

Review

〈スペシャリストシリーズ：9. 心臓カテーテル治療〉

小児循環器領域におけるコイル塞栓術： 血管解剖に合わせた塞栓術

長友 雄作

九州大学病院 小児科

Coil Embolization in Pediatric Cardiology: Tailored Treatment for Vascular Anatomy

Yusaku Nagatomo

Department of Pediatrics, Kyushu University Hospital, Fukuoka, Japan

Vascular embolization, specifically coil embolization, is performed widely in pediatric cardiology. Indications for embolization have been increasing because of the development of devices in recent years. Provided the necessity to embolize diverse anatomic vessels in congenital heart disease, it is critical to carefully consider the risks and precautions associated with each vascular anatomy when developing a treatment strategy. This article describes the basic techniques and special considerations for vascular anatomy embolization that include our own approaches.

Keywords: coil embolization, AVP, coil in plug, stop flow technique, microcoil

小児循環器領域において、コイルを中心とした血管塞栓術は多く行われており、近年のデバイスの開発により適応疾患は拡大してきている。主に先天性心疾患の多種多様な解剖の血管に対応する必要がある。血管解剖ごとにリスクや注意点を考えながら治療戦略を立てるのが重要である。本稿では基本的な手技から注意すべき血管解剖への塞栓方法について当施設の考え方を含めて解説する。

はじめに

経カテーテル的血管塞栓術は先天のもしくは後天的に発生した異常血管や出血源となる血管に対して行われるが、1975年に Gianturco らが腫瘍動脈に対するコイル塞栓治療を報告して以来¹⁾、さまざまな領域で血管塞栓術が行われ、デバイスの開発とともに適応は拡大してきている²⁻⁴⁾。小児循環器領域でもさまざまな心疾患の治療に血管塞栓術が行われている。対象疾患は、PDAのほか、側副血行路、瘻血管から人工血管まで多岐に渡る (Table 1)。2019年に JCIC-レジストリーに登録されたアブレーションを除くカテーテル治療は 4,427 セッションで、うち血管塞栓術は 982

セッション (22%) で、ASD/PDA へのデバイス閉鎖、バルーン拡大治療に次いで行われている⁵⁾。血管塞栓術は小児カテーテル治療にとって欠かせない手技であり、カテーテル治療医を目指す若手医師にとってまず習得すべき手技の一つであろう。対象血管は側副血管が最も多く (816 件, 83%)、使用デバイスは、コイルが最も多かった (845 件, 86%)⁵⁾。疾患の詳細や適応はガイドラインに掲載されており^{6,7)}、十分に熟知して行うべきである。経カテーテル的血管閉鎖の治療推奨レベルは Table 1 のとおりである。

小児領域における血管塞栓術の対象血管は実に多彩である。例えば治療機会の多い体肺側副動脈や静脈静脈短絡においても、症例ごとに走行や分枝などは多

Table 1 小児領域におけるカテーテル的塞栓治療の主な対象疾患と治療推奨

| | 体肺側副動脈 | 静脈静脈短絡 | 体肺短絡術 | 冠動脈瘻 | 肺動静脈瘻 | 門脈体循環短絡 |
|---------|--|--|--|--|---|--|
| クラス I | 単心室および二心室の血行動態において、うっ血性心不全、高肺血流状態、呼吸障害、もしくは進行性の胸水貯留や蛋白漏出性胃腸症などを来す大きな左右シャントを伴うもの (エビデンスレベル B) | 重篤なチアノーゼや塞栓症のリスクがある場合 (エビデンスレベル C) Glenn手術後に横隔膜より下位への静脈静脈短絡が発達し、重篤なチアノーゼを引き起こしている患者の場合 (エビデンスレベル C) | 純型肺動脈閉鎖症や重症肺動脈弁狭窄症の術後で十分な酸素化が得られている場合 (エビデンスレベル C) 根治術後に相当量の遺残短絡を認める場合 (エビデンスレベル C) | 有症状の冠動脈瘻 (エビデンスレベル B) | 有意なチアノーゼ、または奇異性塞栓の既往、また無症状でも直径 3mm 以上の瘤を有し奇異性塞栓のリスクがあると考えられる局在性のもの (エビデンスレベル B) | ガイドラインに記載なし 肝内型、肝外型があるが、肝内静脈管開存症では 2 歳まで自然閉鎖する可能性がある 九州大学の治療プロトコルでは、シャント閉塞試験を行い、肝内門脈が確認され閉鎖後 |
| クラス II | IIb/単心室患者での Glenn、フォンタン手術前の中等度の体肺側副動脈 (エビデンスレベル B) 肺動脈閉鎖で本来の肺動脈からの十分な血流供給がある (エビデンスレベル B) | IIa/フォンタン手術前の静脈静脈短絡 (エビデンスレベル C) IIb/Glenn 手術前の横隔膜より下位への静脈静脈短絡 (エビデンスレベル C) | IIa/外科的にシャント閉塞が困難または手術時のリスクを増加させると考えられる場合 (エビデンスレベル C) | IIa/心拡大を有する中等度以上の冠動脈瘻 (エビデンスレベル C) 負荷試験で心筋虚血の所見が出現する冠動脈瘻 (エビデンスレベル C) | IIa/多発性で肺全体に分布する肺動静脈瘻ではあるが、低酸素血症などの症状を認める場合 (エビデンスレベル C) | 門脈圧が 25mmHg 以下であれば一期的閉鎖可能と判断する 肝内門脈が低形成で閉鎖後門脈圧が 25mmHg を超えるものは二期的閉鎖を行う |
| クラス III | 著明なチアノーゼを来している単心室、二心室症例 (エビデンスレベル C) 将来的に本来の肺動脈に集約されるべき体肺側副動脈 (エビデンスレベル C) | フォンタン手術が予定されている患者で、横隔膜より下位での短絡で症状が軽度のもの (エビデンスレベル C) | シャント閉鎖試験で許容できない低酸素血症を引き起こした場合 (エビデンスレベル C) | 無症状で心拡大なく、臨床的に有意でない冠動脈瘻 (エビデンスレベル C) | 無症状の小児例 (エビデンスレベル C) | |

ガイドライン^{6,7)} より一部改変

種多様な解剖を示し、短絡血流量も大きく異なる。治療に際して特に注意を要する血管の特徴としては Table 2 のようなものがある。特に体肺側副動脈で多く見られるような、複雑に分岐した血管、長い血管などはコイル本数が多くなりやすく、いかに効率的に塞栓できるかも重要である。また鋭角に起始する、もしくは起始直後から蛇行が著しい静脈静脈短絡では親カテの固定が難しく、コイルキックバックに注意が必要となる。さらに太い主要体肺側副血管 (MAPCA)、冠動静脈瘻や門脈体循環短絡症で多く見られる太く狭窄のない血管やランディングゾーンが短い血管、血流が速い血管は、脱落リスクを常に考えた治療戦略を立てる必要がある。そのほか、成人での冠動静脈瘻で稀に見られるような著しく蛇行した血管ではアプローチが難しく通常のガイドワイヤー先進ではなかなか深部まで到達できない。また瘤状の血管をコイルで充填して閉塞する際には瘤壁への負荷を抑えつつ完全閉塞を達成する必要がある。

本稿では、血管塞栓術の中心であるコイルを用いた治療について、まず基本的な扱い方や注意点を解説す

Table 2 塞栓術において注意すべき血管

1. 複雑に分岐した血管
2. 長い血管
3. 親カテの固定が難しい血管
4. 太く狭窄のない血管
5. ランディングゾーンが短い血管
6. 血流が速い血管
7. 著しく蛇行した血管
8. 瘤状の血管

る。続いて、Table 2 のような注意を要する血管解剖に応じて考慮される手技方法や注意点について実例を交え解説する。

コイルの基本手技

コイルは小児領域で最も一般的に血管塞栓に使用されるデバイスである。コイルにはプッシュャブルコイルとデタッチャブルコイルがある。いったんカテーテルから出すと回収できないプッシュャブルコイルに比べて、ワイヤーと離脱するまでは回収可能なデタッチャ

Table 3 塞栓用コイルの種類

| | プッシュャブル (標準型) (¥10,500) | デタッチャブル | | | |
|-----------|--|-----------------------------|--|--|---|
| | | 機械式 (¥55,800) | 水圧・ワイヤー式 (¥82,900) | 電気式 (¥117,000) | 特殊型 (¥145,000) |
| スタンダードコイル | VortX Tornado MReye | Interlock 35 PDA Flipper | | | AZUR35* |
| マイクロコイル | VortX Hilal Tornado C-STOPPER | IDC18 Fibered IDC | Ruby POD SMART Avenir Axiom IMPAX など | Target iED DELTA FILL GALAXY G3 MICRUSFRAME Complex など | AZUR18* * 離脱は電気式 |

()内は保険償還価格

ブルコイルはより安全面に優れ、現在はデタッチャブルコイルが主に用いられることが多く、各メーカーからさまざまな特性を持ったコイルが製造・販売されている。コイルの太さも0.035"前後のスタンダードコイルと0.010~0.020"のマイクロコイルなどバリエーション豊かである (Table 3)。ここでは現在最も使用されているデタッチャブルのマイクロコイルの留置の基本的な手順や注意点について述べる。

1) 血管の同定

血管造影で評価するが、大血管からのスクリーニング造影では過小評価されることがあり、とくに肺出血や胸水の原因となっているような体肺側副動脈は肺障害による肺血流減少のため過小評価される可能性に留意する必要がある。体肺側副動脈を疑う場合には鎖骨下動脈や肋間動脈などの選択造影を行う必要があり、静脈静脈短絡を疑う場合には造影位置を病変部位より末梢側にする必要がある。事前にCTでの評価やMRIでの血流測定で短絡量算出などを行っておくと非常に参考になる。

2) 親カテの固定

4Fr 造影カテーテルを目的血管に挿入して親カテとする。当院では主に4Fr JR形状のカテーテル (メディキット, 日本) を使用するが、血管の起始角度に合わせてJL, IMAなどのほかの形状カテーテルや、ドライヤーや蒸気で先端を熱成形したカテーテルを用いることもある。できるだけ親カテを対象血管に挿入し親カテを固定することは何より重要である。親カテが十分に固定されていればコイル展開時のキックバックを抑えることができ、初心者でも安全にコイル展開するこ

とができ、熟練するとより大胆なコイル選択が可能となる。また、目的部位まで深く挿入できた場合には親カテから直接0.035"コイルやAVP4も使用可能である。

3) マイクロカテーテルの挿入

親カテが十分に固定できたらマイクロカテーテルを細径ガイドワイヤーを先進させて塞栓部位まで挿入する。カテーテルを挿入すると血管の走行が変わることがあるので、挿入後はマイクロカテーテル先端から造影して確認する。マイクロカテーテルは使用コイルに合わせて適合したものを選択するが、あまりコイルとの間に口径差があるとデリバリー時にマイクロカテーテル内でコイルが蛇行するスネーキングのため抵抗を感じることもある。

4) コイルの選択

対象血管が動脈系か静脈系か、血管の解剖、血流量、血圧、患者年齢などを加味し、コイルの種類およびコイル径・長さを選択する。各社コイルともに一次コイル径と二次コイル径がある (Fig. 1A)。一般的に一次コイル径が細いほうが柔軟性は高くなるが、太いほうがコイル自体の占める体積が大きいため塞栓力は高まる。二次コイル径は対象血管のサイズに対応して決定し、標準的には血管に対して1.3~1.5倍の径の二次コイル径が選択されるが、当然コイルの種類や年齢、解剖などによって異なり一概に述べることは難しい。静脈系の塞栓や柔軟性の高いコイルでは大きなサイズが選択されることが多い。小児では成人と比べ血管壁が柔らかく大きめのサイズ選択も可能な場合が多い。脱落リスクのある非終末血管のAnchoringにはコイルが流れないように硬めかつ大きめのコイルを選

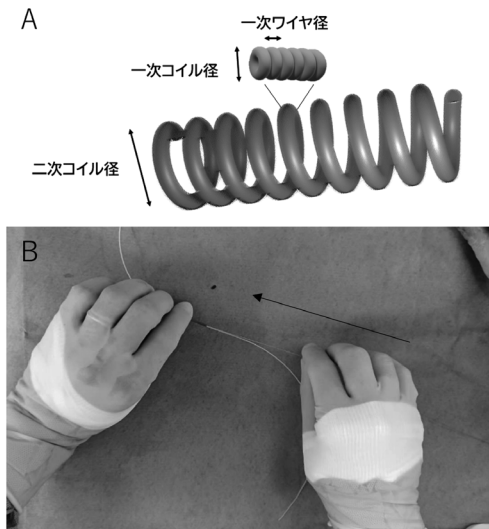


Fig. 1 コイルの基本構造とコイル操作

A) コイルの基本構造. 一次コイル径 (0.010"~0.035") が太いほど硬い. 一般的には血管径の 1.3~1.5 倍の二次コイル径のものを選択するが, コイルの種類や年齢, 解剖などによって異なる. B) 折れずにデリバリワイヤーを進めるためには第 3, 4 指をワイヤーに軽く沿えてイントロデューサーシースにまっすぐ進める.

挿する. 馬場らは Anchoring コイルには 1.5~1.8 倍, 追加コイルには 1.2 倍と報告している⁸⁾. 遠位部への迷入リスクのない終末血管や親カテの固定が十分な場面では思い切ったサイズ選択も可能である. コイル長はコイルの種類ごとに異なるが, 一般的には大きなサイズでは長いコイルラインナップがありその分コイル本数が削減でき経済面に貢献できる. 当院では親カテの固定が十分であれば, 経済的なコスト削減と効果的な塞栓をねらって, 太めの一次コイル径で, 大きな二次コイル径, 長いコイルを選択するようにしている. コイル形状はヘリカル形状, 3D 形状, 360 度形状, ランダム形状などさまざま, ファイバー付きのものや膨潤機能を有するものもある. コイルの挙動はそれぞれのコイルで異なるため日頃から実際に各社コイルを使用してその感覚を体感しておくのがよい. リスクのある場面では各施設で使い慣れたものを使用するのがよいだろう.

5) コイルのデリバリ

主に助手がデリバリワイヤーを進めるが, ワイヤーは細径であるため折れないように十分注意する必要がある. 折れてしまうとコイル展開時の挙動が感じにくくなってしまい, 無理なコイル操作につながる恐れがある. 折れずにデリバリワイヤーを進めるためには, 助手は胸の前で左手にイントロデューサーシースを持

ち, 右手第 1, 2 指でデリバリワイヤーをつかみ, かつ第 3, 4 指をワイヤーに軽く沿えてイントロデューサーシースにまっすぐ進めていくようにするとよい (Fig. 1B). デリバリ中の放射線被ばく量を軽減するためにコイルシャフトに印がついているものもある.

6) コイル展開

透視を確認しながら助手がデリバリワイヤーを進めてコイルを展開していく. 術者は親カテが抜けてこないように左手は親カテを持ち, 右手でマイクロカテーテルを操作する. ヘリカル形状のコイルでは術者がマイクロカテーテルを少し出し入れしてランダムに巻くように操作するが, 360 度形状やランダム形状のコイルではその必要はない. 1 本目のコイルを展開する際, 最初の一巻が巻かずに Anchoring しない場合にはコイルを出す速度を変えることで巻くことがある. 長いコイルを展開していく際にはマイクロカテーテルを手前に引きながらコイルを積み上げていくが, 最初は抵抗なくコイルが巻いてもコイルが充填し展開するスペースがなくなっていくと抵抗を感じる. この時に無理なコイル操作を行うとキックバックによる脱落・迷入やアンラベルするリスクがあるため, 助手が抵抗を感じた場合は術者に伝え, 術者はマイクロカテーテルの位置を少し引いてコイルが展開するスペースを作るようにする. またコイルをマイクロカテーテルから繰り返し出し入れすることはコイルアンラベルにつながる可能性があり, できれば 1 回もしくは極力少ない回数でコイルを展開していくべきである. 特に SR (Stretch Resistance) 機構のないコイルを選択した場合にはコイルにテンションをかけると容易にアンラベルするためコイル操作には十分に注意する. コイルがすべてマイクロカテーテルから出たことに気づかずにデリバリワイヤーを押しすぎるとコイル脱落につながるが, メーカーによってはマイクロカテーテルの先端部分に 2 か所のマーカーがついているものがあり, コイルが最後までデリバリされたことが明瞭である.

7) コイル離脱

デタッチャブルコイルの離脱は機械式, 水圧式, ワイヤー式, 電気式があるが, どれも性能は優れ離脱時のトラブルは少ないように思う. 離脱後デリバリワイヤーを引くときにはコイルが確実にデタッチしているか必ず透視で確認する. 離脱後も連結部分やマイクロカテーテルにコイル断端が引っ掛かっていることがあるが, その場合はデリバリワイヤーかほかのワイヤーでそっと押し引いて引っ掛かりを外すようにするとよい.

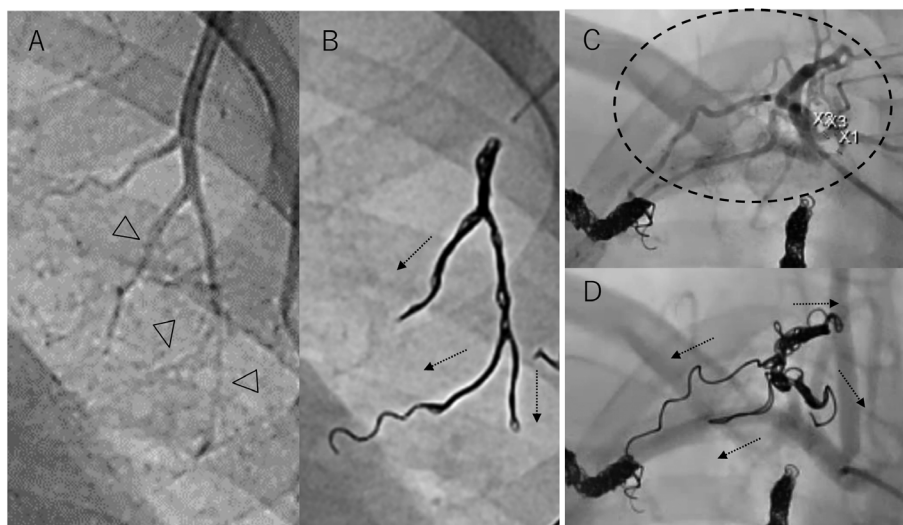


Fig. 2 複雑に分岐した血管へのコイル塞栓

A, B) 18歳フォンタン術後患者における外側胸動脈の塞栓. 末梢分枝の径は1mm以下であったが, Target™ XXLコイル6mm×40cm, 5mm×20cmでそれぞれの分枝(矢頭)に入り込んで(矢印)塞栓した. C, D) 11歳フォンタン術後患者における複雑に分岐した体肺側副動脈(点線円)の塞栓. 分枝の血管径は1~1.5mmであったが, Target™ XXL 5mm×20cm×2本で分枝に入り込むように塞栓した(矢印).

注意を要する血管解剖に応じて 考慮される手技方法や注意点

コイル本数を減らすために

コイル治療にはコスト経済的な側面も無視できず, 常に被ばく時間削減を目指すことも忘れてはならない. ここでは特にコイル本数が多くなりがちな血管解剖に対して効率的・効果的なコイル塞栓を行うための取り組みとして当施設の例で述べる.

フォンタン症例に見られる体肺側副動脈は肺内で複数の血管がネットワークを形成することもあり, できるだけ末梢から塞栓するのが望ましい⁷⁾. 血管の手前だけを塞栓してもネットワークを通して血流が再開してしまうこと, そしてその場合手前を塞栓した後であるため再治療が困難となることが理由である. ただし, 複雑に分岐した血管のそれぞれの分枝や長い血管を末梢から塞栓するのは相当なコイル数と治療時間が必要となる.

a. 複雑に分岐した血管

それぞれの分枝にマイクロカテーテルを挿入し, 細い血管径に合わせた小径のコイルを選択すると, 小径のコイルは各社とも短いラインアップしかなく, 結果的に非常に多くの本数のコイルが必要となる. 例えば Fig. 2Aのような外側胸動脈からの3本に分岐した側副動脈で, 末梢の分枝の血管径が0.8~1mmで手前は1.8mmの場合, 仮にそれぞれの分枝に2mm×6cm

の0.014"コイル2本ずつ×3, 手前に3mm×9cmの0.014"コイル2本で塞栓したと仮定すると, 総コイル本数は8本でコイルが占める総体積は約54.9mm³となる. 親カテが十分に安定していれば思い切ったサイズのコイル選択が可能で, ある程度柔軟性に優れたコイルであればコイルの外に広がる力を利用して分枝に入り込んで少ない本数で塞栓することができる. 実際の塞栓ではTarget™ XXL (Stryker, USA) コイル6mm×40cm, 5mm×20cmを Fig. 2Bのように各分枝に展開して塞栓した. 同コイルは一次コイル径0.017ながら柔軟性が高い特徴がありこのような分枝にも入り込みやすい. この症例に使用したコイル本数はわずか2本でコイルの総体積は87.9mm³になった. 別の治療症例を Fig. 2C, Dに示す. 複雑に分岐した体肺側副動脈で分枝の血管径は1~1.5mmであったが, Target™ XXL 5mm×20cm×2本で分枝に入り込んで塞栓できている. ほかに0.012"と細めだがランダムループ形状のi-ED Complexコイル(カネカ, 日本)も細かい分枝に入り込みやすさを感じるコイルである.

b. 長い血管

特に長い内胸動脈からの体肺側副動脈は複数個所から発達することが多いが, 内胸動脈を末梢からすべて塞栓すると Fig. 3Aのように大量のコイルが必要となる. この症例の総コイル数11本, 総コイル体積は114mm³であった. 当院では効率的な塞栓を目指して膨潤型コイルを使用しており実例を示す. Fig. 3Bで

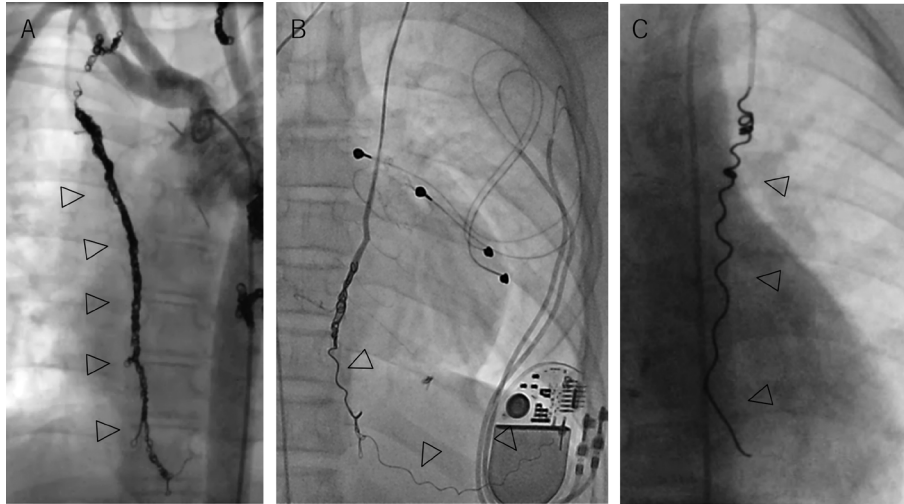


Fig. 3 長い内胸動脈へのコイル塞栓

いずれもフォンタン患者における内胸動脈塞栓治療。A) 長い内胸動脈を末梢からコイルを積み上げると11本のコイルが必要であった(矢頭)。B) 内胸動脈の末梢にAzur™18 5mm×20cmを巻かずにルーズに留置(矢頭)。C) 親カテを内胸動脈末梢まで挿入しAzur™35 4mm×15cmを末梢から巻かずに留置(矢頭)。外膨潤型のAzur18, 35は膨潤によるコイル自体の体積増加が期待できる。

は内胸動脈の末梢から血管径0.5mm部分にAzur™18(テルモ, 日本)5mm×20cmを巻かずにルーズに留置している。Azur™18は0.018"コイルであるが膨潤し0.027"とし体積を大幅に稼ぐことができる。Fig. 3Cのように親カテが末梢まで挿入できればAzur™35が使用可能で、このコイルは0.048"まで膨潤する。これはmm換算にするとコイルだけで1.2mm径となるため、末梢血管径1mm程度の血管であればコイルを留置するだけで閉塞する。この症例では1.3~2mmの内胸動脈にAzur™35 4mm×15cmを同じように末梢からルーズに留置した。使用コイルはAzur™35の1本のみでコイル体積は175mm³にのぼり、手前をもう1本のコイルでPackingし、結果的に計2本のコイルで長い内胸動脈を塞栓し得た。このような長い血管に対してはほかのコイルと組み合わせる膨潤型コイルをルーズに留置することで、経済的側面に配慮し、かつ効果的な塞栓・再疎通を防ぐことが期待できる。ほかにもiEDアンフィニコイル(カネカ, 日本)は二次コイル形状が緩やかに設計された特徴的なコイルであり、長い血管に広がりながら効果的な塞栓が得られる。

c. 柔らかい血管

静脈静脈短絡では動脈に比べ柔らかく、また小児では動脈でも成人と比べると柔らかく、大きめのコイル径が選択されることが多い。親カテが安定していれば当院では血管径の3~4倍の二次コイル径のものを選択して効率的な塞栓を行っている。Fig. 4Aの症例では、正面像2.5mm×側面像2.5mmの静脈静脈短絡血管に対してTarget™ XXL 6mm×40cmを八の字型

に留置したところ、1本で塞栓された。留置後のコイル形態をFig. 4B, Cで見ると矢印部分でのコイル径は正面像1.0mm×側面像4.0mmであり、大きいコイルを使用することで血管が楕円状に変形したことが確認された。これを血管の断面で考えるともとの血管の血管周長=7.85mm, 断面積=4.91mm²に対して、コイル留置後の楕円の血管周長=9.16mmと伸長したが断面積は3.14mm²と減少していた。柔らかい血管では大きめのコイルで血管を楕円状にしたほうが血管の断面積を減らすことができ効果的な塞栓が期待できると我々は考えている。

合併症を回避して安全に

JCICレジストリーに毎年登録されるコイル治療の合併症は2.4~3.9%であり決して少なくない^{5,9,10}。コイル治療に際して避けるべき合併症にはコイルの脱落・迷入、血管損傷、アンラベルがある。コイル治療を行う際には脱落・迷入した場合を想定した血管内異物除去用カテーテル(スネアなど)の準備も忘れてはならない。コイルの脱落・迷入は特に迷入先が左心系~体動脈側である場合や冠動脈内である場合は重篤な塞栓症を生じるため、絶対に回避すべきである。血管損傷は細かい血管に生じた場合の血液の漏出は少量で、手前を直ちに塞栓することで止血可能であるが、冠動脈や瘤状血管の損傷は避ける必要がある。アンラベルは無理なコイル操作によりコイルが損傷し二次コイル→一次コイル→フィラメントにほどけてしまい回収は困難を極める。これらの合併症を防ぐためには、

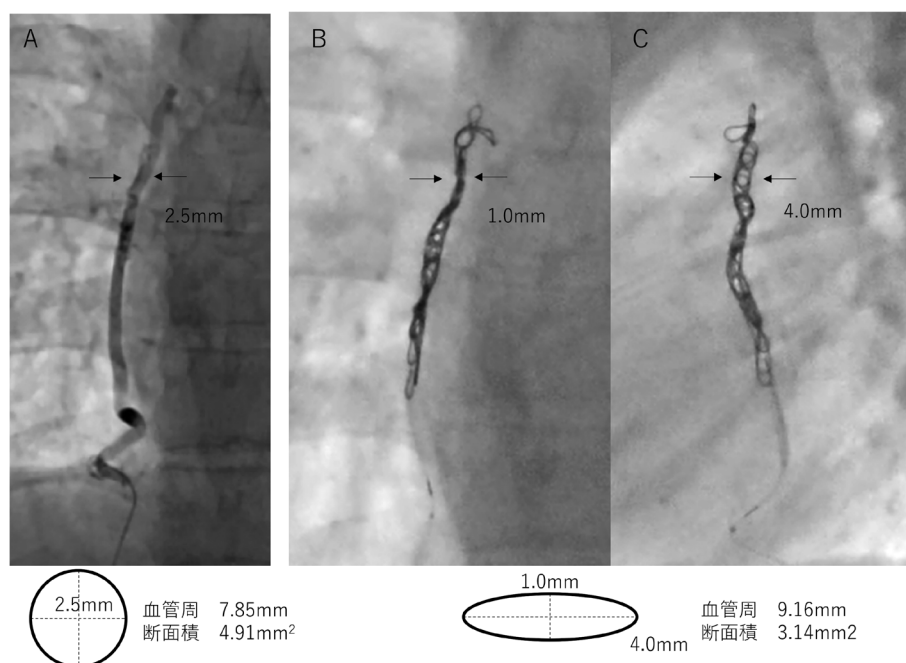


Fig. 4 柔らかい血管に対する効果的なコイル塞栓

19歳フォンタン患者の静脈静脈短絡。A: 留置前正面像, B: 留置後正面像, C: 側面像。2.5mm 径に対して Target™ XXL 6mm×40cm を八の字型に留置したところ血管が楕円状に変形していた (計測値は矢印部分の血管, コイル径)。変形後の楕円の血管周長はコイルにより伸長していたが断面積は減少しており, 楕円状にすることで塞栓効果を高めることが期待できる。

基本手技で述べたように(1)親カテの固定 (何より重要), (2)柔軟性の高いコイルを選択 (特にリスクの高い血管では), (3)コイルを無理に押さない (コイル展開時には手に感じる感覚を大事に, 術者と助手と連携する)ことが大事である。ここでは合併症を生じやすい血管解剖に対して安全に塞栓を行うためのより具体的な手法を当院の治療例を提示して述べる。

a. 親カテの固定が難しい血管

先に述べたとおりカテを対象血管深く挿入し固定することは安全にコイル塞栓を行うために最も重要である。しかし血管の起始角度, 蛇行が強い血管, 患者の体格によっては親カテの固定が難しくなる。その場合はキックバックによる脱落・迷入を防ぐために, より柔軟性の高い一次コイル径の小さなコイルを選択するようにすることが重要であるが, さらなる手法としてバルーン付のマイクロカテーテルを用いる, さらに細いマイクロカテーテルを孫カテとして使用するトリプルコアキシャル法があり, 安全にコイル治療を行うために有用な手法である。

〈バルーン付マイクロカテーテル〉

バルーン付マイクロカテーテルは最大5mm～8mm 径まで拡張するバルーンがマイクロカテーテル先端に搭載されているもので LOGOS™ (製造販売カネカ, 販売パイオラックス, 日本) や Pinnacle

Blue™ (東海メディカル, 日本) ある (Fig. 5A)。前者は緊急止血などを目的として製造された製品であるが内径が 0.018"ありコイル伝達カテーテルとして用いることもできる。後者は内径が 0.020"ありコイル伝達用として十分に使用できる。拡張したバルーンでカテーテルを血管に固定した状態でコイルを展開することでキックバックを防ぐことができる。実際の使用例 (Fig. 5B) では, 対象血管が浅く親カテが挿入できなかったが血管の近位を LOGOS™ で閉塞することでキックバックせずにコイルを展開留置できた。

〈トリプルコアキシャル法〉

親カテ/子カテに加えて孫カテを使用し, 段階的にカテーテルのプロファイルを小さくすることで強い屈曲蛇行血管へのアプローチや遠位でも安定した操作が可能となる^{11,12)}。体格の小さな小児では使用できるカテーテルが限られるが, 4F 造影カテ/ハイフロータイプのマイクロカテーテル/細径マイクロカテーテルを用いることで可能となる。実際の症例 (Fig. 5C, D) では, 体重 2.2kg の腹腔動脈からの MAPCA を 4Fr JR/2.9Fr Leonis Mova™ マイクロカテーテル (住友ベークライト, 日本)/1.9Fr Carnelian™ Marvel マイクロカテーテル (東海メディカル, 日本) のトリプルコアキシャル法で塞栓した。大腿静脈から順行性に VSD, 大動脈経由で腹腔動脈入口部へ 4F JR を

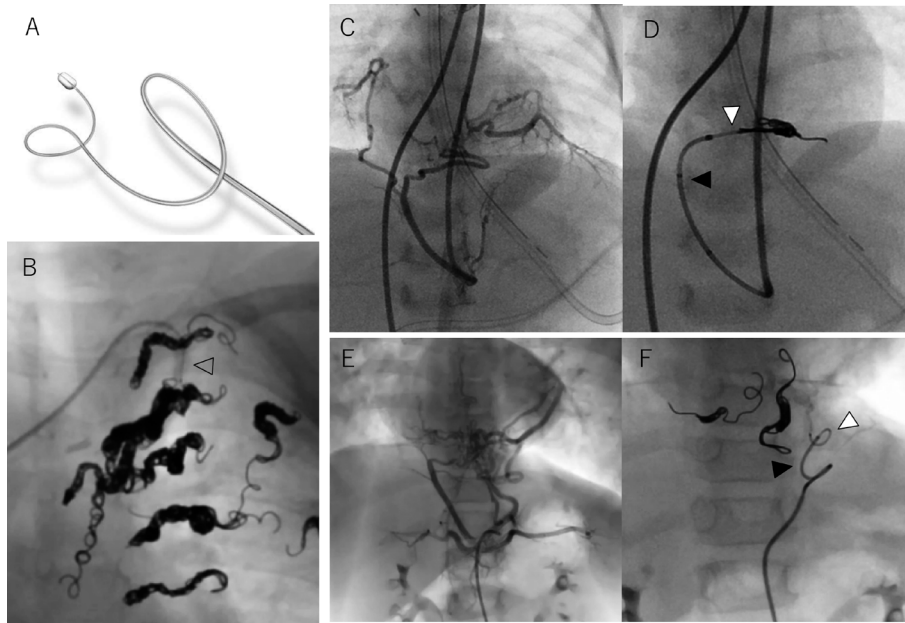


Fig. 5 親カテの固定が難しい血管に対するコイル塞栓

A) LOGOS™ バルーン付マイクロバルーン. B) フォンタン患者の内胸動脈塞栓. 親カテが挿入できなかったが近位でバルーンを拡張させ固定した状態で (矢頭) キックバックを抑えコイルを留置した. C, D) 体重 2.2kg の腹腔動脈からの MAPCA. 大腿静脈から順行性に VSD 経路で腹腔動脈入口部へ親カテを位置し, 子カテ (矢頭黒), 孫カテ (矢頭白) で血管深くまで挿入しコイル塞栓した. E, F) 腹腔動脈からの著しく蛇行した側副血管をトリプルコアキシャル (矢頭黒, 矢頭白) で遠位までアプローチしコイル塞栓した.

位置し, 子カテ, 孫カテで血管深くまで挿入することで安定してコイル留置することができた. Fig. 5E, F は別の症例で腹腔動脈からの著しく蛇行した側副血管をトリプルコアキシャル (4F JR/Carnelian™ HF-S 2.6/2.8F/Carnelian™ Marvel 1.9F) で遠位までアプローチしコイル塞栓した.

b. 狭窄のない血管, 血流の速い血管, ランディングゾーンが短い血管

非終末血管かつ狭窄のない血管ではコイル脱落リスクが高く Anchoring に最大の注意を払う必要がある. 基本手技で述べたように Anchoring コイルには硬めでやや大きなものを選択するが, 狭窄がなく血流速度も速いためコイル展開時に容易に末梢に流れてしまう可能性がある. その際にはバルーンにより一時的に血流を停止してコイルを展開する Stop flow テクニックや Amplatzer™ Vascular Plug を併用した方法が有用である.

〈Stop flow テクニック〉

バルーンカテーテルで血流を遮断してコイル留置を行う¹³⁾. 血管径に合わせてバーマンカテや先述のバルーン付マイクロカテーテルを用いる. バルーン付マイクロカテーテルを用いれば塞栓部位の遠位で血流を遮断することも可能である. 冠動脈瘻では心筋虚血の有無を確認し閉塞部位を特定する目的でも使用でき

る. バルーンを拡張させて血流を遮断した状態でバーマンカテでは先端から, バルーン付マイクロカテーテルでは先端もしくは別に挿入したマイクロカテーテルから, Anchoring コイルを留置していきコイルが密になった状態でバルーンを Deflation する. この際はコイルが移動しないか注意しながら少しずつバルーンを Deflation するのがよい. 万が一複数のコイルが脱落・迷入した場合の回収は困難となるからである. 実際の治療例を Fig. 6 に示す. Fig. 6A は瘤を伴う冠動脈肺動脈瘻で短絡血流が速く, 塞栓する瘤の遠位側を LOGOS™ バルーンで閉塞した状態で, 別のマイクロカテーテルを瘤に挿入しコイルで充填して塞栓した. Fig. 6B, C は太く血流の速い MAPCA の近位を Pinnacle Blue™ 20 バルーンで閉塞した状態で先端からコイル Target™ XXL 5mm×20cm を留置して塞栓した.

〈Amplatzer™ Vascular Plug (AVP) の併用〉

AVP (Abbott, USA) は円筒状でナイチノール合金によるメッシュ構造を呈し, 自己拡張することで高流量の中型から大型血管において塞栓効果が高い¹⁴⁾. 我が国では現在 AVP, AVP2, AVP4 の 3 種類が承認されている. 心臓および頭蓋内血管は適応外であるが, 手技が簡便で特に AVP4 は 4Fr 造影カテでデリバリー可能であり体格の小さな小児においても使用しやすい.

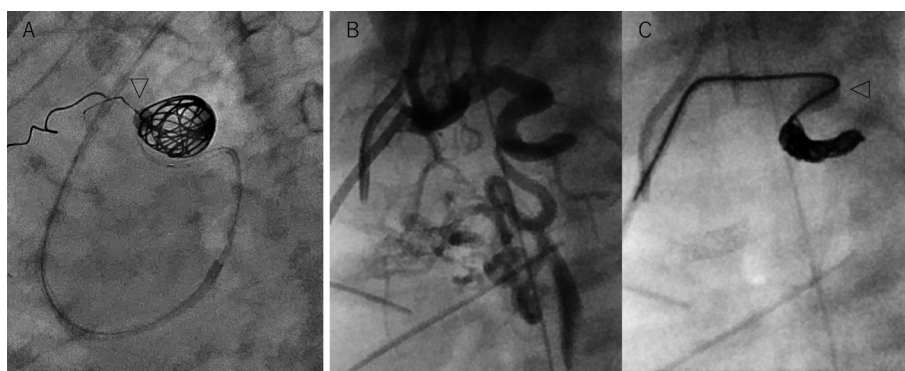


Fig. 6 Stop flow 法での塞栓例

A) 冠動脈肺動脈瘻の成人症例。短絡血流が速く、塞栓する瘤の遠位側を LOGOS™ バルーン (矢頭) で閉塞した状態で瘤をコイルで充填して塞栓した。B, C) 太く血流の速い MAPCA。肺動脈への脱落迷入リスクがあり Pinnacle Blue™ 20 バルーンで近位を閉塞し (矢頭), 先端からコイルを留置した。

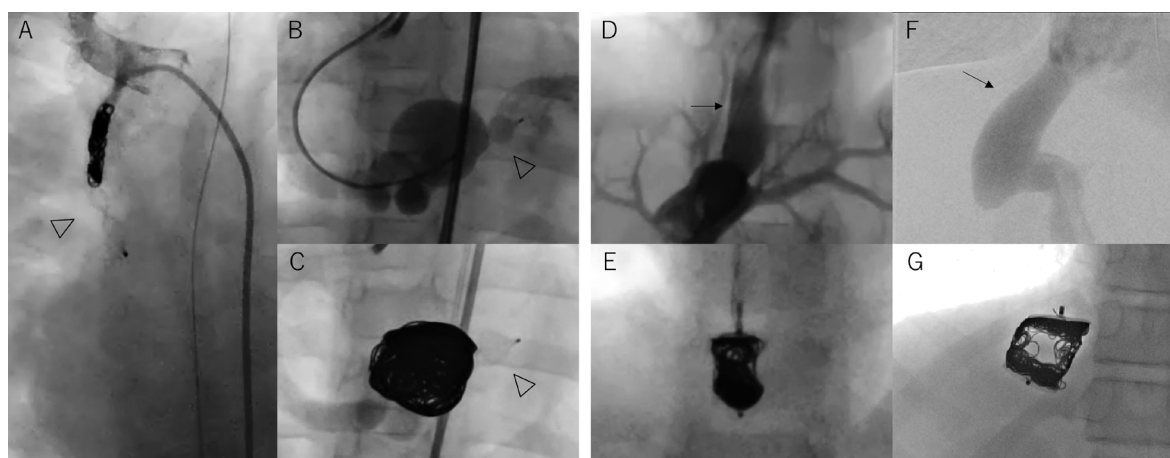


Fig. 7 AVP 併用例

A) 3.5 mm BT シャントを AVP4 5mm (矢頭) を Anchoring として留置し上流にコイルを追加して完全塞栓した。B, C) 右冠動脈左室瘻で非常に血流が速く左室への脱落リスクがあったが、左室開口部に AVP4 8mm (矢頭) を留置し手前の瘤をコイルで充填して完全塞栓した。D, E) 径6×長さ12mmの太く短い門脈体循環シャント血管であり AVP 12mm を留置しコイルを充填して完全に塞栓した。F, G) 最大径16mmの太い門脈体循環シャント血管に AVP2 22mm を留置し、ディスクの脇から挿入したマイクロカテーテルよりディスク間をコイルで充填した。

・ Anchoring として使用

狭窄のないもしくは血流の速い血管の塞栓において、AVPを Anchoring として使用することでコイルの脱落リスクを最小限に抑えることができる。Fig. 7A は血流の速い BT シャントに対して AVP4 を Anchoring として留置し上流にコイルを追加して完全塞栓した。Fig. 7B, C は血流の非常に速い右冠動脈左室瘻であったが、左室開口部に AVP4 を留置し手前の瘤をコイルで充填して完全塞栓した。AVP のほかにも ADO デバイスなどを Anchoring に使用することも可能である¹⁵⁾。この方法では塞栓子デバイスをいかに病変部へデリバリーするかが最も重要であるが、ワイヤループなどを形成することでデリバリーカテ

を進める方法も有用である¹⁶⁾。AVP4 は 4Fr 造影カテでデリバリーできる点でこの方法に使用しやすい。

・ Coil in Plug

AVP 中、もしくは AVP のディスク間にコイルを充填して塞栓力を高めることができる^{17,18)}。特にランディングゾーンの短い血管や、門脈体循環短絡血管に対する塞栓治療のように下流側からアプローチする場合は非常に有用である。AVP は円筒状の Robe のみの形状であるため、両側にディスクを備えた AVP2 と比べてランディングゾーンが短い塞栓力が劣る。そこで AVP の中にコイルを充填することで塞栓力を高めることができる。Fig. 7D, E の門脈体循環シャント血管は径6×長さ12mm と太く短かったため AVP 12mm

を留置し内部に先端 1.7Fr Excelsior™SL-10 マイクロカテーテル (Stryker, USA) を挿入して合計 4 個の Target™ XL コイル (7mm, 10mm) を充填して完全に塞栓した。先端荷重の大きいガイドワイヤーと先端細径のマイクロカテーテルであれば AVP のメッシュを通過することが可能であるが、あらかじめ体外で AVP にマイクロカテーテルを通しておく手法もある。AVP2 は塞栓力が高いが太い血管や屈曲した血管ではディスクに隙間が生じてしまい塞栓が不十分となることがある。その場合にはディスク間にコイルを敷き詰めることで完全塞栓を目指す方法がある。Fig. 7F, G のような最大径 16mm の太い門脈体循環シャントに対して AVP2 22mm を留置し、ディスクの脇から挿入したマイクロカテーテルよりディスク間をコイルで充填した。この際を選択するコイルはディスク間のスペースに広がるよう大きめのサイズ、かつコイル展開時にディスクから外に流出しないよう柔らかいコイルが望ましい。この症例では折れ曲がりやすい DELTAWIND 構造をもつ DELTAFILL™18 (Johnson & Johnson, USA) を用いた。

まとめ

小児のコイル塞栓術は広く行われている治療手技であり、その基本的手技から注意すべき血管に対する塞栓方法について解説した。すでに多くのコイルが流通しており各施設で使い慣れたものや手法があると考えられる。またトラブルシューティングを含めここに紹介できなかった手技も多くある。さらに今後も新しい特徴のあるデバイスや塞栓手技が開発されるであろう。多種多様な血管解剖と対峙する小児循環器治療医は、それらを取り入れ習得しながら効率的、効果的な塞栓を安全に遂行できるよう精進していく必要があると考える。

利益相反

本稿について開示すべき COI 関係にある企業などはありません。

引用文献

- 1) Gianturco C, Anderson JH, Wallace S: Mechanical devices for arterial occlusion. *AJR Am J Roentgenol* 1975; **124**: 428-435
- 2) Walsh KP: Advanced embolization techniques. *Pediatr Cardiol* 2005; **26**: 275-288
- 3) 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
- 4) 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
- 5) Kim S-H, Matsui H, Inuzuka R, et al: Nationwide registry data of catheter interventions and ablations for congenital heart disease, Kawasaki disease, and tachyarrhythmias in Japan during 2019: Annual report from Japanese Congenital Interventional Cardiology Registry (JCIC-R). *J JCIC* 2022; **6**: 17-28
 - 6) 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)
 - 7) 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
 - 8) 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
 - 9) Yoshimoto J, Inuzuka R, Matsui H, et al: Pediatric and congenital catheter interventions and ablations in Japan during 2017: Annual report from Japanese Pediatric Interventional Society Database (JPIC-DB). *J JPIC* 2018; **3**: 43-55
 - 10) Kim S-H, Matsui H, Inuzuka R, et al: Nationwide registry data of catheter interventions and ablations for congenital heart disease, Kawasaki disease, and tachyarrhythmias in Japan during 2018: Annual report from Japanese Congenital Interventional Cardiology Registry (JCIC-R) (former Japanese Pediatric Interventional Cardiology Database (JPIC-DB)). *J JCIC* 2019; **4**: 24-38
 - 11) Yoshimura M, Hitora S, Terakado T, et al: A case of spinal ventral epidural arteriovenous fistula of the lumbar spine successfully treated by transarterial embolization by using a triaxial system. *J Neuroendovasc Ther* 2015; **9**: 163-169
 - 12) Yuen M-H, Cheng K-M, Cheung Y-L, et al: Triple coaxial catheter technique for transfacial superior ophthalmic vein approach for embolization of dural carotid-cavernous fistula. *Interv Neuroradiol* 2010; **16**: 264-268
 - 13) Qureshi SA: Transcatheter closure of coronary artery fistulas. In: Sievert H, Qureshi SA, Wilson N, eds. *Percutaneous interventions for congenital heart disease*. Informa Healthcare **200**: 423-430
 - 14) Wang W, Li H, Tam MD, et al: The amplatzer vascular plug: a review of the device and its clinical applications. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2012; **35**: 725-740
 - 15) Bruckheimer E, Harris M, Kornowski R, et al: Transcatheter closure of large congenital coronary-cameral fistulas with Amplatzer devices. *Catheter Cardiovasc Interv* 2010; **75**: 850-854
 - 16) Carminati M, Giugno L, Chessa M, et al: Coronary-cameral fistulas: Indications and methods for closure. *EuroIntervention* 2016; **12** Suppl: X28-X30
 - 17) Koganemaru M, Tanaka N, Nagata S, et al: Internal coil packing for mesh occlusion device. *J Vasc Interv Radiol* 2017; **28**: 1199-1201
 - 18) Koganemaru M, Tanoue S, Kuhara A, et al: Internal coil packing of an Amplatzer Vascular Plug after incomplete occlusion of the afferent vessel of a splenic artery aneurysm. *J Vasc Interv Radiol* 2018; **29**: 1310-1313