

脳動脈瘤構築解析における 3D CTA・MRAの情報伝達特性*

佐藤 透**

Characterization of the Volume Data of Three-dimensional CT and MR Angiograms for the Delineation of Cerebral Aneurysms

Toru SATOH

Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

Three-dimensional CT angiography and MR angiography with perspective volume rendering were used to investigate two patients with cerebral aneurysms. Compared with the intraoperative photographs, volume data from CT angiogram and MR angiogram were characterized on simulated virtual 3D images with virtual neuro-endoscopic and transluminal imaging techniques.

In a case of an unruptured double internal carotid (C2) blister aneurysm, CT angiogram showed a configuration of the distal aneurysm similar to that in the intraoperative photograph, but failed to show the margin of the proximal aneurysm adjacent to the anterior clinoid process bone due to a partial volume effect. The MR angiogram represented both aneurysms and the parent artery, including the C3 C2 internal carotid artery. The whole shape of the aneurysm, however, differed from that in the intraoperative photograph, showing instead an elongation of the aneurysmal dome.

In a case of a ruptured tiny middle cerebral artery aneurysm, CT angiogram failed to show the subtle bulging of the aneurysm. In contrast, MR angiogram clearly demonstrated the bulging of the walls at the beginning of the ascending and descending branches of the M2, which is consistent with the aneurysmal convolution observed in the intraoperative photograph.

In both cases, transluminal images of the 3D CT and MR angiograms represented the intraluminal contour of the vessel and aneurysmal walls as a series of rings, and allowed a transluminal view from outside the vessel lumen through the spaces between the rings of the vessel wall. The orifices of the aneurysm and parent arteries were shown through the vessel and aneurysmal walls, providing an extensive perspective view of the angio-architecture of the aneurysm.

Morphological configuration of the inner space of the vessel and aneurysm was well visualized on CT angiogram, which was consistent with the operative view. Due to a partial volume effect, the surrounding bony and venous structures overlapped with the aneurysm made them indistinguishable from each other. In contrast, the MR angiogram provided the flow-related volume information, so that dynamics of the flow in the vessel lumen visualized the elongation of the aneurysmal dome and subtle bulging of the tiny aneurysm.

(Received: August 1, 2001)

Key words magnetic resonance angiography, computed tomographic angiography,
intracranial aneurysm, perspective volume rendering, virtual endoscopy

No Shinkei Geka 30(5): 487-493, 2002

* (2001.8.1 受稿)

**医療法人社団 涼風会 佐藤脳神経外科

〔連絡先〕佐藤 透 = 医療法人社団 涼風会 佐藤脳神経外科 (〒729 0104 広島県福山市松永町5 23 23)

Address reprint requests to: Toru SATOH, M.D., Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital, 5 23 23 Matsunaga-cho, Fukuyama-city, Hiroshima 729 0104, JAPAN

はじめに

最近の CT・MRI 装置や撮像技術など撮像系の進歩と、得られた生体内 3 次元構造の連続情報 (volume data) のワークステーションにおける computer visualization 技術の革新により、3 次元 (three-dimensional, 3D) 画像が急速に臨床応用され、特に脳動脈瘤の画像診断領域では目覚ましい進展が認められる^{2-12, 14, 15)}。これまで CT angiography (CTA) では、volume data から脳血管構造の 3D 画像 (3D-CTA) が標準的に作成されたため、maximum intensity projection 画像による 2 次元表示が一般的であった MR angiography (MRA) に比べ、脳動脈瘤構築を立体的に把握するうえで、CTA は優越していた^{2, 4, 6, 11, 14)}。しかしながら、ワークステーションでの DICOM データ処理能力の向上と高速化により、MRA においても CTA と同様な脳動脈瘤の 3D-MRA 画像が短時間で表示可能となってきた^{4, 7-12)}。さらに、近年 digital subtraction angiography (DSA) においても、回転 DSA を行うことで volume data が取得可能となり、脳動脈瘤の 3D-DSA 画像が報告されつつある^{3, 15)}。これら各種撮像系による脳動脈瘤の 3D 画像が一般臨床に普及するに伴い、脳動脈瘤の画像診断においては、脳動脈瘤局在診断での精度向上のみならず、作成された可視化画像に反映される撮像系の有する情報伝達特性の相違にも興味を持たれる。

今回、われわれは、手術術野の脳動脈瘤構築を再現する目的で、術前の CTA・MRA の volume data から、perspective volume rendering 法により、血管外の視点から管腔を観察する仮想神経内視鏡、virtual neuro-endoscopy (VNE) 画像⁸⁾、および、われわれの考案した管腔壁を透視して管腔を観察できる transluminal (TL) 画像¹⁰⁻¹²⁾を作成した。ワークステーション上で、CTA・MRA それぞれの VNE 画像・TL 画像を match させ、脳動脈瘤術中写真と対比検討することで、脳動脈瘤構築の可視化画像に反映される CTA・MRA の有する情報伝達特性について解析したので報告する。

対象と方法

対象は、術前に CTA・MRA を施行した、未破

裂内頸動脈 (C2 部) blister 動脈瘤とくも膜下出血で発症した微小な中大脳動脈瘤の 2 症例である。

CTA はヘリカル CT (Legato Duo, GE-YMS 社, 東京) を用いて、非イオン性ヨード造影剤 320 mgI/ml (Optiray 320 シリンジ[®], 山内製薬, 東京) を自動注入器 (Dynamic CT injector MCT 320P[®], Medrad 社, U.S.A.) を使用して、肘静脈より注入速度 2 ml/sec で総注入量 100 ml を投与し、造影剤注入 21 秒後よりスキャン開始した。撮影条件は、管電圧 135KV, 管電流 130mA, field of view 23cm, スライス厚 1 mm, テーブル移動速度 1 mm/sec で、合計 38 スライスの連続撮影を施行した。CTA の元画像 volume data は、field of view 10cm, 0.5 mm スライス厚にデータ変換した後、外来診察デスクトップのワークステーション (Pegasus Viewer 2.0[®], AMIN 社, 東京) に DICOM 通信でデータ転送した⁷⁾。

一方 MRA は、1.0T MRI (Signa HiSpeed[®], General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, U.S.A.) を使用し 3D TOF (time of flight), SPGR (spoiled gradient recalled) 法で撮影した。撮影条件は TR 35ms/TE 3.9 4.1 ms, flip angle (FA) 20°, matrix 192 × 128, thickness 1.2 mm, field of view 16cm, number of excitations 2 回, magnetization transfer contrast (-), total scan time 8 分 49 秒 (2 slabs), total slice 60 枚 (2 slabs), zero-fill interpolation processing 2 倍, overlap 8 枚で、計 104 枚の元画像が得られた。これらの元画像は、同様にワークステーションへ転送した。

Perspective volume rendering 法を使用した CTA・MRA の VNE・TL 画像は、ワークステーション上で、元画像 volume data からいずれも約 30 秒の再構成時間で作成した。CTA では、元画像での管腔辺縁に相応する CT 値の解析から、CT 値 95HU (0% opacity level) から 105HU (100% opacity level) の上り坂関数を使用して血管内腔情報を volume data から抽出し、視野角 60 度で、血管外から観察した VNE 画像を作成した。続いて、同一観察視野から、CT 値 95 HU から 105 HU (peak value 100HU, 100% opacity level) の急峻な二等辺三角形の関数を使用して、血管壁情報を選択的に抽出し、管腔壁を透視して観察できる TL 画像を作成した。

同様に MRA では、信号強度 220 (0% opacity

level)から250(100% opacity level)のしり坂関数を使用してVNE画像を作成し、また、信号強度230から240(peak value 235, 100% opacity level)の二等辺三角形の関数を使用して、同一観察視野からのTL画像を作成した。

・ 結 果

CTA・MRAのVNE画像やTL画像では、管腔外の視点から脳動脈瘤構築が描出され、脳動脈瘤neck, dome, blebなどの形態が詳細に観察された。VNE画像では、脳動脈瘤近傍から脳動脈瘤構築の表面形態が臨場感のあるoperative viewで表示され、顕微鏡下手術野とほぼ同様の観察視野が得られた。また、TL画像では、親動脈や脳動脈瘤などの管腔壁を透視して、脳動脈瘤neckでの親動脈開口部など脳動脈瘤構築の全体像が観察された。

症 例 1 62歳,女性,未破裂左内頸動脈C2部 blister 動脈瘤。

高血圧性脳症で精査目的にMRAを施行し、左内頸動脈C2部前側壁にneckを有し、前外側に半球状に突出する連続した双こぶの未破裂脳動脈瘤が認められ、脳血管造影検査で確認された(Fig. 1A)。手術所見では、脳動脈瘤周囲の内頸動脈壁は全体的に病的に肥厚拡張し、C2部で広基性のneckを有し、前外側に半球状隆起をした双こぶの脳動脈瘤が認められ、blister動脈瘤と診断した(Fig. 1B)。特に、遠位側の脳動脈瘤では、dome頂上に嘴状に突出したblebが認められた。

3D-CTA VNE画像では、術中写真と比較して、連続した双こぶの動脈瘤がほぼ同様の形態で認められた(Fig. 1C)。しかしながら、近位側の脳動脈瘤では、近接する前床突起部の影響で、脳動脈瘤neckの一部が骨構造と分離できなかった。そのTL画像では、同様の脳動脈瘤構築の全体像が、脳動脈瘤や親動脈などの管腔壁構造および頭蓋底骨構造を透視して直接観察された(Fig. 1D)。遠位側の脳動脈瘤では、動脈瘤dome壁を透視して、neckの遠位側開口部が観察された。また、前床突起骨構造を透視して、C2部に連続して病的に拡張したC3部内頸動脈の走行が同定された。さら

に、これら親動脈や脳動脈瘤などの管腔壁構造を透視して、脳底動脈 後大脳動脈構造がその背景に透視観察された。

一方、3D-MRA VNE画像では、C3 C2部にかけて病的に拡張した内頸動脈とC2部で突出する双こぶの動脈瘤など一連の脳動脈瘤構築が、頭蓋底骨構造に遮蔽されることなく描出された(Fig. 1E)。しかしながら、術中写真と比較して、脳動脈瘤形態は詳細で異なり、特に遠位側動脈瘤では動脈瘤domeはC2軸方向に伸長され、半球状ではなく嚢状の形態で描出された。そのTL画像では、脳動脈瘤構築の全貌が、親動脈や脳動脈瘤などの管腔壁構造を透視して同様に観察された(Fig. 1F)。

症 例 2 76歳,男性,微小な破裂左中大脳動脈瘤。

眩暈・嘔吐で発症し、MRI検査で左シルビウス裂に限局したくも膜下出血が認められ、MRAで左M1 M2分岐部に微細な異常所見が認められた。脳血管造影検査では、明らかな異常所見は指摘し得なかった(Fig. 2A)。術中所見では、左中大脳動脈M1 M2分岐部で上行枝と下行枝の間で外側に分枝する小動脈を認め、これと上行枝および下行枝起始部にかけて軽度の血管壁膨隆と外膜の赤色化を認め、微小な動脈瘤病変と考えられた(Fig. 2B)。

3D-CTA VNE画像では、術中写真と対比して、左中大脳動脈M2下行枝の起始部で血管壁が軽度膨隆しているように見えるが、明らかな異常所見とは指摘できなかった(Fig. 2C)。また、M2上行枝と小動脈分枝は、近接する脳表静脈と重畳したため、これらを画像上で分離して描出することはできなかった。そのTL画像では、管腔壁を透視して、M1終末の開口部が認められたが、脳動脈瘤病変は明らかでなかった(Fig. 2D)。また、M1 M2の管腔壁構造を透視して頭蓋底骨構造および脳底動脈 後大脳動脈構造がその背景に観察された。

一方、3D-MRA VNE画像では、M1 M2分岐部から小分枝にかけて全体的に血管が紡錘状に膨隆し、M2上行枝起始部とM2下行枝起始部前壁で軽度隆起した異常所見が明瞭に認められた(Fig. 2E)。

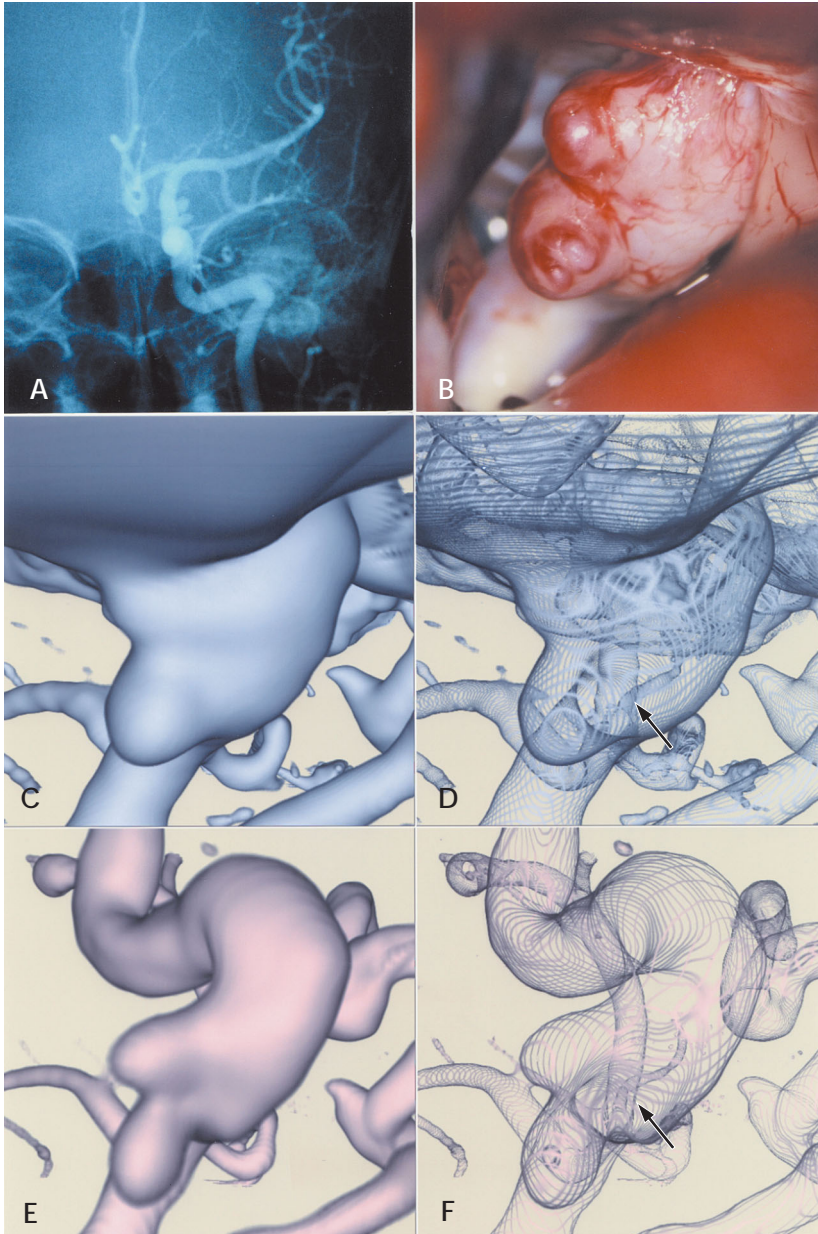


Fig. 1 (Case1) A 62-year-old woman with unruptured left internal carotid (C2) blister aneurysms.

A : Carotid angiography, antero-posterior projection, showing double aneurysms extending laterally at the C2 portion of the left internal carotid artery.

B : Intraoperative photograph showing the aneurysms arising from the anterolateral wall of the pathologically enlarged supra-clinoidal portion of the left internal carotid artery.

C : Virtual neuro-endoscopic image of 3D-CTA, from a view similar to that in B, showing the aneurysms.

The margin of the proximal aneurysm (arrow) is obscured by a partial volume effect of the adjacent anterior clinoid process bone.

D : Transluminal image of the 3D-CTA, from the same projection as that in C, showing the vessel wall as a series of rings, so that the orifices of the proximal and distal aneurysms (arrow), and the enlarged internal carotid artery are represented directly through the vessel and aneurysmal walls. Spatial expansion of the aneurysm is provided in relation to the parent arteries and surrounding bony structures.

E : Virtual neuro-endoscopic image of 3D MRA, from a view similar to that in B, clearly demonstrating the both aneurysms and the parent arteries, including the C3 C2 portion of the internal carotid artery. The whole shape of the aneurysm is slightly different from that in B. The dome of the distal aneurysm was shown to be extended along the efferent parent artery (arrow-head).

F : Transluminal image of the 3D MRA, from the same projection as that in E, providing an expansive view of the aneurysm, including the orifices of the distal and proximal aneurysms (arrow), and the enlarged internal carotid artery, through the vessel and aneurysmal walls.

その TL 画像では、同様の所見とともに、管腔壁を透視して M1 終末の開口部が認められた (Fig. 2F)。本例では、術中写真の脳動脈瘤病変に相応する微細な異常所見が、CTA では明らかでなく、MRA においてはじめて明瞭に認められた。

・ 考 察

最近の CT や MRI など撮像系の進歩とワークステーションでの computer visualization の発展により、脳動脈瘤の画像診断には、3D 画像が臨床応用されている^{2-12, 14, 15}。3D 画像では、脳動脈瘤と親動脈などの空間的位置関係が立体表示され、検

Fig. 2 (Case2) A 76 year-old man with a ruptured tiny left middle cerebral artery aneurysm.

A : Carotid angiography, anteroposterior projection, fails to demonstrate the aneurysm.

B : Intraoperative photograph showing the slightly bulging reddish walls (large arrow) at the M1 2 bifurcation just at the beginning of the ascending, descending M2 and a small branch (arrowhead) of the M2.

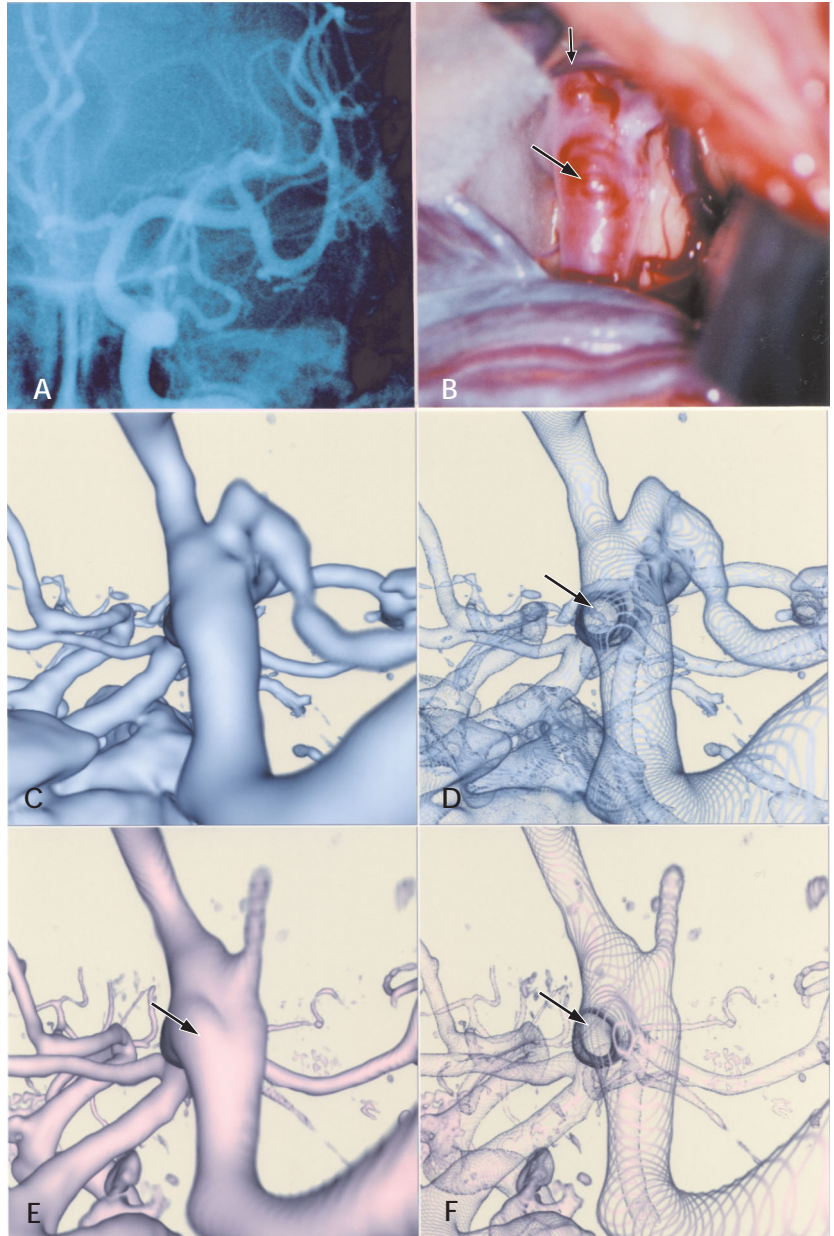
A small surface vein (small arrow) is running over the upper margin of the aneurysm.

C : Virtual neuro-endoscopic image of 3D CTA, from a view similar to that in B, showing unremarkable findings.

D : Transluminal image of the 3D CTA, from the same projection as that in C, showing the opening of the terminal M1 (arrow) at the bifurcation, including the basilar artery (arrowhead) through the vessel wall.

E : Virtual neuro-endoscopic image of 3D MRA, from a view similar to that in B, demonstrating the tiny bulging of the walls at the M1 2 bifurcation (arrow), which is consistent with the tiny aneurysm observed in B.

F : Transluminal image of the 3D MRA, from the same projection as that in E, providing an extensive view of the aneurysm and parent arteries, including the opening of the terminal M1 (arrow) and the basilar artery (arrowhead).



査終了後も自由に再構成画像が得られるため、単に脳動脈瘤の局在診断のみならず、脳動脈瘤の微細形態情報や脳動脈瘤血管構築を立体的に把握することが可能である。本稿では、脳動脈瘤微細構築解析において、CTA・MRAで得られる volume data の有する情報伝達特性の観点から、3D 可視化画像に反映される CTA・MRA の特徴、いわゆる

画像の持ち味について検討した。

3D-CTA では、造影剤注入後にヘリカル CT スキャンを施行し、得られた volume data をコンピュータ解析することにより、脳血管内腔形態が立体的に表示される^{2, 4-7, 11, 14}。CTA は、基本的に DSA と同様の造影剤増強画像であり、血管内腔に充盈した造影剤が血管像として描出される。

CTAの情報伝達特性としては、脳動脈瘤や親動脈など脳動脈瘤構築が周囲骨構造や静脈構造とともに描出可能な点が挙げられる。

CTAでは、造影剤は静脈内投与されるため、その時間分解能は撮影時間に相応し、通常、数十秒間を要する²⁾。そのため、側副血行路や前交通動脈での対側からのcross flow、巨大脳動脈瘤例で血流遮断時の血行動態の評価など、血流・循環動態の情報は得られない。また、空間分解能(スライス厚)も0.5~1.0mmと不十分で、部分容積効果(partial volume effect)により、個々のボクセル内のvolume dataが平均化されるため、ボクセル内の微小構造物はそれ自体が表現されない¹³⁾。そのため、頭蓋底骨構造に近接した構造物、特に、硬膜輪近傍での硬膜や脳神経などは、血管内腔との関連において描出することは基本的に困難である。逆に、血栓化脳動脈瘤や動脈壁の石灰化では微小病巣が強調され表示される。しかし、脳動脈瘤のクリッピング術後やGDCコイルによる血管内治療後では、金属によりneck周辺のvolume data自体が劣化するため、neckの詳細な評価は困難となる。

さらに、CTAでは、造影剤を急速・大量に静脈内あるいは動脈内投与し、高い血管内造影剤濃度値を得たとしても、濃度(CT値)分解能において、管腔と周囲組織とのコントラストにはおのずと限界がある^{5,13,14)}。その結果、後交通動脈の一部や前脈絡叢動脈、レンズ核線状体動脈、脳底動脈先端部の穿通枝など細い動脈は描出困難な場合がある。また、脳動脈瘤や親動脈と近接・重畳する静脈構造は、CT値が近似するため分離不可能となり、脳動脈瘤neckやdomeの形態評価が一部で困難となる。

一方、MRAは、DSAやCTAと異なり、造影剤を用いることなく血管内腔の血流信号のみが選択的に描出される非侵襲的な脳血管評価法である^{1,7-10,12)}。MRAは、脳血管内腔の形態画像ではなく、血流および血流に関連した機能情報の可視化画像である。MRAの血流信号強度は多くの要因に影響され、血流に依存するものとして、血流速度、血流方向、血液のT1値とその飽和度など、撮影方法に依存するものとして、撮像シーケンス、スラブ厚、

TR/TE/FAなどが知られている¹⁾。今回使用したSPGR法による3D-TOF MRA(1.0T,スライス厚1.2mm,TR/TE/FA 35/3.9~4.1/20)では、血流信号強度は、血流速度、乱流、渦流、位相の分散などに影響される¹⁾。

MRAでは、良好なS/N比(signal-to-noise ratio)を確保するうえで、一般に空間分解能(スライス厚)は0.8~1.2mm程度に制限されるが、管腔血流により優れた濃度(信号強度)分解能が得られるため、周囲組織と比較してコントラストの高い血管内腔が描出可能となる。MRAにおいては、頭蓋底骨構造に遮蔽されることなく、血管内腔の血流のみが描出されるため、頭蓋底骨構造に近接した硬膜輪近傍の内頸動脈瘤は良好に描出される⁷⁻⁹⁾。また、MRAでは、動脈系のみを血管画像として、親動脈と脳動脈瘤の構成要素で簡素化された脳動脈瘤構築が画像化される。そのため、中大脳動脈瘤では、重畳するsylvian veinなど周囲静脈は描出されない。しかし、乱流や渦流れにより大きな脳動脈瘤ではその全体像が十分描出されない場合があり、また、脳動脈瘤内血栓や血管壁の石灰化病変は描出困難である。

これらCTA・MRAで得られるvolume dataの有する情報伝達特性の観点から、自験例における脳動脈瘤構築の3D可視化画像に反映されるCTA・MRAの特徴について考察した。その結果、CTAでは、親動脈や脳動脈瘤の管腔内容が血管形態として立体的に画像表示され、血管外壁表面を表示する術中写真に近似した形態所見が得られた。しかし、硬膜輪近傍の脳動脈瘤においては、partial volume effectのため脳動脈瘤と周囲骨構造が癒合した形態で可視化され、脳動脈瘤・親動脈と周囲骨構造を画像上分離することはできなかった。また、微小な中大脳動脈瘤病変では、空間分解能・濃度分解能の限界から、管腔表面の僅かな隆起性病変を明瞭に描出することができず、脳動脈瘤の診断ができなかった。また、親動脈や脳動脈瘤とこれに近似したCT値を有する周囲静脈が重畳したため、脳動脈瘤形態の一部が表示困難であった。

これに対して、MRAでは、硬膜輪近傍の脳動脈瘤において、頭蓋底骨構造に影響されることな

く親動脈や脳動脈瘤に相応する血管内腔の血流情報が可視化され、C3部からC2部動脈瘤 neckにかけての内頸動脈が連続して認められた。しかし、CTA や術中写真と比較して、管腔径は全体にやや細く描出され、脳動脈瘤形態も微妙に異なり表示された。特に、脳動脈瘤 dome が親血管の軸方向に伸展して画像表示され、動脈瘤内での血流速度・血流方向や乱流・渦流れなど、血流および血流に関連した機能情報がMRA可視化画像に反映されたものと考えられた。一方、微小な中大脳動脈瘤病変では、術中写真で見られた管腔壁の微細な膨隆性病変が、相応する異常像としてMRA画像上で可視化された。これは、脳血管造影検査やCTAでは描出困難な微細な形態変化であり、微小な脳動脈瘤による管腔内血流の変化が反映されたものと思われ、MRAに特徴的な血流および血流に関連した機能的な情報伝達特性と考えられた。

脳動脈瘤の画像診断において、volume dataの解析にperspective volume rendering法を使用した仮想的3D画像を作成することで、脳動脈瘤構築が臨場感ある立体画像として表示可能となっている^{7,8,10-12)}。これら3D画像を手術所見と対比検討することで、可視化画像に反映されるDSA・CTA・MRAなど撮像系の有する情報伝達特性が、さらに詳細に明らかになると思われる。今後の展望として、3D可視化画像に反映される脳血管情報のDSA・CTA・MRAなどによる多角的評価と撮像系それぞれのvolume dataにおける管腔内容の解析により、脳動脈瘤のより詳細な診断、follow-upが可能になるものと思われる。

本論文の要旨の一部は、第52回日本脳神経外科学会中国四国地方会(2001年12月1日、高知)において発表した。

文 献

1) 藤井清文: MRAの撮像技術のこれまでとこれから。

臨床画像 **14**: 974 983, 1998

- 2) 加藤庸子, 片田和廣, 小倉祐子, 佐野公俊, 早川基治, 神野哲夫: 脳動脈瘤に対する脳外科治療戦略のためのヘリカルCTの役割と最近の進歩. 脳外誌 **9**: 491 496, 2000
- 3) 難波理奈, 宝金清博, 黒田 敏, 岩崎喜信, 牛越 聡, 浅野 剛, 宮坂和男: 3次元DSAによる脳動脈瘤の診断. 脳外 **29**: 393 399, 2001
- 4) 奥山 徹, 斎藤孝次, 平野 亮, 高橋 明, 稲垣 徹, 稲村 茂: 脳動脈瘤手術におけるMRA, 3D CTAの発達と脳血管撮影の適応の変化. 脳外 **26**: 607 612, 1998
- 5) 野村素弘, 木多真也, 内山尚之, 山嶋哲盛, 山下純宏, 吉川 淳, 松井 修: 動注3D CTAによる脳動脈瘤の評価 静注3D CTAおよびDSAとの比較. CI研究 **22**: 21 27, 2000
- 6) 佐藤正憲, 遠藤雄司, 松本正人, 佐々木達也, 児玉南海雄: Three-dimensional CT angiographyによる急性期破裂脳動脈瘤手術. 脳外誌 **10**: 18 26, 2001
- 7) 佐藤 透: AMIN 三次元画像解析システムの臨床応用. pp212 218 (高倉公朋: 脳神経外科の最先端NO. 2 21世紀の新領域とニューテクノロジー, 第6章, 第1節, 先端医療技術研究所, 東京, 2000)
- 8) 佐藤 透: Perspective volume rendering法を使用した3D MR angiography fly-through画像による脳動脈瘤の描出. 脳外 **29**: 181 186, 2001
- 9) 佐藤 透: 脳動脈瘤診断におけるポリウムレンダリング法による3次元MRAの有用性. 画像診断 **21**: 886 891, 2001
- 10) 佐藤 透: 管腔壁を透視した3D MR angiography transluminal画像による脳動脈瘤構築の解析. 脳外 **29**: 951 959, 2001
- 11) Satoh T: Transluminal imaging with perspective volume rendering of computed tomographic angiography for the delineation of cerebral aneurysms. Neurologia medico-chirurgia **41**: 425 430, 2001
- 12) 佐藤 透, 横山千菜美, 大迫知香: 脳動脈瘤構築解析における管腔壁を透視した3次元MRA transluminal画像の基礎的検討. CI研究 **23**: 117 123, 2001
- 13) 高原太郎, 今村恵子, 中島康雄, 石川 徹: 画像コントラストの観点からみたCTとMRIの相違. pp 8 18 (石川徹: CTとMRIの使い分け 効率的画像診断のstrategy, メジカルビュー社, 東京, 1997)
- 14) 田邊純嘉, 大滝雅文, 上出廷治, 端 和夫, 鈴木 進, 高橋八三郎: Three-dimensional CT angiography (3D CTA)による破裂・未破裂脳動脈瘤の診断. 脳外 **23**: 787 795, 1995
- 15) 山下勝弘, 松永登喜雄: 脳血管病変評価における3D DSAの有用性. 脳外誌 **10**: 612 620, 2001