

## 肺 AVM に対する IVR

1. 肺動静脈奇形に対する塞栓術  
－疾患の概念と治療戦略－

兵庫医科大学 放射線科

廣田省三, 山本 聡, 前田弘彰, 阿知波左千子, 新井桂介, 小林 薫

## はじめに

肺動静脈奇形は比較的稀な病変であるが、逆行性塞栓による脳梗塞や、低酸素血症をきたすなど何らかの症状を有することも多く、発見次第治療適応を含めた診療を要する疾患である。本疾患はかつて、肺動静脈瘻とよばれ、その血管構築が比較的単純な瘻構造と考えられていたが、複雑な構築を示すものもあり、動静脈奇形と動静脈瘻の混合型と考えるべきで、治療に際してもその構造を十分に理解しておく必要がある。近年、血管奇形についての概念の変遷がみられ、ISSVA という血管奇形の国際ワークショップの1996年分類では、血管奇形のAVM / AVFのcombined typeに分類される。また、経カテーテル塞栓術が有用で、現在では、第一選択となっている。本稿では、我々の30例80個以上のAVMの治療経験を基に肺動静脈奇形の疾患概念、治療戦略<sup>1-5)</sup>について述べたい。

## 概念

1) 成因は、90%以上は先天性。後天性は外傷、門脈圧亢進症でもおこるとされる。先天性の多くは、遺伝性出血性毛細血管拡張症 (HHT: Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia, または Rendu-Osler-Weber 病) に伴うとされる。米国の HHT 遺伝子による同定では、肺動静脈奇形の90%はHHTという。我が国では、HHT 遺伝子を用いた正確な同定がなされておらず、聞き取りによる家族歴調査によると、20~30%といわれている。

## 2) 血管の発生、異常の形成時期

血管の発生の段階は、3段階にわかれる。まず、最初は、A) 未分化毛細血管網期で、次に、B) 網状発育期に入る。この時期では、capillary bedを介さないでcapillaryの癒合で大きな蔓状血管腔の連続を形成する。次に、C) 最終発育期に入り、原始血管成分の吸収と成熟した動脈、毛細血管、静脈成分の形成が行われる。

AVMは、B)の網状発育期の異常で、毛細血管を介さない未成熟な動脈と静脈とのチャンネルが存続することで、発生する。MacrofistulousなAVMや、Microfistulous AVMsが存在する。後毛細血管網の異常がおこれば静脈奇形となり、網状発育期後期の異常がAVF

になる。これら stage の overlap による混合血管病変も多く存在する。C) 期の異常では未成熟な血管異常の存続がおこる。

## 3) 肺動静脈奇形の症状

殆どの症例の血中酸素分圧が、正常人より10から20mmHg以上低い低酸素血症を呈する。多発例では、50mmHgということもある。ばち状指、多血症を呈する。右左シャントに起因する逆行性塞栓による脳梗塞が比較的高率におこり、細菌のembolusでは脳膿瘍を呈する。Rosenblattの学会報告<sup>6)</sup>や、Moussouttas<sup>7)</sup>の論文では、脳梗塞と流入動脈径の関係を調べ、流入動脈の径が3mm以上で梗塞率が上昇するとしている。また、単発例で14%、多発例で27%にMRI上脳梗塞がみられるという。

また、HHTでは脳血管奇形を伴うことがあり、脳内出血をみることもある。動静脈奇形が気道に穿破し喀血、血胸を呈するという報告もあるが、我々は経験していない。また、HHTでは、鼻粘膜に毛細血管拡張がおこり、鼻出血がおこる。ひどい場合は毎日鼻出血を呈し、慢性の貧血を呈することもある。また、肝に動静脈短絡を生じ肝硬変となることや、消化管にも血管異常が発生し消化管出血を呈することもある。

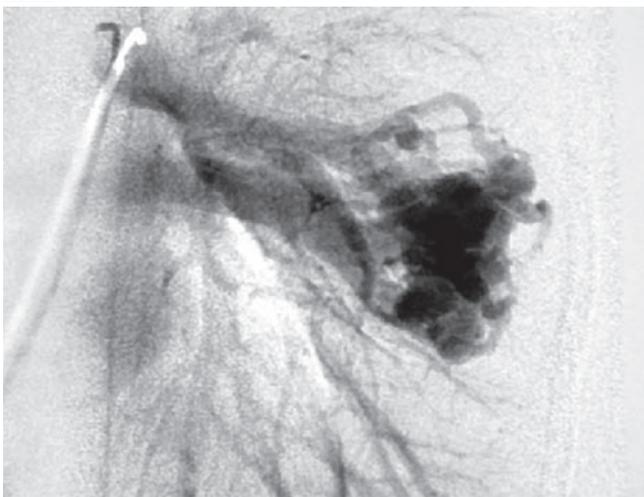
## 4) 肺動静脈奇形の形態・分布 (図1, 2)

Whiteら<sup>2)</sup>による肺動静脈奇形の分類では、流入動脈、流出静脈が1本のsimple型が80%、流入動脈、流出静脈が複数でナイダスと呼ばれる異常吻合の部分が複雑なcomplex型が20%前後とされる。また、約30%に多発例がある。さらに、希ではあるが、びまん型を呈することもある。びまん型<sup>8)</sup>は、多くは幼少期に死亡するが、PaO<sub>2</sub>が40mmHg前後で経過する場合、成人以降まで生存することもある。

## 5) 肺動静脈奇形の経カテーテル塞栓術の治療戦略 (表1)

治療法としては、外科的切除と経カテーテル塞栓術<sup>9-11)</sup>がある。経カテーテル塞栓術は、多発でも治療可能で、また肺機能の損失も少なく、第一選択である。

まず、我々が開発した肺動脈用の7Fガイディングカテーテル (メディキット) を用いる (図3)。このカテーテルには10mmごとのマーカーが付いており、選択造



a | c  
b

図1

- a : Simple 型
- b : Complex 型
- c : びまん型



図2

- a : Sac の複雑な単純型 AVM
- b : マイクロコイルによる塞栓術後

a | b

表1 コイル塞栓術の塞栓物質の目安

流入動脈径(mm)	使用コイル
< 5	micro coil, Nester, macro coil
5 < < 10	macro coil, micro coil, Nester
10 < < 15	IDC + macro coil (フローコントロール要)
15 <	Onyx 特殊金属スパイダー + macro Coil, Amplatzer Vascular Plug

\*macro coil : 0.035 インチコイルのこと  
micro coil : マイクロカテーテルを通過するコイル

影後、流入動脈径を正確に測定する際のキャリブレーションとなる。治療戦略としては、流入動脈径、AVMの形と、フローの速さが重要な因子である。i) 我々は流入動脈の径で5mm以下のものでは、マイクロカテーテルを流入動脈に挿入し、はmicro coilやNester coilで十分に塞栓可能である。コイル直径の選択の目安は流入動脈径の2mm増しのものとする。ii) 5mm以上の流入動脈径になると、フローも速くなり、コイルの静脈への逸脱(migration)の可能性がでてくる。コイルの逸脱防止に5mm以上大きめのIDCを1~2個入れ、アンカーとして使い、万が一逸脱しても、IDCで止まるようにする工夫も必要となる。IDCやGDCをsac(瘻の嚢胞様拡張部)内に入れる方法も報告されている<sup>12)</sup>。しかし、ハイフローでは、sac内で一旦巻いて収まったIDCが、血流にあおられて、流出静脈に逸脱する合併症を経験している。ハイフローの場合はフローコントロールが必要で、さらに慎重な操作が望まれる。コイルアンカーという商品名の塞栓物質もあるが、0.035のルーメンが必要で、マイクロカテーテルには使えない。流入動脈の分岐が比較的ストレートで5Fのカテーテルがそのまま挿入出来れば、0.035インチのコイルを用いる。0.035のコイルは塞栓力も、拡張力も強く、動脈径より2~3mm大きめのコイルであれば、コイル逸脱をおこす心配は少ない。iii) 10mm前後の流入動脈径で、極めて流速が速いAVMでは5Fのバルーンカテーテルを挿入してバルーン拡張によりフローを遮断し、0.035インチの10mmから12mm径のコイルを数個留置する。0.035コイル数個の塞栓は強固で、バルーンを解除してもコイルは逸脱することはない。iv) 流入動脈径が15mmを超えると、金属スパイダー<sup>13,14)</sup>をコイルアンカーにして、IDCや15mm径の大きいコイルを積み重ねることになる。JaksonコイルなどのPDA閉塞コイルが使用出来るか考慮する。最近、欧米でOnyx<sup>15)</sup>と呼ばれる液状の塞栓剤が発売された。これは、緩徐に注入すると大きな塊状の固形となり、ナイダスを完全に塞栓してしまうものである。大きなAVMには新たな視点が必要である。また、メカニカルな塞栓物質では、Amplatzer Vascular Plug<sup>16,17)</sup>が、籠状の形態の大きなコイルであり、15mm前後の動脈径をもつAVMに

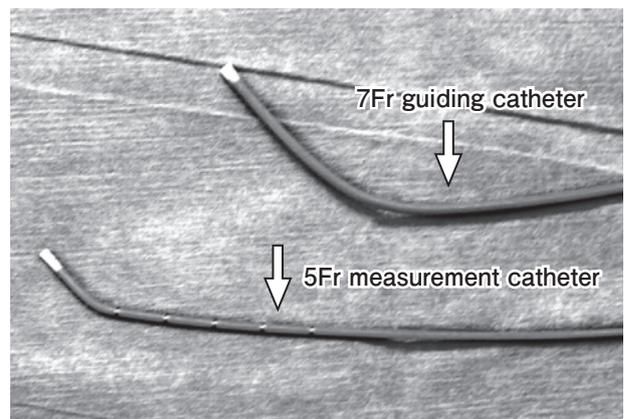


図3 ガイディングカテーテル

は適応となると思われる。

合併症としては、やはり、コイルの逸脱である。もし、逸脱した場合、脳梗塞を防ぐために、即座に頸動脈を押さえることが肝要である。

#### 【文献】

- 1) Porstman W. : Therapeutic embolization of arteriovenous pulmonary fistula by catheter technique. In : Kelop O, ed. Current concepts in pediatric radiology. Springer, Berlin, 1977, p23-31.
- 2) White RI, Mitchel SE, Barth KH, et al : Angioarchitecture of pulmonary arteriovenous malformations : An important consideration before embolotherapy. AJR Am J Roentgenol 140 : 681-686, 1983.
- 3) White RI, Lynch-Nyhan A, Terry P, et al : Pulmonary arteriovenous malformations : techniques and long-term outcome of embolotherapy, Radiology 169 : 663-669, 1988.
- 4) Keller FS, Rosch J, Barker AF, et al : Pulmonary arteriovenous introduction of coil springs. Radiology 152 : 373-375, 1984.
- 5) Duggan CJ, Grinnel VS, Piggot PC : Successful percutaneous balloon occlusion of a large pulmonary arteriovenous malformation. Thorax 44 : 76-77, 1989.
- 6) Rosenblatt M, Pollak JS, Fayad PB, et al : Pulmonary arteriovenous malformations : what size should be treated to prevent embolic stroke(abstr)? Radiology 185 : 134, 1992.
- 7) Moussouttas M, Fayad P, Rosenblatt M, et al : Pulmonary arteriovenous malformations : cerebral ischemia and neurologic manifestations. Neurology 2000 ; 55 : 959-964.
- 8) Faughnan ME, Lui YW, Wirth JA, et al : Diffuse pulmonary arteriovenous malformations : characteristics and prognosis. Chest 117 : 31-38, 2000.

- 9) Gupta P, Mordin C, Curtis J, et al : Pulmonary arteriovenous malformations : effect of embolization on right-to-left shunt, hypoxemia, and exercise tolerance in 66 patients. *AJR Am J Roentgenol* 179 : 347-355, 2002.
- 10) Dinkel HP, Triller J : Pulmonary arteriovenous malformations : embolotherapy with superselective coaxial catheter placement and filling of venous sac with Guglielmi detachable coils. *Radiology* 223 : 709-714, 2002.
- 11) Mager JJ, Overtoom TT, Blauw H, et al : Embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations : long-term results in 112 patients. *J Vasc Interv Radiol* 15, 2004.
- 12) Takahashi K, Tanimura K, Honda M, et al : Venous sac embolization of pulmonary arteriovenous malformation : preliminary experience using interlocking detachable coils. *Cardiovasc Intervent Radiol* 22 : 210-213, 1999.
- 13) Hirota S, Sako M, Fujita Y, et al : Transcatheter embolization for huge pulmonary arteriovenous fistula using metallic "spider" and spring embolus-application of hand-made metallic "spider" using a partial monorail technique. *Nippon Acta Radiologica* 52 : 942-948, 1992.
- 14) Hirota S, Matsumoto S, Tomita M, et al : Pulmonary arteriovenous fistula : long-term results of percutaneous transcatheter embolization with spring coils. *Radiat Med* 16 : 17-23, 1998.
- 15) Vanninen RL, Manninen I : Onyx, a new liquid embolic material for peripheral interventions : preliminary experience in aneurysm, pseudoaneurysm, and pulmonary arteriovenous malformation embolization. *Cardiovasc Intervent Radiol* 30 : 196-200, 2007.
- 16) Cil B, Canyigit M, Ozkan OS, et al : Bilateral multiple pulmonary arteriovenous malformations : endovascular treatment with the Amplatzer Vascular Plug. *J Vasc Interv Radiol* 17 : 141-145, 2006.
- 17) Andersen PE, Kjeldsen AD : Occlusion of pulmonary arteriovenous malformations by use of vascular plug. *Acta Radiol* 48 : 496-499, 2007.

## 肺 AVM に対する IVR

2. 肺動静脈奇形に対するコイル塞栓術  
－ 塞栓物質の選択と手技の実際 －大阪大学大学院医学系研究科 放射線医学講座  
大須賀慶悟

## はじめに

肺動静脈奇形(以下、肺 AVM)は、先天的な血管形成異常による毛細血管を介さない肺動脈から肺静脈への短絡である。自覚症状に乏しく健診で偶然発見される場合も多いが、病変の増大や多発に伴い、右左短絡に起因する低酸素血症による労作時息切れ・チアノーゼや奇異性塞栓症による脳卒中・脳膿瘍が問題となる。血管壁は脆弱で破裂による喀血・血胸も合併し得る。症候例は治療の適応となるが無症候例でも流入動脈径が3mmを超えた場合は奇異性塞栓のリスクが高く治療対象となる<sup>1)</sup>。現在は、外科的手術よりも低侵襲的な経カテーテル的血管塞栓術が第一選択であり、本稿では、塞栓物質の選択と手技の実際について述べる。

## 塞栓物質の種類

肺 AVM の血管構築は、流入動脈、短絡部の囊状静脈瘤 (venous sac)、および流出静脈よりなる動静脈瘻 (AVF) を形成する<sup>2)</sup>。右→左短絡のため、塞栓物質の通過は左心腔内遺残や奇異性塞栓に直結するため許容されない。従って、選択する塞栓物質は広径血管を対象にした近位塞栓型の器具類の使用が前提であり、本邦ではほぼ金属コイルに限定される。その他、離脱式バルーンや<sup>3)</sup>、新たな器具としてvascular plug<sup>4)</sup>が報告されている。一方、末梢塞栓型の粒子や液状の塞栓物

質の適応は原則的にない。以下、代表的な器具を解説する。

## 1) ファイバー・コイル

従来のステンレススチール製に替わり、MRI 対応のプラチナ製またはインコネル合金製の0.035inch プッシュャブル・コイルが現在主流である。インコネル合金製には特殊なネジ式の離脱式コイルもある。マイクロカテーテルに対応した0.018inch マイクロコイルは皆プラチナ製である。従来のマイクロコイルは、塞栓力が弱く、逸脱しやすく、しばしば多数要し、肺 AVM には使いにくい。これらの欠点を補い、塞栓力により優れたマイクロネスター・コイル (Cook 社製) の有用性が期待される (図1)<sup>5)</sup>。

## 2) 離脱式マイクロコイル

囊状瘤の内腔充填や、コイル逸脱が懸念される場合に、微妙な位置調整や再収納が可能な離脱式マイクロコイルが有用である。離脱法によって、通電式の GDC (Boston Scientific 社)、連結式の IDC (Boston Scientific 社製) (図2)、ネジ式の Detach (Cook 社製)、および水圧式の TruFill DCS (Johnson and Johnson 社製) などがある。肺 AVF ではスパイラル型の IDC や、スパイラル型あるいは J 型(直線状)の Detach など機械的離脱のものが主に使われる。デリバリーには必ず2マーカーのマイクロカテーテルを用いる。コイル接合部手前3cmのマーカーとマイクロカテーテルのセカンド・マーカーとの重なりでコイル全長が血管内に出る瞬間を把握する。

## 3) Vascular plug

Amplatzer Vascular Plug (AGA medical 社製) は、ナイチノール製メッシュで出来たネジ式の離脱式塞栓器具である (図3)。展開径は4～16mm 径と選択が豊富で、対象血管径より30～50% 大きなサイズが推奨されている。肺 AVM では血管閉塞に10分弱要するとされている<sup>4)</sup>。閉塞を待つ間の血栓通過のリスクを問題視する意見もあるが、金属コイルを複数留置する間にも同様のリスクはあると思われ、手技中の全身へパリン化が重要である<sup>6)</sup>。肺 AVM の塞栓術には有望な器具であり本邦での早期導入が望まれる。

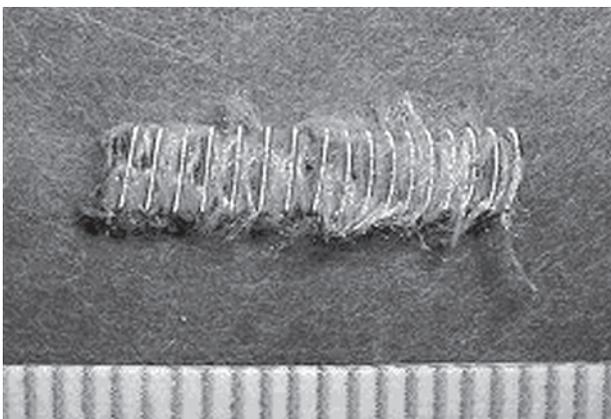


図1 マイクロネスターコイル(メディコス・ヒラタ社)  
(文献5より掲載許諾)  
伸展長は一律14cmと長く自然形状はスパイラル型である。

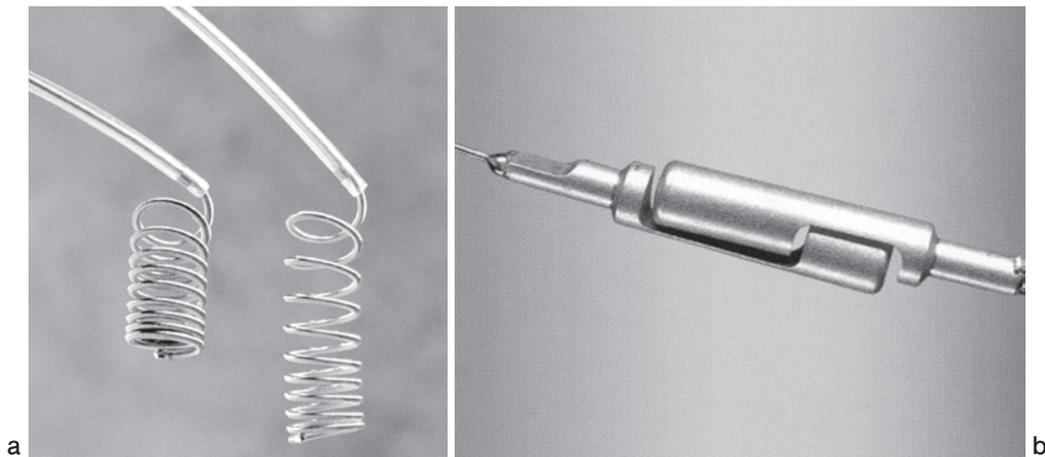


図2 離脱式マイクロコイル IDC-18 (Boston Scientific 社写真提供)

- a: 柔軟なスパイラル形状のコイルでファイバーを持たない。  
b: 連結式の接合部。カテーテルから出た瞬間に離脱される仕組み。

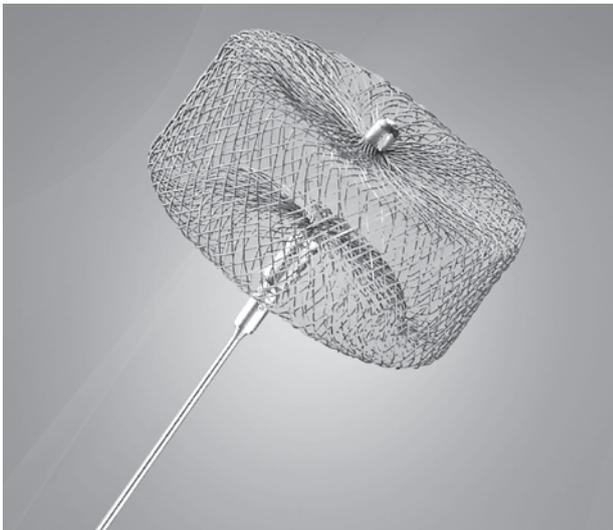


図3 Amplatz Vascular plug (AGA Medical 社写真提供)  
ナイチノール製メッシュで出来た円柱状の自己拡張型栓子。デリバリーワイヤーを回転させるとネジが外れて離脱される。

## 塞栓術の実際

### 1) 術前計画

肺 AVM の存在診断や術前評価には、胸部 CT の役割が大きい。特に、MDCT を用いた 3D-CT は、肺野条件観察で病変血管の詳細な立体表示や血管径の計測が可能で術前計画には欠かせない。但し、経静脈性造影剤の投与は微小気泡の混入の機会を与えるため控えるべきである。

### 2) 前処置

通常の血管造影に準じる。前腕ルート確保、尿道バルーン留置、術前アタラククス P 筋注、抗生物質の

予防投与などを行う。静脈ルート確保の際は、気泡が混入しないよう細心の注意を払う。

### 3) 造影手技

6-7Fr シースで大腿静脈を確保し、ヘパリン 50 単位/kg をシースより静注する。ピッグテール・カテーテルを用いて肺動脈造影を行う。3D-CTA を参照に病変描出に適した方向の撮影を加える。肺動脈造影に続き、260 cm 長 0.035 inch ガイドワイヤーを用いて、6-7Fr ガイディングおよび 4-5Fr コアキシャル・カテーテルの塞栓用システムに交換する。マルチパーパス型のアングル形状のガイディングおよびコアキシャル・カテーテルを組合せると、造影剤を注入して方向を確かめながらカテーテル操作だけで病変へ到達しやすい。選択が難しい場合は親水性ガイドワイヤーを用いて誘導する。血栓付着を防止するため、ガイディング・カテーテルには Y コネクターを通じて加圧バッグにて生理食塩水(生食)を持続還流する。流入動脈の選択造影では、カテーテル先端が血管壁や微細枝にウェッジしていないことを確かめ、過度の圧が加わらないよう造影剤の手押し注入で撮影を行う。短絡直前での撮影であり、いかなる気泡や血栓も混入してはならない。

### <ポイント> ガイドワイヤーの抜去

カテーテルが血管壁にウェッジされた状態でワイヤーを抜去すると、空気を吸い込んで奇異性塞栓の原因となる。防止策として、カテーテル・ハブの隙間に生食を持続的にシリンジで注入するか、生食を満たした容器にカテーテル・ハブを漬けながらワイヤーを抜くとよい。

### 3) 塞栓手技

原則的に venous sac 直前で流入動脈を塞栓する。肺

AVMの再開通の主因は、コイルの隙間を介した血流再開であり、コイル留置は密な充填を心がける<sup>2)</sup>。特に、血流を残した中途半端なコイル留置は血栓飛散の原因となる。流入動脈が短く十分な塞栓距離が確保できない場合は、venous sacの充填塞栓を行う。但し、venous sacの経時的退縮が塞栓効果の指標になるため、sac内のコイルはfollow-up CTでアーチファクトの原因となり評価を妨げる。またsac壁は脆弱で不用意なカテーテル操作は破裂のリスクを伴う。

#### ①流入動脈塞栓

事前の3D-CTや流入動脈造影に基づいて塞栓部位を決定し、血管径を測定し、塞栓コイルの種類とサイズを決める。流出静脈はしばしば流入動脈より太く、特に第一コイルを逸脱させないことが肝要である。第一コイルの選択は、ラジアル・フォースが高いもの、伸展長が長いもの、あるいは再収納可能な離脱式コイルなどを考慮する。流入動脈が太い場合はバルーン遮断やアンカー器具の併用を考慮する。第一コイルは血管径より2mm以上オーバー・サイズのものを選択する。2個目のコイル留置も、第一コイルを押し出さないよう細心の注意を要する。3個目以降の留置は比較的安心である。

#### <ポイント> コイル留置におけるカテーテル操作

コイルを充填留置するためには、コイルが1回巻くたびに奥に押し込むようにデリバリー・カテーテルを前後運動させ、コイル形状が密になるようコントロールする。デリバリー・カテーテルがキックバックしてコイルが伸展しないよう、ガイディング・カテーテル

を深く挿入し十分なサポートを確保しておく。

#### <ポイント> 第一コイルの逸脱防止の工夫

肺AVMでは第一コイルの留置に最も神経を使う。

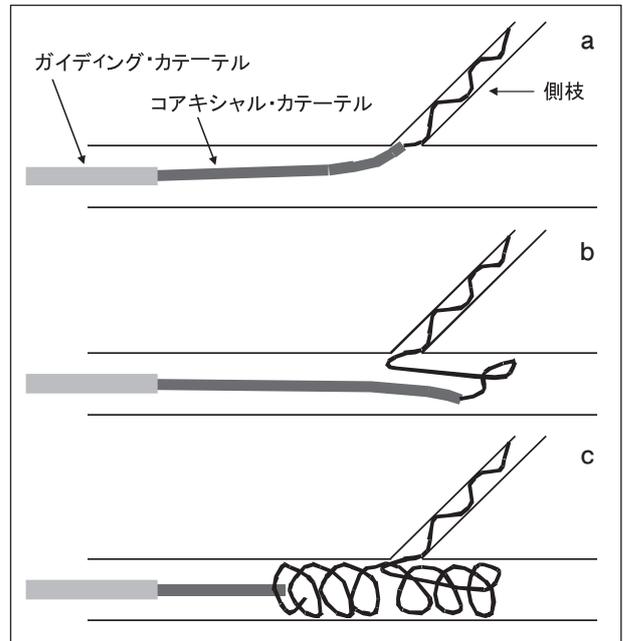


図4 側枝アンカー法

- a: コアキシャル・カテーテルを側枝から引き戻しながら、コイル先端数cmをアンカーさせる。
- b: 本幹で少し押し込んでからコイルを巻き始める。
- c: コイルの残りの部分を本幹に留置する。

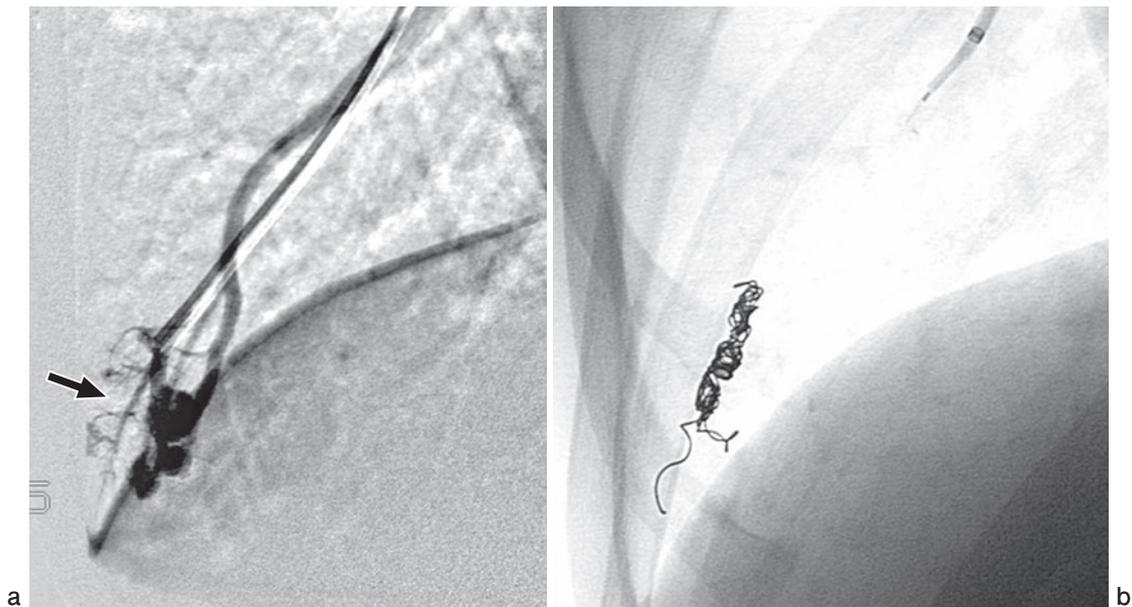


図5

- a: 流入動脈造影。右肺S8下縁に肺AVMを認める。Venous sac直前に細い側枝を認める(矢印)。
- b: 側枝より流入動脈本幹にかけて4mm径マイクロネスター・コイルをアンカー留置し、続いて3mm径マイクロネスター・コイル2個で流入動脈を充填塞栓した。

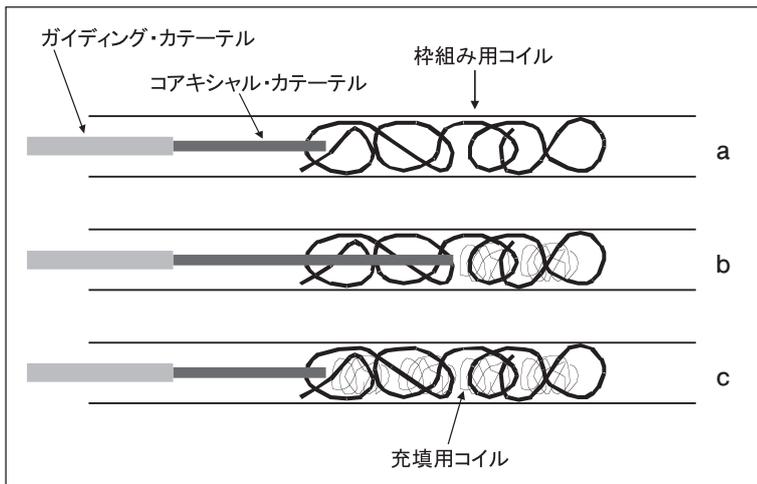


図6 枠組み (scaffold) 法

a: ラジアル・フォースが強くオーバー・サイズのコイルで血管壁に沿って枠組みを作る。  
b, c: コアキシャル・カテーテルを再挿入し、柔軟なコイルで内腔を充填する。

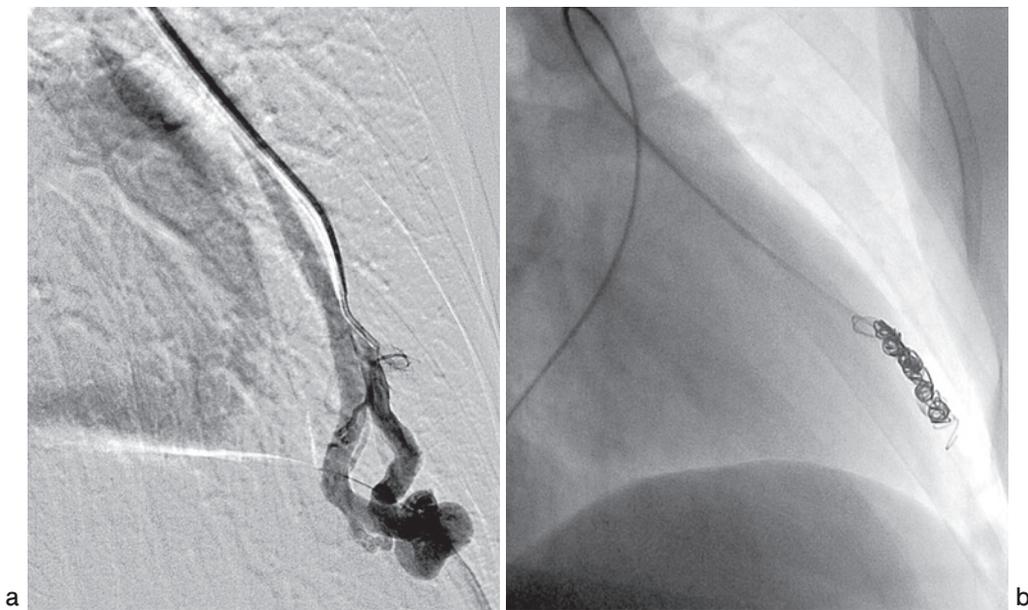


図7

a: 流入動脈造影。左肺S5末梢に肺AVMを認める。Venous sac直前に側枝を認めない。  
b: 最初に10mm径インコネル製ファイバー・コイルを枠組み留置し、続いて6~8mm径プラチナ製コイルで枠組み内部を充填塞栓した。

以下、逸脱防止の工夫を列挙する。

a. 側枝アンカー法

付近の側枝にカテーテルを挿入し、第一コイルの先端数cmを側枝にアンカーしてから本幹を塞栓する。コイルは伸展長が十分長いものを選択する (図4, 図5)。

b. 枠組み (scaffold) 法

広径の第一コイルで大きな枠組み (scaffold) を作ってから、その内部を小径コイルで密に充填していく (図6, 図7)。

c. Venous sacのフレーム塞栓

Venous sacに離脱式マイクロコイルをラフにフレーム留置してから流入動脈のコイル塞栓を行う。

但し、CTでアーチファクトの原因となり sacの消退過程はモニターし辛くなる。

d. バルーン遮断の併用

バルーンカテーテルによる血流遮断下にコイル塞栓を行う。バルーン遮断中の血栓形成および解除時の血栓飛散防止のため特に十分な全身ヘパリン化が重要である<sup>7)</sup>。

e. アンカー器具の併用

金属スパイダー<sup>8)</sup>、コイルアンカー<sup>9)</sup>の併用の報告がある。但し、器具の脚が血管壁を穿通しないかなどかなど慢性期の影響は不明である。

## ② Venous sac の瘤内充填術

Venous sac の瘤内充填術は、主に離脱式マイクロコイルを用いる。マイクロカテーテル先端がネックからやや離れた瘤壁に沿うように挿入する。瘤壁に突き当たった状態でのコイル挿入は穿孔の危険がある。最初は瘤壁に沿って均等なフレームを作る。コイルの偏りが無いよう、2方向観察を心がける。第一コイルのサイズは、スパイラル型では瘤径に合わせる。瘤径よりフレームが小さいと瘤壁との間に隙間が残るため、再収納して大きなコイル径でやり直す。Sac が大きい場合は、瘤壁またはフレーム隙間にもたれながら任意の形状を作りやすい J 型（直線状）を用いる。順次、コイル径・長を落としてフレーム内部を充填していく。途中ファイバー・コイルに切替えてもよいが、万が一マイクロカテーテルが流入動脈側にキックバックすると瘤内に再挿入できない恐れがある。また、一旦離脱したコイルの回収は、無理に引っ張ると途中でほどける（アンラベル）危険があり、控えるべきである。

## 4) 塞栓後の確認

塞栓後の流入動脈造影では venous sac および流出静脈が描出されないことを確認する。また、塞栓前に気付かなかった他の流入動脈を検索するため肺動脈本幹からの造影も行う。この際、venous sac が肺静脈経路で逆行性に描出される場合があり、コイル塞栓部の再開通と間違えないようにする。

## 5) 術後管理

コイル留置と血栓形成に伴う感染予防のため経口抗生物質を数日間投与する。胸膜に近い肺 AVM では胸膜炎による疼痛を訴えることがあり、頓用の鎮痛剤を処方する。

## 6) 経過観察

1 ヶ月後、6 ヶ月後、1 年後、以後隔年程度に、胸部単純 X 線および胸部単純 CT にて塞栓部のコイル形状、venous sac の消退過程、周囲の随伴炎症性陰影の検索などを評価する。SpO<sub>2</sub> の変化もモニターする。6 ヶ月後～1 年後に venous sac の縮小や低酸素血症の改善がない場合は、コイルの再開通あるいは副供血路の存在が示唆され、塞栓術の追加を考慮する。

## まとめ

肺 AVM は、一般に稀な疾患と考えられているが、画像診断および IVR を担う放射線科医にとっては、遭遇することは稀ではなく、その診療体系に積極的に関与すべきである。特に IVR による血管塞栓術は第一選択治療であり、胸部 CT や血管造影で血管構築を正しく評価し、各塞栓器具の特徴と使用法を理解して、的確かつ安全に血管塞栓術を施行することが重要である。

## 【文献】

- 1) Moussouttas M, Fayad P, Rosenblatt M, et al : Pulmonary arteriovenous malformations : cerebral ischemia and neurologic manifestations. *Neurology* 55 : 959-964, 2000.
- 2) Pollak JS, Saluja S, Thabet A, et al : Clinical and anatomic outcomes after embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations. *J Vasc Interv Radiol* 17 : 35-44, 2006.
- 3) Saluja S, Sitko I, Lee DW, et al : Embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations with detachable balloons : long-term durability and efficacy. *J Vasc Interv Radiol* 10 : 883-889, 1999.
- 4) Cil B, Canyigit M, Ozkan OS, et al : Bilateral multiple pulmonary arteriovenous malformations : endovascular treatment with the Amplatzer Vascular Plug. *J Vasc Interv Radiol* 17 : 141-145, 2006.
- 5) 大須賀慶悟, White RI, Khankan AA, 他 : 血管塞栓用マイクロネスター・コイルの使用経験. *IVR 会誌* 20 : 285-288, 2005.
- 6) White RI : Re : Bilateral multiple pulmonary arteriovenous malformations : endovascular treatment with the Amplatzer vascular plug. *J Vasc Interv Radiol* 17 : 913-915, 2006.
- 7) Tal MG, Saluja S, Henderson KJ, et al : Vein of Galen technique for occluding the aneurysmal sac of pulmonary arteriovenous malformations. *J Vasc Interv Radiol* 13 : 1261-1264, 2002.
- 8) 廣田省三, 松本真一, 富田 優, 他 : 血管奇形と動脈瘤の IVR 血管奇形（動静脈瘻・動静脈奇形）IVR 肺動静脈瘻に対する塞栓術. *IVR 会誌* 11 : 317-321, 1996.
- 9) 坂本郁子, 富山憲幸, 宮川正男, 他 : 肺動静脈瘻に対しコイルアンカー併用塞栓術を行った 1 例. *IVR 会誌* 18 : 76, 2003.

## 肺 AVM に対する IVR

3. 肺動静脈奇形に対するコイル塞栓術  
— 治療成績と合併症を中心に —

兵庫医科大学 放射線科

山本 聡，廣田省三，前田弘彰，阿知波左千子，新井桂介，小林 薫

## はじめに

肺動静脈奇形 (Pulmonary Arteriovenous malformations) は、肺動脈と肺静脈が壁の薄い瘻 (aneurysmal sac) を介し異常吻合する疾患であり、その結果右左シャントに伴う低酸素血症や心不全、脳膿瘍や脳梗塞をきたす。1977年に Porstmann<sup>1)</sup>らが最初に経カテーテル塞栓術の報告をして以降、従来の外科手術に変わり経カテーテル塞栓術が治療の中心となっている<sup>2)</sup>。本稿では肺動静脈奇形に対する経カテーテル塞栓術における基本手技および合併症と成績について解説する。

## 術前検査

診断は単純X線写真やCTでなされることが多い。単純X線写真では、類円形の結節に連続する拡張した血管を認める。CTではより精細に描出されることから治療計画に有用である。特にMDCTによる3D画像やMPR画像は流入動脈と瘻の関係やそのサイズの計測に非常に有用であることから、当院では治療前の造影CTでの評価は必須としている。しかしながら、造影CTは空気塞栓を発症する危険を有することから、その是非については議論のあるところであり、施行の際は細心の注意が必要である。それ以外に酸素飽和度や動脈血酸素分圧の測定などが必要となる。

治療の gold standard は肺動脈造影検査であることから、治療前に詳細な評価ができていない場合は、まず肺動脈造影検査を行い、後日経カテーテル塞栓術を行うこともある。

表1 準備する物品

- ガイディングシース (メディキット)
  - 7Fr 85cm
  - 8Fr 70cm (バルーンカテーテル使用時)
- メジャー付きガイドワイヤー (クリニカルサブライ)
- バルーンカテーテル (クリニカルサブライ)
  - 5.2Fr 100cm <バルーン最大径9mm>
- 金属コイル
  - DETACH (COOK)
  - IDC (Boston) など

## 治療適応

流入動脈径が3mm以上の単発・多発動静脈奇形、あるいは増大傾向のあるものが適応となる。それ以外にも低酸素血症やチアノーゼを伴うものや、脳膿瘍、脳梗塞など逆行性塞栓症の症状あるいは既往のあるもの、肺・胸膜への出血の既往のあるものも適応となる。

## 準備するもの(表1)

ガイディングシースは7Fr・85cm, 8Fr・70cm (いずれもメディキット社製) を用意している。両者の使い分けは、high flow typeのAVMの場合はバルーンカテーテルを用いたflow controlが必要となるため8Fr・70cmを使用し、flow controlの必要がない時は7Fr・85cmのものを使用している。

前述のとおりhigh flow typeの場合は5.2Fr・100cmのバルーンカテーテル(クリニカルサブライ社製)を用いている。術前にhigh flow typeかlow flow typeかを確実に判別することは難しいため、いずれの場合も想定し上記すべてを用意している。

それ以外にメジャー付きガイドワイヤー(クリニカルサブライ社製)を用いることで、流入動脈径や瘻のサイズの計測が容易になることから積極的に使用している。

塞栓に用いるのは金属コイルを使用するが、コイルがmigrationした際には体循環系に流れ重篤な合併症を引き起こす可能性もあることから、確実な手技を行う必要があるためDETACH(Cook社製)やIDC(Boston社製)などの離脱式コイルを用いることが多い。マイクロカテーテルやガイドワイヤーについては通常の手技に用いるものを適宜使用している。

## 手技の実際

通常は右大腿アプローチを原則とし、用意したガイディングシースを留置したのち、バルーンカテーテルまたは通常の造影カテーテル(5Fr)を目的の肺動脈に留置する。ここでメジャー付きガイドワイヤーを挿入した状態で撮像を行い、流入動脈径や瘻のサイズの計測を行う。コイルのサイズを間違えると逸脱や不完全塞栓の原因となるため、サイズの計測は非常に重要なポイントである。その後マイクロカテーテルを先進させ、瘻の直前で流入動脈を塞栓する。

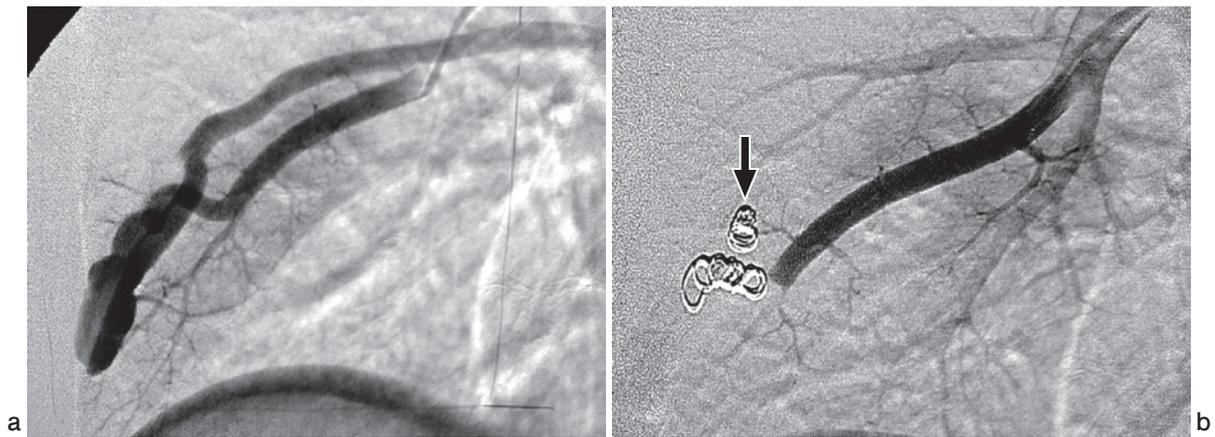
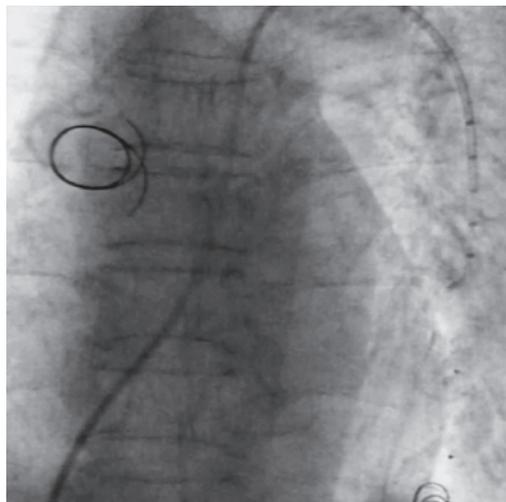
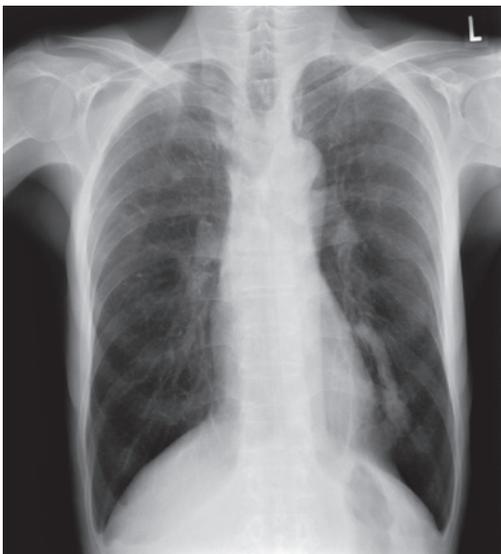


図1 コイルの逸脱(肺血管内)

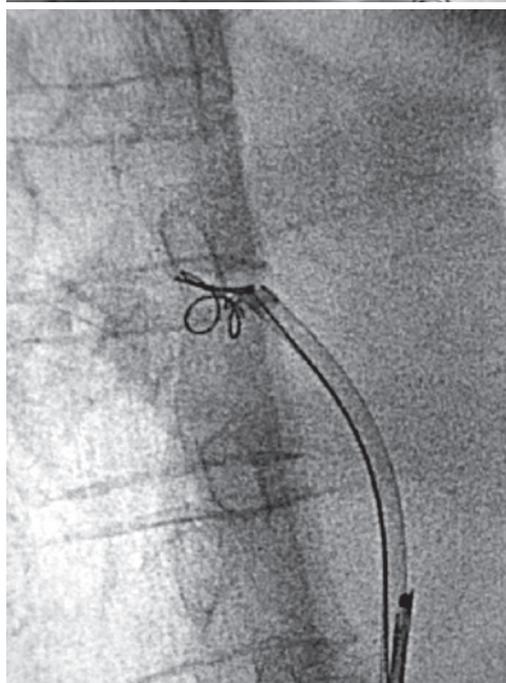
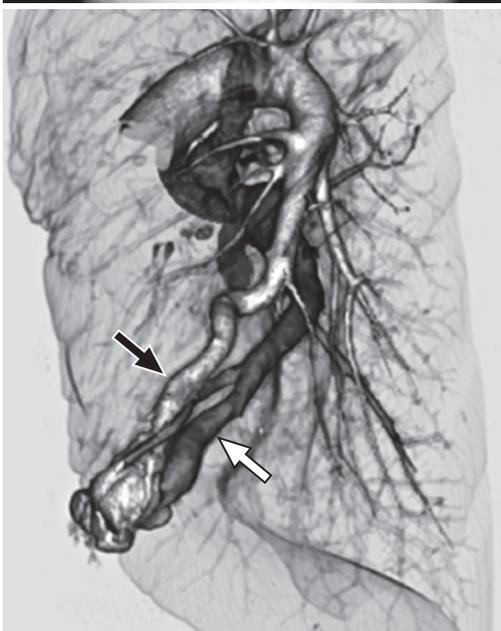
- a: 右下葉に high flow type の AVM を認める。
- b: 流入動脈のコイル塞栓施行中, マイクロコイル一個が sac を越え流出静脈内に逸脱した。(→) 流入動脈の完全塞栓により flow の消失が確認されたため, 更なるコイルの逸脱はないと判断し, 回収は行わなかった。



a	c
b	d

図2  
コイルの逸脱(体循環: 左心房)

- a: 単純X線写真上, 左下肺野に AVM を認める。
- b: 造影CT (3D 画像) を撮像することで, 流入動脈(→)と瘻, 流出静脈(⇨)との関係が明瞭となる。
- c: High flow type の AVM であったが, バルーンカテーテルを用いずに塞栓していたところ, IDC が左房内に逸脱。
- d: 開胸による回収も検討したが, 高齢のため断念。ブロッケンブロー針を用いて, 経心房中隔アプローチで左房内にシースを留置し, グースネックスネアーを用いて回収した。



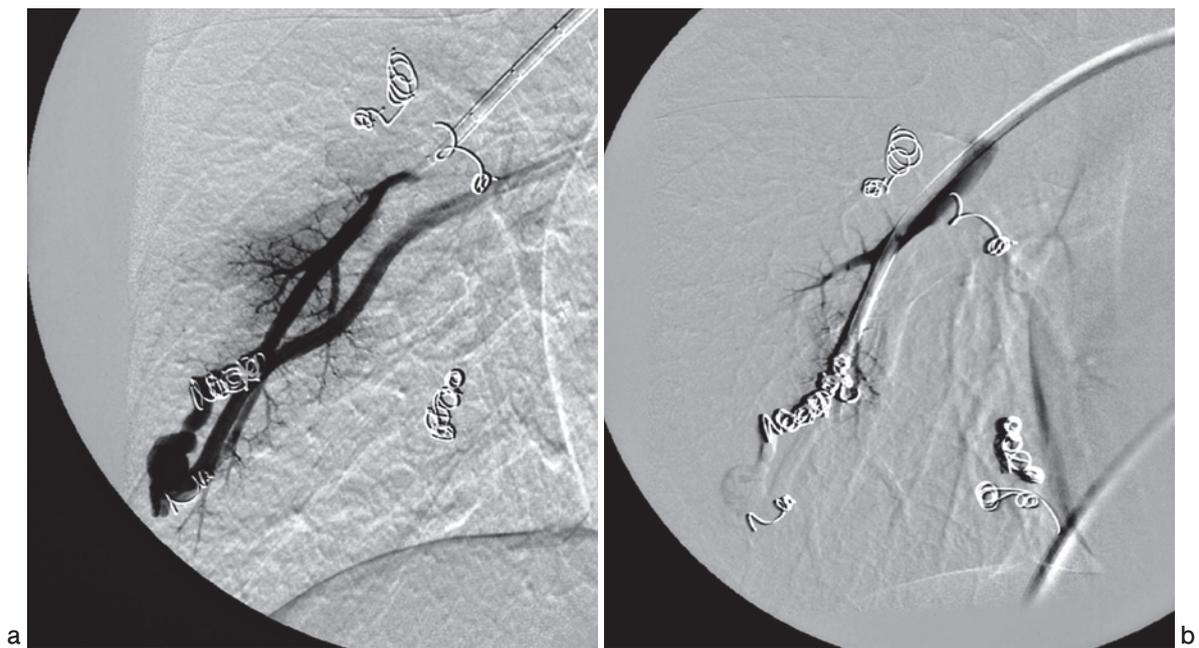


図3 再開通

a: 右下葉のAVMに対し流入動脈塞栓後、経過観察中に症状再発し肺動脈造影行ったところ再開通を認めた。

b: 再度追加塞栓を行い、完全塞栓となった。

手技中は塞栓症の予防のため、全身のヘパリン化が必須で、ルート確保後にヘパリン3000～5000単位を静注する。以後は手技時間に応じ追加投与する。(1000単位/時間)

手技中はヘパリン化生食水でのカテーテルフラッシュをこまめに行うことを忘れないようにする。その際は気泡が混入しないよう注意が必要である。

当院では前投薬は特に行っていないが、不安や緊張が強いようなら鎮静剤の投与を検討する。ただし感染予防のため術前より抗生剤の予防投与は行っている。

術中の管理は血圧、心電図、SpO<sub>2</sub>について行っており、神経症状の発現の有無はスタッフの声かけによって常に行うよう心掛けている。この観点からもあまり深い鎮静はお勧めしない。

被曝や造影剤使用量の観点から、多発例の場合、一回の手技時間は2～3時間(あるいはAVM3～4個)を限度としており、残ったものは後日行うようにしている。原則として同日内に両側にまたがる塞栓は避け、片側のみ行う。

### 合併症

手技に伴う合併症としては肺梗塞、胸膜炎、胸水貯留、奇異性塞栓、肺出血、肺炎、塞栓物質の逸脱、空気塞栓などがあげられる。

Mager<sup>3)</sup>によると、112症例349病変の経カテーテル塞栓術の結果、胸膜炎(13%)が最も多く発症し、重篤な合併症としてはTIA(2%)、体循環へのコイルの

逸脱(2%)と報告している。またPollak<sup>4)</sup>らは、145症例415病変の治療の結果、軽度の胸膜炎(12%)、重度の胸膜炎(2.4%)TIA(0.7%)と報告しており、両者とも致死的な合併症や後遺症が残った症例はなかったとしている。

具体的な対策として、胸膜炎の予防に対しては正常枝をなるべく温存し瘻の直前で塞栓することが重要である。またコイルの逸脱に関しては、特にhigh flowのAVMの場合はバルーンカテーテルを用い十分にflow controlを行った上で塞栓することが鍵となる。不適切なコイル選択をしてしまうと逸脱や不完全塞栓、正常枝の過剰塞栓になるため流入動脈や瘻のサイズ計測が重要である。

### 成績

治療成績に関しては、Magerら<sup>3)</sup>が技術的成功率96%、再開通13%、Pollakら<sup>4)</sup>が再開通7.6%と報告している。再開通の原因としては不完全塞栓や周囲動脈からの新たな関与、気管支動脈からの血流<sup>5)</sup>などがあげられる。

### Follow up

最も頻度の高い胸膜炎は、治療後48時間以内に起こり一過性であることが多いため、数日の入院加療ののち外来での経過観察となる。外来では症状の再発がなければ6～12ヵ月後に単純CTにて瘻の縮小・消失を確認する。

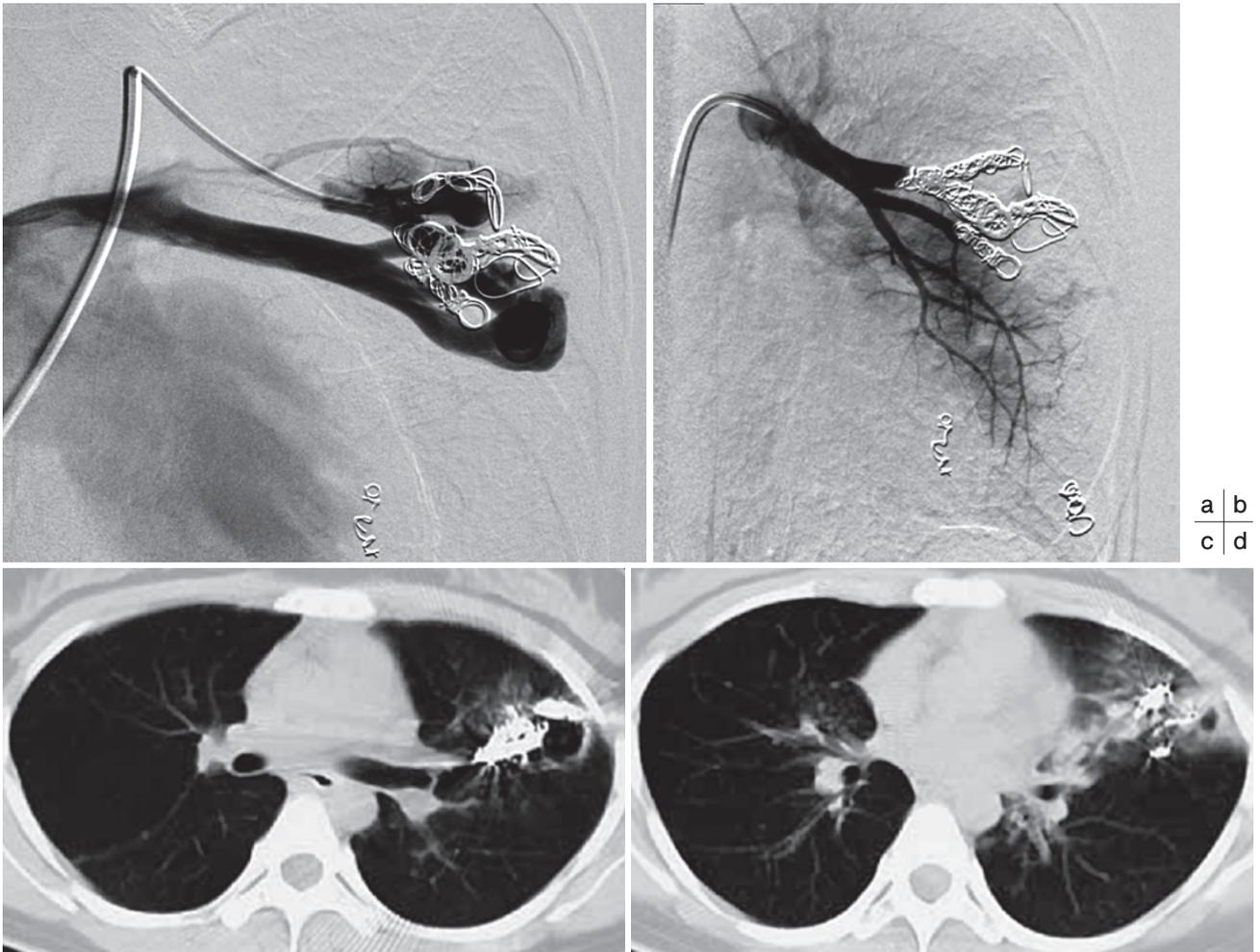


図4 術後肺炎

a: 18歳女性, 左S4のAVMに対し塞栓術施行。

b: 完全塞栓となり手技を終了し経過観察となった。

c, d: 3ヵ月後のCTにて, 塞栓部周囲に肺炎像が出現。検査の結果非定型抗酸菌症と診断。外科的手術を施行し改善した。

動脈血酸素分圧が治療直後より5～10mmHg以上低下した場合や、酸素飽和度が2～3%低下した場合は再発を疑う。また多発例の場合、再開通のみならず治療時点ではサイズが小さく治療適応とならなかったAVMが経過観察中に増大することがあることを知っておく必要がある。

なおこの期間には歯科治療などの感染予防も重要である。

#### 【文献】

- 1) Porstmann W : Therapeutic embolization of arteriovenous pulmonary fistula by catheter technique. In : Kelop O, ed. Current concepts in pediatric radiology. Berlin : Springer, 1977 ; 23-31.
- 2) Hirota S, Matsumoto S, Tomita M, et al : Pulmonary Arteriovenous fistula : Long-term results of

percutaneous transcatheter embolization with spring coils. Radiation Medicine 16(1)32 : 17-23, 1998.

- 3) Majer JJ, Overtom TT, Lammers HJ, et al : Embolotherapy of Pulmonary arteriovenous malformations : long-term results in 112 patients. J Vasc Interv Radiol 15 : 451-456, 2004.
- 4) Pollak JS, Saluja S, Thabet A, et al : Clinical and anatomic outcomes after embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations. J Vascul Interv Radiol 17 : 35-45, 2006.
- 5) Sagara K, Miyazato N, Inoue H, et al : Recanalization after coil Embolotherapy of pulmonary Arteriovenous malformations : study of long-term outcome and mechanism for recanalization. AJR 170 : 727-730, 1998.