

## 脊髄動静脈シャントの新しい画像診断

旭川赤十字病院 脳神経外科  
浅野 剛

はじめに

脊髄（硬膜内）AVシャントは、脊髄表面および実質内における脊髄動脈系と静脈系との間の異常な短絡であり、前者は一般的に脊髄辺縁部動静脈瘻（perimedullary AVF, spinal cord AVF）、後者は脊髄髓内動静脈奇形（intramedullary AVM, spinal cord AVM）と呼称されている。この分類法は概念的にはクリアカットであるが、実質内病変の一部が軟膜下まで露出している症例や、拡張した血管により脊髄が変形、偏位している症例など、intramedullary lesionとperimedullary lesionを判別するのが困難なことも稀ではない。これら硬膜内脊髄AVシャントに対しては血管内治療、外科手術、放射線治療の各モダリティによる治療が考えられるが、外科手術によるシャント部遮断を考慮する場合、perimedullary AVFかどうかということは極めて重要であり、脊髄実質を損傷せずにシャントを処理できるかどうかという点で、外科手術の適応決定と直接結びつくものである。

脊髄AVMの画像診断としては、空間分解能および時間分解能の点で、conventional DSAがゴールドスタンダードであるが、本稿では硬膜内脊髄動静脈シャントの病変構造の理解に有益な解剖構造を概説するとともに、病変局在診断に有用である新しい画像診断法や、手術支援の観点から、新しい術中画像診断法についても紹介する。

硬膜内動静脈シャントの特徴：AVM血管構築の理解を難しくする構造

脊髄を栄養する動脈の基本的な構造としては、腹側正中を走行する前脊髄動脈と脊髄側面から背側表面に左右に一对存在する後脊髄動脈が縦方向の系を形成し、これらを脊髄表面の軟膜動脈叢が横断性に結合する形態を取る。前脊髄動脈は、発生学的には左右一对の腹側縦走神経動脈が融合し形成されるため、左右の癒合不全（頸髄に多い）や窓形成がしばしば認められる。脊髄円錐下端部で、前脊髄動脈と後脊髄動脈は合流する（arterial basket, caudal anastomotic loop）。

脊髄の表在静脈は、脊髄腹側および背側正中を縦走する前脊髄静脈（前正中脊髄静脈）と後脊髄静脈（後脊髄正中静脈）を、縦横方向に吻合する軟膜静脈叢が結ぶ、基本的形態を取る。前脊髄静脈は前脊髄動脈の背側に位置し軟膜下に存在するが、後脊髄静脈はくも膜下腔に位置する。これらの脊髄表面の系に加え、脊髄実質を貫通する動脈および静脈の吻合路が存在する。動脈系では前脊髄動脈から分岐する中心溝動脈と軟膜動脈叢を結ぶ吻合路が存在し、静脈系では前後脊髄静脈を脊髄髓内を貫通し結ぶ経路（transmediullary anastomosis）が認められる。この髓内静脈吻合は胸髄レベルでは700 $\mu$ mに及ぶ径となる場合もある。これらの髓内を貫通する経路がfeederないしdrainerとなって動静脈シャントに関与している症例では、実質内の動静脈シャントなのか、表面病変なのかの鑑別には注意が必要となる。

硬膜内動静脈シャントの特徴：画像診断の見地から

AVシャントにおけるシャントポイントの診断は、一般的に、血管性状の急激な変化と、病変が描出される時相から推定されるが、脊髄AVシャントについては、そもそも病変自体が小さく、またX線吸収値の高い骨構造に囲まれているなどの理由により、DSAに代替しうる、高い空間分解能と時間分解能を両立する診断モダリティは実現されていない。DSAは二次元の投影像であるため、病変と脊髄の正確な位置関係についての診断は容易ではなく、静脈相画像や斜位像などもしばしば有用となるが、静脈系の明瞭な描出には、全身麻酔下の良質な撮影が前提となる。いずれにせよ、血管撮影による診断には血管解剖の知識による「補完」が必須となる。

新しい画像診断法：DSAの欠点を補うには？

10年ほど前から、C-armの高速回転にて連続撮影を行い、3次元再構成画像を得る3-D血管撮影が実用化されている。この方法により得られた画像は、塞栓術の際の複雑な分枝血管の理解や手術前のシミュレーションとして有用であるが、病変血管と脊髓実質との関係については情報を持たず、また、時間分解能を有さない画像であるため、シャントの局在診断の観点からの有用性は低い。近年、フラットパネル型の検出器を持つDSA装置が実用化され、多くの装置にC-arm CTと称されるCT like imagingの機能が実装されている。C-arm CTは通常のCT装置と比較して組織の濃度分解能が低く、脊髓実質の直接の描出は困難であるが、造影下に撮像を行うと骨と血管は明瞭に描出できる。これ単独では、シャントの局在の評価は困難であるが、DSA正面像と冠状断再構成像、側面像と矢状断再構成像を比較し、さらに横断像とMRIを比較することで、血管撮影で同定されたシャント部を横断像上に翻訳することができる。また、塞栓術の際にマイクロカテーテルが挿入された状態でC-arm CTを撮像することで、複雑な血管構築の中で、現在の自分の位置を認識できる。3-D血管撮影の注意点としては、CTAと異なり「術野に見える」全ての血管が描出される訳ではないことが挙げられる。最近のDSA装置では4秒程度で撮像を終了するため、循環時間の短い症例ではdrainerの一部しか描出されないことがあり、また、選択的動注下で撮像するため、多数のfeederが関与する症例では病変の一部のみしか描出されない場合もある。術前シミュレーションの目的ではこれらに注意する必要があるが、逆に言うと、撮像タイミングを調整することで「邪魔な血管」を排除でき（例えばdrainerに覆われたshunt部など）、見たい構造のみを明瞭に描出したり、選択的注入により、それぞれのfeederが関わる病変部分を区別して描出することも可能となる。

新しい画像診断法：多列CTAの利用

近年、CTの多列化が進み、国内市場では320列のarea detector CTが入手可能である。東芝の装置は、ガントリーが静止した状態でZ軸方向に160mmのFOVを有しており、スキャン時間も最短で0.35秒とのことである。この性能でdynamic scanを行うと、理論的には3フレーム/秒に相当する時間分解能を持つ3次元動画が実現できる。CTは空間分解能の点ではDSAに劣るが、シャントポイントの診断を三次元空間で行える可能性があるという点で夢がある装置である。ただし、メーカーのデモンストレーションでAVMの「4次元画像」を見た印象では、3次元のDSAが動画として動くようなものではなく、個人的には臨床的に有用そうな印象はあまり受けなかった。その理由としては、急速静注と言えども造影剤のvolus長がDSAより長くなるため、動脈から静脈に至る各時相の分離が不良となり、動脈相以降は「全てが同時に」写り、シャントポイントが不明瞭になるためであると考えられる。これを回避する一つのアイデアとして動注CTAが考えられる。侵襲性の観点では不利であるが、真の「3次元血管撮影」を得ることが実現できると思われる。

多列CTの応用としては、熊本大学河野先生が発表されたpig tailカテーテルを用いた動注下CTAなども挙げられる。静注法と比較して、より高い大動脈内造影剤濃度を実現できるため、他の方法ではfeederが起始する分節動脈をどうしても同定できない場合などには、検討する価値がある方法と思われる。

新しい画像診断法：CSFと血管と脊髓の間のコントラスト

steady state coherent imagingの代表的なものとして、いわゆるMR cisternography (heavy T2-weighted image)が上げられる。これは3D撮像で比較的高い空間分解能が実現でき、水とそれ以外の組織との間に強いコントラストを持つため、脳脊髄液との境界面では詳細構造の評価が可能となる。これとCTAのを比較することで、病変と脊髓実質の関係を推測できるが、やはり正確さの点で、同一画像上で直接これらを描出できることが望ましい。Siemens社のMRI装置では、true FISPに水信号を消去するIRパルスを加したシーケンス (IR true FISP)で造影剤投与下の撮像を行うと、脊髓実質が中間的な信号となり、遅い血流も含めた血管が明瞭な高信号となる、高解像度のT1強調像に近い画像が得られる。この撮像法では硬膜外脂肪も高信号なるため、dural AVFでのfeeder同定などにはあまり有用でないが、小病変の同定のみならず、脊髓実質と血管の関係が直接的に、ある程度の空間分解能で描出できる。

最近、我々のグループではミエ口後のCTAを試験的に行っている。髄腔内に造影剤を投与することでCSFに中間的な増強効果を持たせると、理論的にはCSFと脊髓実質、血管の間のコントラストを持った、高空間分解能の画像が得られる。ミエ口後CTAのpit fallとしては、CSFの造影剤濃度やCTAの撮像タイミングに

よって、血管とCSFがほぼ同様の吸収値となる場合があることなどが挙げられる。撮像する条件については検討の余地がある。

新しい画像診断法：手術支援の観点から

近年、ICGビデオアンジオグラフィーが顕微鏡下手術に導入され、動脈瘤をはじめとする血管障害の治療に広く利用されており、その有用性についても異論のないところである。ICGビデオアンジオグラフィーは、通常、静注にて施行するが、動静脈シャントの治療に応用した場合には、繰り返し撮像ができないことや動静脈間の時相の分離が不良であることから、特に複雑な病変において十分な情報を得ることは困難である。我々のグループでは術中に分節動脈の選択的catheterizationを行い、500-1000倍希釈のICG動注にてビデオアンジオグラフィーを行っている。短時間で繰り返し造影ができ、かつ、特定のシャントポイントが明瞭に描出できるため、非常に有用である。

まとめ

脊髄AVMの治療においては、塞栓術、外科手術とも精密な病変局在の診断が重要である。診断精度を高めることが治療の安全性、確実性に直接寄与するため、画像診断技術の進歩を積極的に応用し、新しい発想を忘れないことが重要であると考ええる。