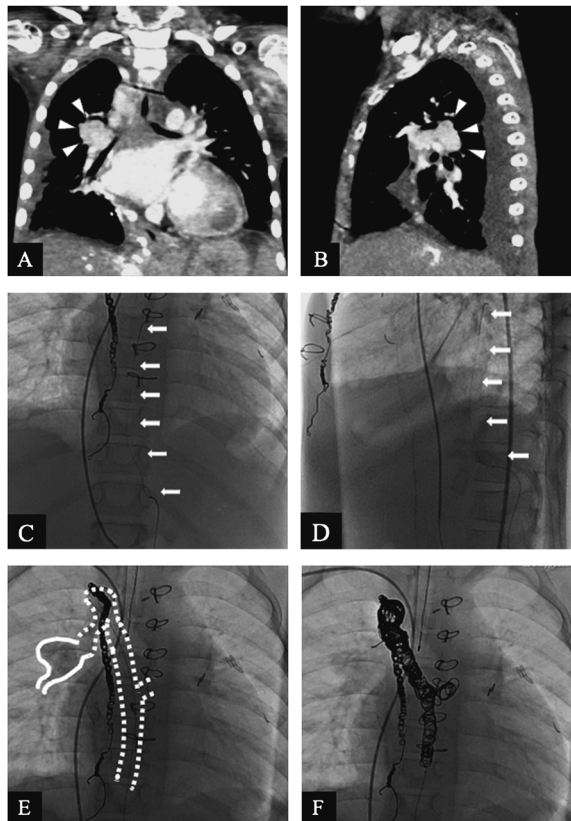


Fig. 2 Venovenous collaterals: A) Coronal CT angiography shows venovenous collaterals (arrowhead). B) Sagittal CT angiography shows venovenous collaterals (arrowhead). C, D) The microcatheter (arrow) was advanced through 4Fr catheter into the left renal vein to the azygos vein. C: anteroposterior view D: lateral view. E) The microcatheter was further advanced from the azygos vein (white dot) to the right upper pulmonary vein (white line). F) Coil (arrowhead) embolization for venovenous collaterals was completed.

を有するもの、および肺静脈に突出しないような巻き方になるように何度も巻き直すことも考慮して再留置可能時間が20分と長いAzur CX 18コイルを留置し、その後は直前のコイルの巻き具合を確認しながら追加コイルを留置した。合計13本のコイルを用いて手技を終了した (Fig. 2-D)。留置した全13本のコイルを留置順にTable 2に列記する。低酸素血症に関しては閉塞前後で SaO_2 62%→85%と改善を認めた。対象血管へのアプローチに難渋し、蛇行も強いいためマイクロカテーテルしか到達させることができず、コイルでな

Table 2 Coil used in case 2

| Coil | Diameter-Length | No of coil |
|-----------|-----------------|------------|
| Azur CX18 | 20mm-40cm | 3 |
| Azur CX18 | 16mm-39cm | 2 |
| Azur 18 | 10mm-20cm | 1 |
| Azur CX18 | 12mm-38cm | 1 |
| Azur CX18 | 8mm-28cm | 1 |
| Azur 18 | 8mm-20cm | 1 |
| Azur CX18 | 10mm-32cm | 1 |
| Azur 18 | 8mm-20cm | 1 |
| Azur 18 | 6mm-10cm | 2 |

ければ介入できなかった症例であった。

まとめ

側副血行路に対するコイル塞栓術に関しては、対象疾患のバリエーションも多く、症状や有害事象と解剖学的特徴に起因する合併症のリスクなどを総合的に考慮して治療適応を決定する必要がある。また市場に出ているコイルのバリエーションも多く、できるだけ多くの種類のコイルに習熟するのに越したことはないが、まず使い慣れたコイルを徐々に増やしていくことが重要である。アプローチの問題などからコイルでなければ治療介入困難な症例もあり、非常に有益なツールである。今後も新しい特徴のあるコイルがますます開発されることが期待でき、それを利用するカテーテルインターベンションを行う医師はその手技の習熟を極めるべく精進する必要がある。

利益相反

開示すべきCOI関係にある企業などはありません。

引用文献

- 1) 日本循環器学会；日本心臓病学会；日本心臓血管外科学会；日本血管外科学会；日本胸部外科学会合同ガイドライン：2021年改訂版—先天性心疾患，心臓大血管の構造的疾患（structural heart disease）に対するカテーテル治療のガイドライン—。循環器ガイドシリーズ2021
- 2) 日本小児循環器学会；日本Pediatric Interventional Cardiology学会：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 (Suppl 2)
- 3) 金 成海：コイル塞栓術。JPIC Annual Catalog 2017；2-12
- 4) 馬場健児：コイル塞栓術。JPIC Annual Catalog 2017；13-19
- 5) 杉山 央：コイル塞栓術。JPIC Annual Catalog 2017；20-25
- 6) Kanter KR, Vincent RN: Management of aortopulmonary

- collateral arteries in Fontan patients: Occlusion improves clinical outcome. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu* 2002; **5**: 48–54
- 7) Walsh KP: Advanced embolization techniques. *Pediatr Cardiol* 2005; **26**: 275–288
- 8) Goldstein BH, Aiyagari R, Bocks ML, et al: Hydrogel expandable coils for vascular occlusion in congenital cardiovascular disease: A single center experience. *Congenit Heart Dis* 2012; **7**: 212–218
- 9) Loureiro P, Ewert P, Eicken A: Benefit of vessel closure with the Azur CX Peripheral Coil System in small children with complex CHD. *Cardiol Young* 2020; **30**: 896–898
- 10) Kubicki R, Stiller B, Hummel J, et al: Collateral closure in congenital heart defects with Amplatzer vascular plugs: single-center experience and a simplified delivery technique for exceptional cases. *Heart Vessels* 2019; **34**: 134–140
- 11) Sathanandam S, Justino H, Waller BR 3rd, et al: The medtronic micro vascular Plug™ for vascular embolization in children with congenital heart diseases. *J Interv Cardiol* 2017; **30**: 177–184
- 12) Baba K, Kondo M, Eitoku T, et al: Vascular occlusion with 0.035-inch hydrogel expandable coils in congenital heart disease and vascular anomalies. *J Cardiol* 2022; **80**: 249–254