

脊髄血管解剖と血管撮影の基礎

Basics of spinal vascular anatomy and spinal angiography

北海道大学神経外科 浅野 剛

Takeshi ASANO

Department of neurosurgery, Hokkaido University

Key words: Spinal angiography, Vascular anatomy

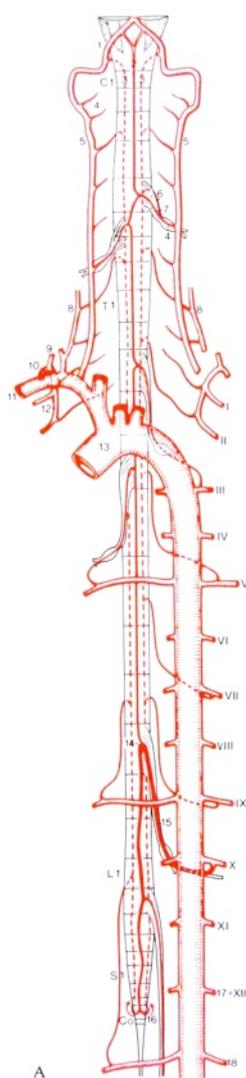
はじめに

脊髄動静脈シャントの診断において、脊髄血管造影はgold standardの診断modalityであり、病変形態および血管構築の詳細やシャント血流量の多寡を評価する意味で、現在でも他の診断modalityでは代替困難である。以下、脊髄血管解剖の基礎および血管造影の基本につき記述し、最後に3-D CTAやCE-MRA など、近年発達してきている他の診断modalityとの関わりについて考察する。

1. 脊髄血管の解剖

脊髄は頭尾方向に長い臓器であり、発生過程において各髄節を栄養する左右31対の分節動脈が上下方向に吻合路を形成（ventral longitudinal artery）した後、左右のventral longitudinal artery が融合し前脊髄動脈が形成される。

脊椎・脊髄を栄養する脊椎動脈は、①椎骨・鎖骨下動脈、②胸腹部大動脈、③内腸骨動脈の各分節動脈から起始している。（fig1）



- 1 A. vertebralis, pars intracranialis
 - 2 A. spinalis anterior
 - 3 A. spinalis posterior
 - 4 Rr. spinales
 - 5 A. vertebralis, pars transversaria
 - 6 A. radicularis posterior
 - 7 A. radicularis anterior
 - 8 A. cervicalis ascendens
 - 9 A. cervicalis profunda (may also be source of radicular arteries)
 - 10 Truncus costocervicalis
 - 11 A. subclavia
 - 12 A. intercostalis suprema
 - 13 Aorta
 - 14 Hairpin junction of radicular artery to spinal
 - 15 A. radicularis magna (Adamkiewicz)
 - 16 Ansa anastomotica
 - 17 A. subcostalis
 - 18 A. lumbalis I
- I, II etc. Aa. intercostales posteriores I, II etc.
- C Cervical segments of the spinal cord
Co Coccygeal segment of the spinal cord
L Lumbar segment of the spinal cord
S Sacral segment of the spinal cord
T Thoracic segment of the spinal cord

Fig. 1

脊椎動脈は、脊椎および傍脊椎軟部組織の血流支配に関する脊椎枝と、脊柱管内壁、硬膜、神経根、脊髄の血流支配に関する脊柱管枝に大別される (fig 2,3)

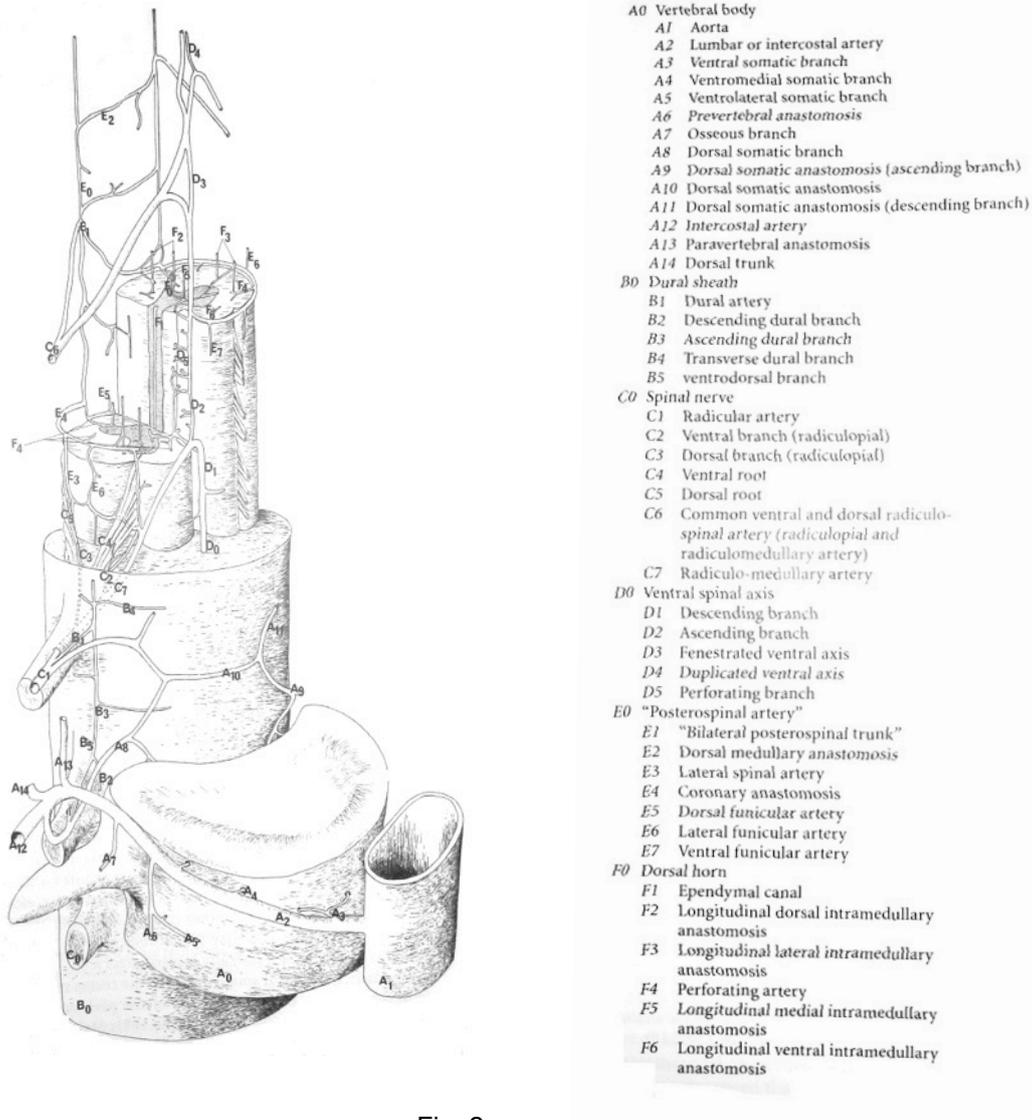


Fig. 2

1-a. 動脈の解剖

分節動脈：

腹側枝:肋骨、筋を栄養

背側枝：脊椎、髄膜、神経根を栄養

頸髄：椎骨動脈、上行頸動脈（甲状腺動脈）、深頸動脈（肋頸動脈）

胸髄：肋間動脈

上位胸椎（主に第1-2肋間動脈）は最上肋間動脈から

最上肋間動脈：主に鎖骨下動脈から起始、下行大動脈や椎骨動脈、上行頸動脈から分枝する場合

もあり

中下位胸椎では大動脈背側より直接起始している。

腰髄：腰動脈（通常第4腰椎まで、第5腰動脈は正中仙骨動脈や腸腰動脈より分枝）

仙髄：外測仙骨動脈（内腸骨動脈）、正中仙骨動脈や腸腰動脈と吻合

脊椎動脈

(1) 脊椎枝

- (a) 前脊椎枝 椎体を栄養
- (b) 後脊椎枝 筋肉、椎弓を栄養

(2) 脊柱管枝

- (a) 前脊柱管枝 脊柱管内腹側硬膜、椎体後面を栄養
- (b) 後脊柱管枝 脊柱管背側硬膜、椎弓前面を栄養
- (c) 中間枝 椎間孔近傍の硬膜、脊髄神経根、脊髄への血流に関与

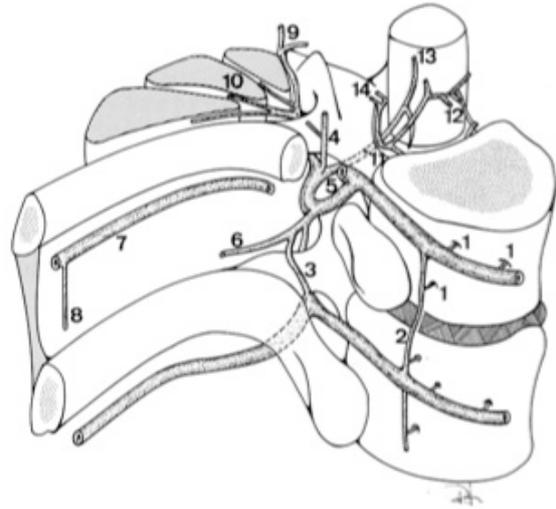


Fig. 3

脊髄動脈

(1) **根動脈 (radicular artery)** 前根および後根上を走行。分節動脈ごとに存在。

(1) **根軟膜動脈 (radiculopial artery)** 根動脈のうち、脊髄外測～背側表面に達し、後脊髄動脈を形成する動脈。

(2) **根髄動脈 (radiculomedullary artery)** 前根動脈のうち、脊髄腹側を走行し前脊髄動脈を形成する動脈。

Adam-kiewicz動脈 (artery of the lumbar enlargement) 腰膨大付近の脊髄を栄養する大きな根髄動脈。75%でT9-12の間で起る。左側に多い。

脊髄表面の動脈

1. **前脊髄動脈 (anterior spinal artery)** 前正中裂軟膜下、前脊髄静脈の腹側を走行。通常、脳底動脈から終糸まで連続している。頸髄、上位胸髄で左右の癒合不全、網状形態を取る場合あり。中心溝動脈および軟膜枝を分岐。

2. **後脊髄動脈 (posterior spinal artery)** 脊髄後外側表面でpial network を縦方向につなぐ経路。前脊髄動脈と比較して細く、断続的である。

軟膜動脈叢 (pial network, vasa corona, pial arterial plexus) 脊髄表面を覆う動脈のネットワーク。根軟膜動脈や前脊髄動脈軟膜枝により形成され、縦方向の吻合にて脊髄後外側の後脊髄動脈および、腹側背側神経根間を縦走するlateral spinal arteryが形成される。軟膜動脈叢から穿通動脈 (radial perforating artery) が起始する。

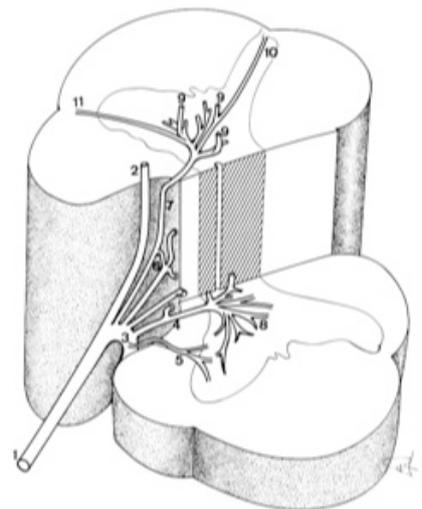


Fig. 4

脊髄内部の動脈-Intrinsic Arterial Supply

- (1) **中心溝動脈 (sulcal artery, central sulcal artery, sulcocommissure artery)** : 髄内へのperforating artery. 脊髄 内部前2/3~3/4を栄養する。80~200 μ m程度の径で、通常は左右二本が前脊髄動脈後面から起始し、前白質交連を穿通した後、左右脊髄内部をそれぞれ独立して栄養する。前脊髄動脈1cmあたり1-10本程度が起始し（部位により異なる、頸髄、腰髄で密度が高い）、脊髄実質に入る前に同側上下の中心溝動脈と吻合路を持つ (fig4.5)。
- (2) **軟膜動脈叢からの穿通枝 (radial perforating artery)** 軟膜動脈叢から分岐、白質を穿通し、求心性に後角後半部辺縁部および白質の外側半分を栄養する(fig 5)。

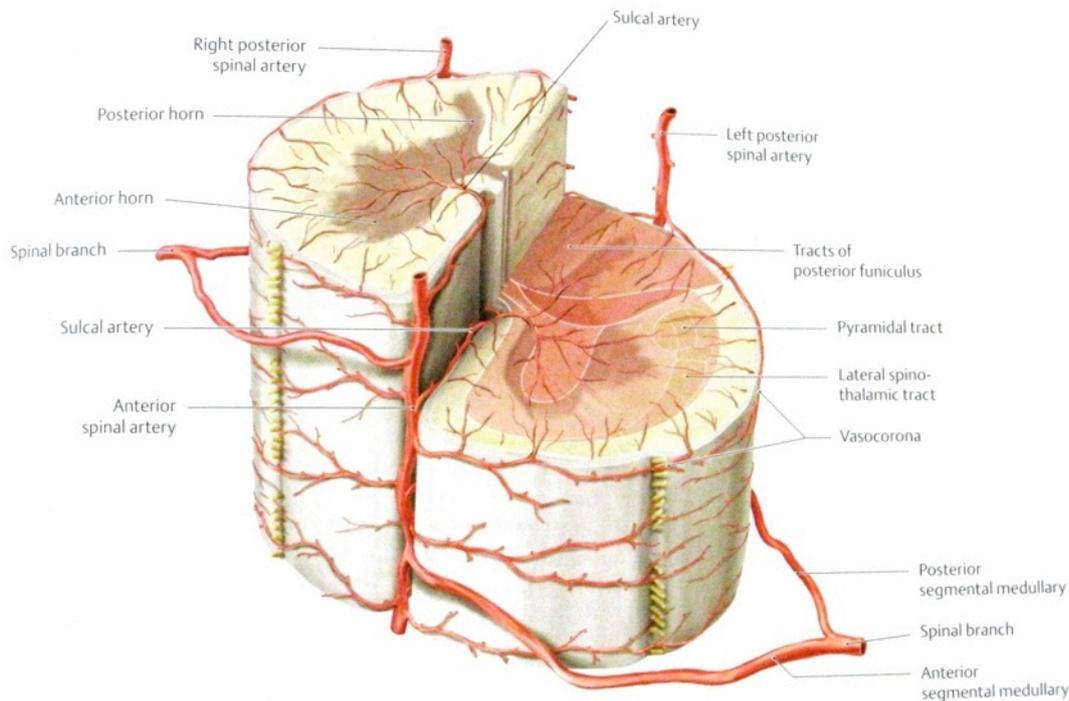


Fig. 5

脊髄および脊椎の動脈吻合

軟膜動脈叢 (pial network, vasa corona, pial arterial plexus) : 脊髄表面を覆う動脈のネットワークで、根軟膜動脈や、前脊髄動脈軟膜枝から血流を受ける。前脊髄動脈が閉塞した場合など、これを介した側副血行が認められることがある (fig 5)。

脊髄円錐部での動脈吻合 (arterial basket, caudal anastomotic loop, cruciate anastomosis) : 前脊髄動脈は脊髄円錐下端で左右2本の後脊髄動脈と吻合し、W字型のアーチを形成する(fig 6a-c)。これより尾側では脊髄を栄養せず終糸のみ栄養する。

椎体、椎体外動脈吻合

前後脊柱管枝、後脊柱管枝などを介した左右の吻合路 (fig2,7)や、椎体周囲や筋枝を介した多数の椎体上下方向の吻合路が存在する(fig 2,3)。背側正中の筋枝が、正面像にて前脊髄動脈とまぎらわしい場合もあり、注意が必要である（近位部が下行もしくは横走する。前脊髄動脈は上行する。側面像で鑑別可能、fig 8.9ab）。

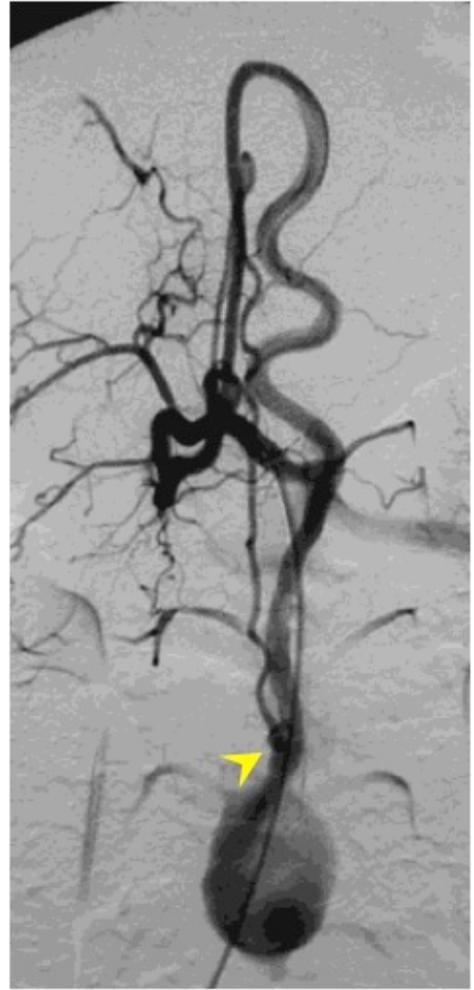


Fig. 6a,b,c

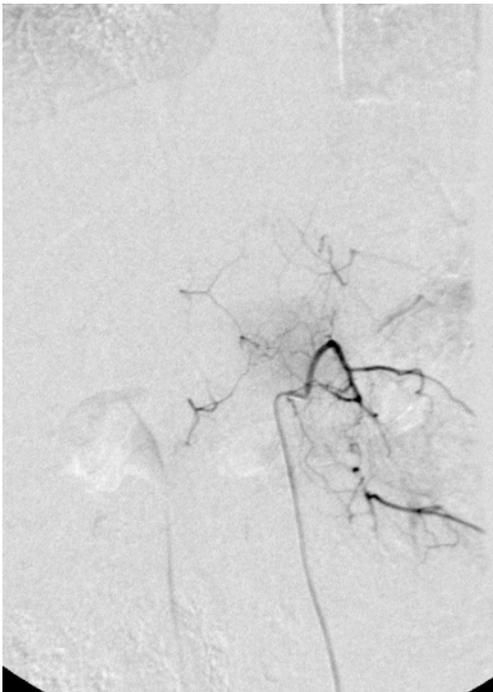


Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9a,b

1-b. 静脈の解剖 (fig 10.11.12)

髄内の静脈還流 脊髓辺縁部に放射状に向かう静脈(**radial perforating vein**)、前・後溝静脈 (**anterior and posterior sulcal vein**)がある。

髄内での吻合が豊富：**前後方向髄内吻合 (transmedullary anastomosis)**

脊髓表面の静脈

- (1) **軟膜静脈叢 (pial venous plexus, coronary venous plexus)** 脊髓周囲を覆い、軟膜静脈の縦、横方向の吻合からなる静脈還流路。
- (2) **前・後脊髓静脈 (anterior and posterior spinal vein)** 脊髓前後面正中を縦走する主幹静脈。

前・後根静脈 (anterior and posterior radicular vein)

神経根と並走して硬膜を通過するのは約60% (他は、上下神経根の間で硬膜を貫通)

硬膜を貫通する際、硬膜内を約1cmにわたり走行 (逆流防止システム?)

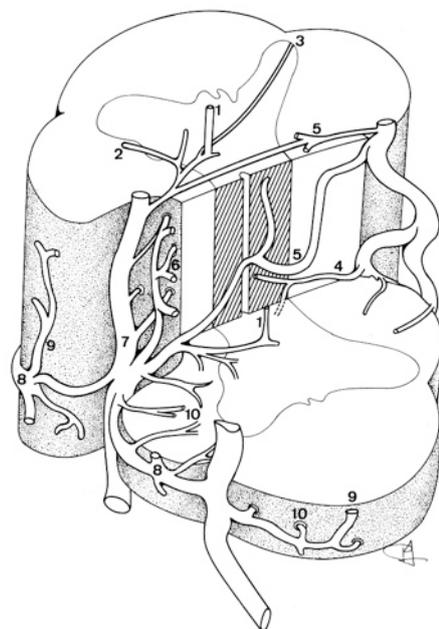


Fig. 10

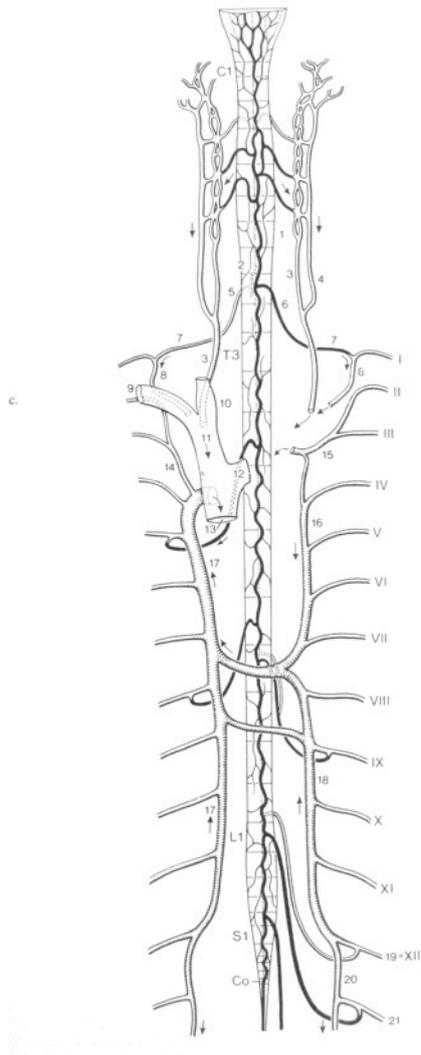


Fig. 11

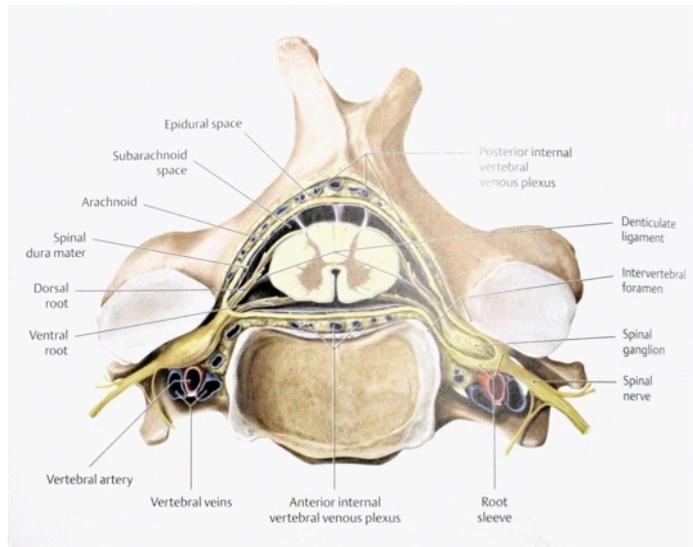


Fig. 12

脊柱管内硬膜外・脊柱管外静脈灌流

前内椎骨静脈叢 (anterior internal venous plexus)

椎体後部静脈(retrocorporeal vein)で左右が梯子状に吻合する。椎間静脈(intervertebral vein)を介して外椎骨静脈叢 (external vertebral venous plexus)と交通する。

外椎骨静脈叢は主に、頸椎では無名静脈、胸椎では奇静脈、半奇静脈、腰椎では上行腰動脈へと流出する。

脊髓血管撮影の基礎

脊髓血管撮影の対象となる動脈は、①椎骨・鎖骨下動脈、②胸腹部大動脈、③内腸骨動脈からの分枝に大別される。

頸髄については①の分枝にて栄養されており、通常の脳血管撮影と同様の手技、器材で施行可能であるが、胸腰髄は②の分枝 (肋間動脈、腰動脈) にて栄養されており、専用のカテーテルを要することが多い。以下、胸腰髄および仙骨領域の血管撮影手技を対象として記述する。

1. 知っておいた方が良い解剖学的事項

a.大動脈との位置関係

大動脈は腰椎レベルでは正中近くに位置しているが、頭側に向かうに従い左側へと走行を変える。これに応じて大動脈と脊柱管の関係が変化するため、分節動脈の起始方向も変化する。具体的には、腰椎レベルでは、両側腰動脈はほぼ左右対称性に大動脈後面から起始しているが、中位胸髄では大動脈正中後面近くから左肋間動脈が起始し、右肋間動脈は大動脈右側壁から横方向に走行している (fig 13ab)。



Fig. 13a,b

b.分節動脈の起始角と分岐間隔

肋間動脈、腰動脈の頭尾方向の起始角については、腰椎レベルでは水平～やや上方向きに分岐しているが (fig 14a)、頭側になるに従い上方向きに急峻な分岐角をとる (fig 14b)。カテーテル選択の際に参考とする必要がある。また、腰椎レベルでは左右分節動脈は椎体ごとにほぼ均等に分岐しているが、大動脈弓近くになると、狭い間隔で分節動脈が起始するようになる (fig 14ab)。

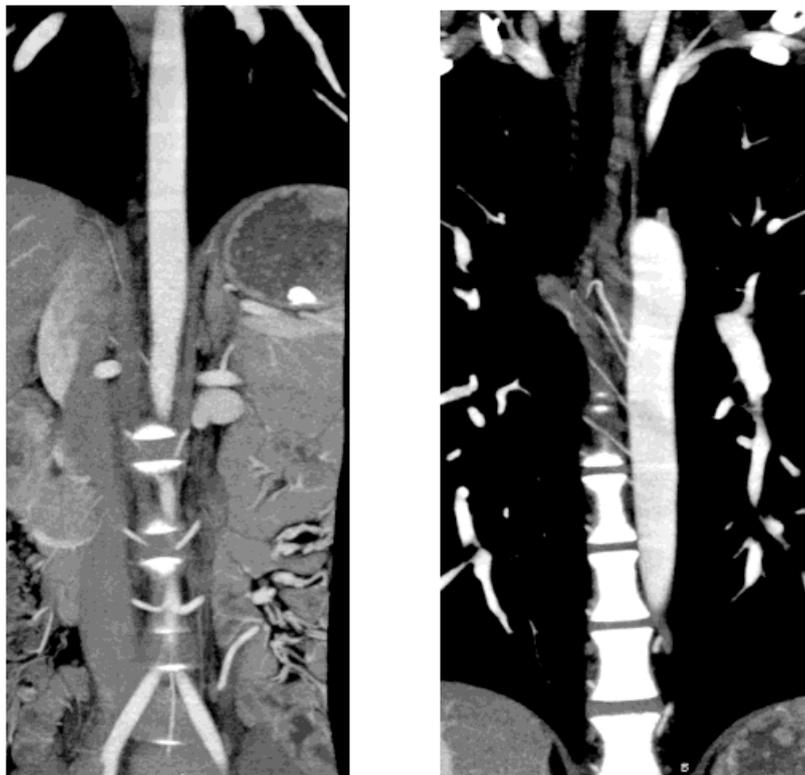


Fig. 14a,b

c. 共通幹（解剖学的変異）

右気管枝動脈と肋間動脈が共通幹となる場合がある(fig15)。また、左右分節動脈（特に腰動脈）が共通幹を形成している場合もしばしば認められる。胸椎レベルでは同側の隣接肋間動脈間で共通幹を形成する場合がある（中下位胸椎で10数パーセント程度？、上位胸椎ではもっと多い fig15）。



Fig.15

c. 前脊髄動脈と後脊髄動脈の鑑別

一般的に後脊髄動脈の方が細径であるが、両者ともヘアピン形状をとるため脊髄が偏位している場合など正面像のみでは区別しづらいことがある。

側面像を撮影し脊柱管内での前後関係を確認することが最も確実であるが、後脊髄動脈の方が鋭いヘアピン形状をとることが多く、これも参考になる(fig 9ab)。

2. 基本的事項

棘突起などを参考にし、できるだけ正中正面から撮影を行うことが重要である。また、あらかじめ造影予定血管の一覧表を作成し、撮像忘れを防ぐ。傍脊柱部にマーカールを入れる方法もあるが、筆者は使用していない。

3. 全麻or局麻？

脊髄血管奇形を対象とした血管撮影では、微細な血管の評価を行う必要がある。胸髄の病変では肺などの motion も問題となり、また、検査が長時間におよぶことも稀ではない。全身麻酔での検査が理想的ではあるが、各施設での capacity も考慮する必要がある。当院では、follow up も含めて年間40件程度の脊髄血管撮影を実施しており、局所麻酔を第一選択としているが、多くの場合は診断に問題ないと考えている。デリケートな塞栓術を行う場合には全身麻酔で施行すべきであるが、他に、1. 安静が保てない症例（小児、高齢の患者）、2. 局麻下の検査で診断に疑義が残る症例において、全身麻酔を選択している。

4. カテーテル選択

胸腰髄では4F HS-1 or HS-2 を第一選択としており（体格、年齢でいずれかを選択）、Cobra, Mikaelson, AL-1なども使用している (fig 16)。

脊髄血管撮影に用いるカテーテルは、大カーブにより先端をaortaの壁に押しつけ分枝選択を行う。大カーブとaortaの径が miss match であると、検査が困難となるばかりでなく危険性も上昇する。具体的には、カーブが大きすぎる場合には壁へ

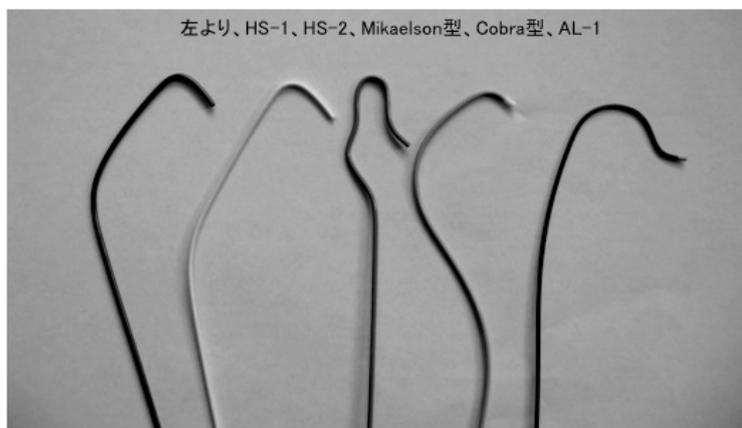


Fig. 16

の圧力が強くなり操作性が不良となる。また、カテーテルがwedgeし易くなるなど、生理的条件下での撮影が困難になったり、分節動脈起始部の損傷（解離）の危険性も上昇する。逆に小さすぎる場合には分枝選択が難しくなり、また、カテ先の安定性も低下するため、良好な造影が困難となる。後述するが、近年我々の施設では血管撮影前のスクリーニングとしてCTAを積極的に施行しており、axial image から大動脈径を計測しカテーテル選択の一助としている。また、high flow型のマイクロカテーテル（Renegade Hi-Floなど）も診断の血管撮影に有用である。具体的には、1.診断カテーテルがwedge positionとなり血流停止となる場合には親カテーテルを大動脈内に降ろすことができ、より生理的条件下に近い撮像が可能となること、2.マイクロカテーテルをspinal branch近傍まで進めることで椎体の濃染像や大動脈への造影剤のrefluxを回避することができ、微細な病変の診断に有用であること、3.カテーテル先端が不安定な場合にも良好な造影が可能であること、などが利点としてあげられる。

5. Power injector ?、用手的造影？

肋間動脈、腰動脈については用手的造影剤注入による狙撃撮影を基本としている。多数の動脈の選択的造影を効率よく行えることが主たる理由であるが、脳血管撮影などとは異なり、カテーテルが安定しないことも多く、また、大動脈壁の脆弱な症例ではsubintimal injectionも危惧されることなども理由である。power injectorを必要とする場合(シャント量の多いAVMの症例や3-D AG を行う場合など)には、原則としてhigh flow型のマイクロカテーテルを分節動脈に挿入し造影を行っている。Power injectorを使う場合は1ml/sec, total 2-3ml程度としている。

6. イオン性造影剤?、非イオン性造影剤?

非イオン性造影剤と比較して、イオン性造影剤には抗凝固能や熱感が少ないなどの利点があるが、過敏反応の頻度が明らかに高い。我々は第一選択として非イオン性造影剤を使用しており、血栓形成が危惧される場合には、全身へパリン化やカテーテル内の持続灌流にて対処している。

7. 撮像方法

病変の血管構築、局在診断（feederの同定）、shunt部の同定

拡大撮影、高速撮影、側面像、超選択的造影、flow control

撮像速度については、最初は1 frame/secで連続撮像を行う。病変が認められたpedicleでは、3 frame/secで撮像を行う（適宜、側面撮影やステレオ撮影を追加）。一部のSDAVFなどのlow flowの病変では、拡張した静脈が描出されるまでに時間を要する場合があります。疑わしい分節動脈では遅い静脈相（22秒以上）まで撮影を続ける必要がある。逆にhigh flowの病変や周辺の拡張した静脈でshunt部の同定が困難な場合、また nidus typeかfistula typeか鑑別が難しい場合などには、拡大撮影や高速撮影（6 frame/sec 以上）を行う。血管内治療を考慮する場合、病変上下の正常前脊髄動脈を同定することが必須となる。また、3-D AGは病変の立体構造把握に有用であり、外科手術を計画する際など、必要に応じて撮像を追加している(fig 17 a-c)。

8. その他、使用薬剤など

ブスコパン(20mg/回、筋注or静注)やグルカゴン(0.5mg/回、静注)にて、腸管運動の抑制を行っている。仙骨部の造影では、膀胱内の造影剤が問題となるため、尿カテを留置している場合でも早めに造影を行うことが望ましい。また、内腸骨動脈では、対側よりガイドワイヤーを用いて総腸骨動脈分岐部を越え、cobra型のカテーテルを用い造影を行うが、同時に同側の内腸骨動脈造影を行う場合などはSimmons型のカテーテルを使うと血管にストレスなくcatheterizationでき便利である。

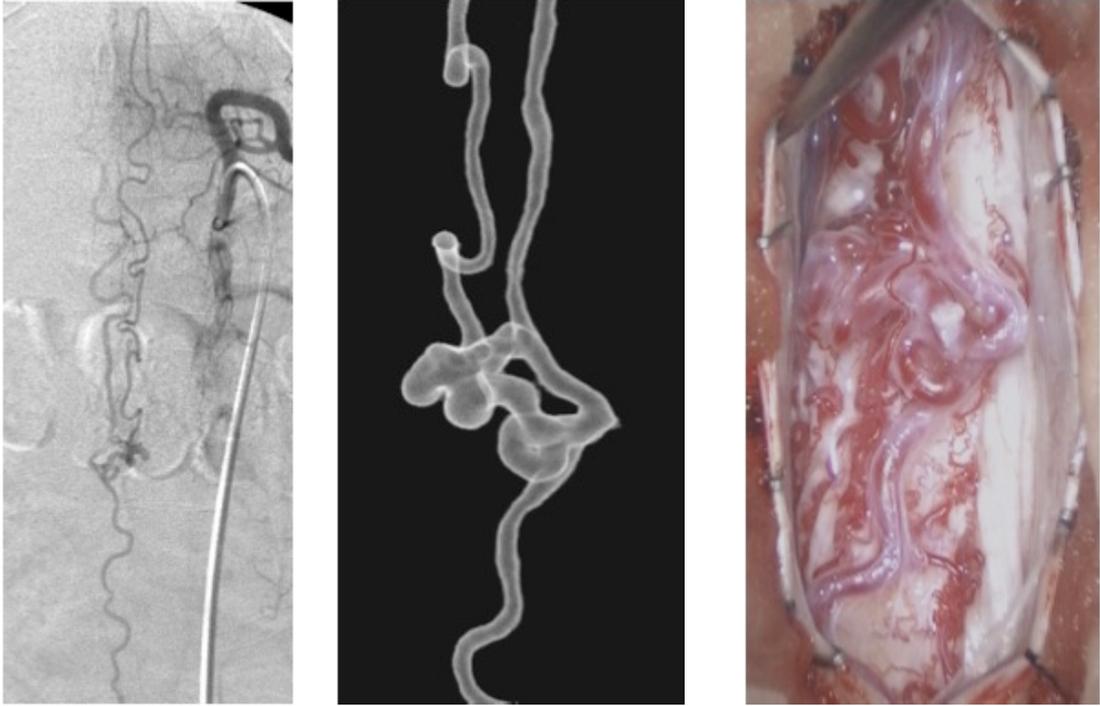


Fig. 17a,b,c

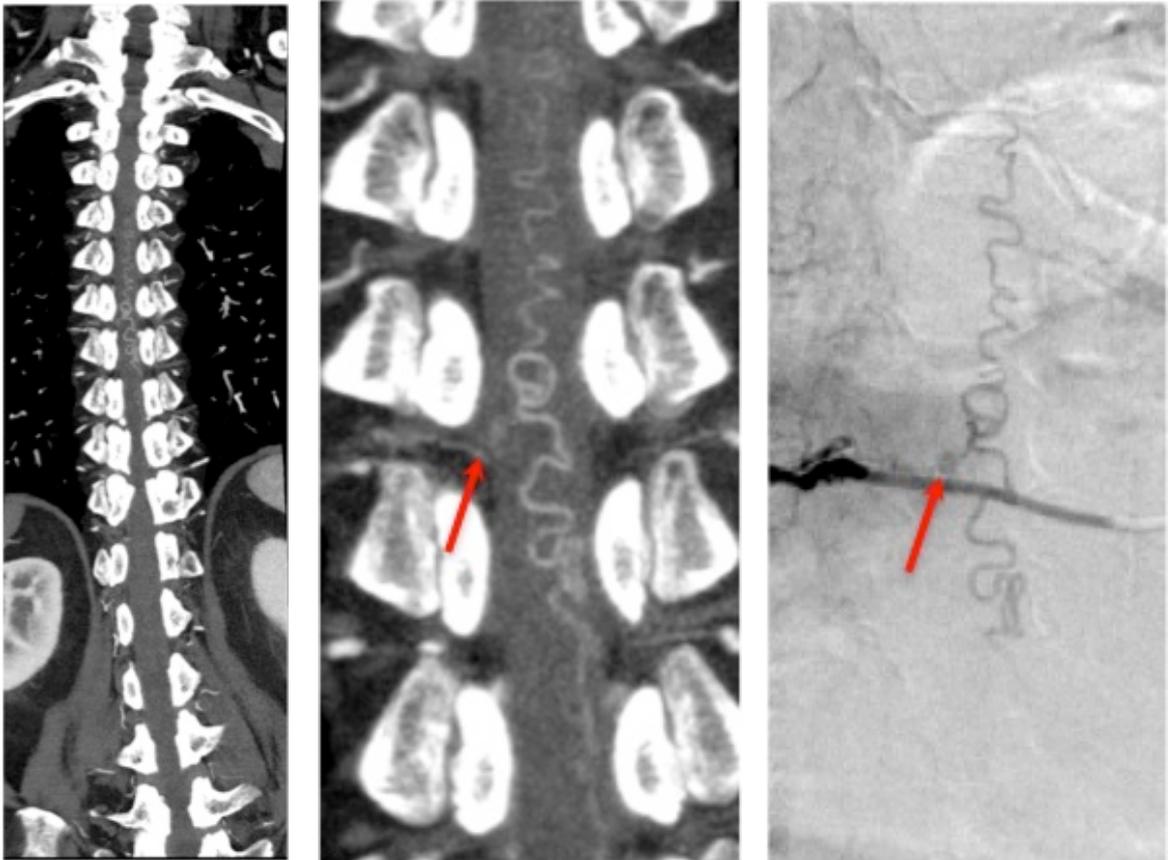


Fig. 18a,b,c

他の診断モダリティの活用

従来より、各画像診断modalityの役割として、存在診断としてMRIおよびMRAが、質的診断についてはDSA(3-D DSAを含む)がそれぞれ該当すると考えていたが、近年CT装置の多列化が進み病変の描出能および撮像範囲が飛躍的に向上しており、CTA(MPR)がスクリーニングに有用であるのみならず、脊髄周辺構造(椎体、脊髄など)と病変との位置関係が明瞭に描出されるという点でDSAと相補的であるため、質的診断(局在診断)においても重要な検査手法になってきていると考えている。

また、当院では64列CT導入後、全脊髄を撮像半範囲とし脊髄AVシャントのスクリーニングを行っているが、今までのところ、SDAVFを含めほとんどの症例で病変描出(拡張した静脈)のみならず、feederの同定も可能であった(fig18 abc)。CTAの利用は検査時間短縮に非常に有効であるが、将来的にはCTAの結果をもって除外診断とし得る可能性もあると思う。

参考文献

1. Berenstein A, Lasjaunias P, Ter Brugge K.G. : Surgical Neuro-angiography Vol1. Springer-Verlag, New York, 2001
2. Thron A : Vascular Anatomy of the Spinal Cord. Springer-Verlag, New York, 1988
3. Lawrence M.R. et al: Head and Neuroanatomy (Thieme Atlas of Anatomy Series). Thieme Medical Pub, 2007
4. Barrow DL, Awad IA et al: Spinal Vascular Malformations. AANS publications committee, 1999
5. Nieuwenhuys R, Voogd J, Van Huijzen, C: The Human Central Nervous System - A Synopsis and Atlas. Springer-Verlag, Berlin, 1988
6. 宮坂和男、菊池陽一(編著): 脳・脊髄血管造影マニュアル. 南江堂, 1997
7. 小宮山雅樹: 脳脊髄血管の機能解剖, メディカ出版, 2007
8. 宮地茂、吉田純(編著) 脳血管内治療のDo's and Don'ts
9. 唐沢 淳、菊池晴彦: 脊髄動脈造影. 牧 豊、久留 裕(編): 神経放射線学 I. 朝倉書店, 1979
10. 大友 邦(編): 腹部血管造影ハンドブック. 中外医学社, 1999

図2,3,4,6ab,10は文献1より、

図5,12は文献3より、

図1,11は文献5より、それぞれ転載。