

3次元 MR cisternograms と MR・CT angiograms による 脳主幹動脈狭窄性病変の新しい立体的画像評価*

佐 藤 透**

Evaluation on Major Cerebral Arterial Stenotic Lesions with Three-dimensional Magnetic Resonance Cisternograms and Coordinated MR・CT Angiograms

Toru SATOH

Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

To evaluate major cerebral arterial stenotic lesions within a cisternal space, the outer wall contours of the arteries were depicted on three-dimensional (3D) MR cisternograms. The 3D MR cisternograms were reconstructed by perspective volume-rendering algorithm from the source volume data obtained from the T2-weighted 3D fast spin-echo sequence. Those images were compared with coordinated 3D MR angiograms, and then with 3D CT angiograms through the similar visual projections. The presence of stenotic lesions was indicated by the morphological discrepancy between the outer wall configuration of the intracisternal stenotic artery depicted on the 3D MR cisternograms and the intraluminal boundary shown on the 3D CT angiograms. With application of these techniques, spatial expansion of the stenotic lesions was able to be visualized. In this way, clinical 3D evaluation of the therapeutic effect on and follow-up of intracisternal major cerebral arterial stenotic lesions would be possible in patients with acute ischemic stroke.

(Received: December 26, 2002)

Key words contour of the vessels, MR cisternography, major cerebral artery, perspective volume rendering, three-dimensional reconstruction

No Shinkei Geka 31(5): 503-511, 2003

.はじめに

脳底部脳主幹動脈の狭窄性病変は、MR angiogram (MRA) でスクリーニングされ、CT angiogram (CTA) や digital subtraction angiogram (DSA) で診断確定されてきた。MRA では、管腔内の血流に関連した機能的情報が、また CTA や DSA では、管腔内に充盈する造影剤の形態情報が得られ

るが、いずれの画像においても、脳主幹動脈の外壁形態は描出されない^{4, 5, 7, 10, 16, 19, 20}。これまで、狭窄性病変の評価は、正常と思われる血管内腔形態像から連続した血管内径を仮定し、病変部での血管狭窄程度や壁在血栓の存在を推測して判断されてきた。しかしながら、連続する狭窄性病変や全周性狭窄性病変、屈曲蛇行する血管走行や複雑な血管分岐部においては、狭窄性病変の詳細を立

*2002.12.26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

E-mail: ucsfbtrc@urban.ne.jp

体的に把握することは困難といわざるを得ない。

近年の MR imaging (MRI) 装置の性能向上や撮像技術の進歩に伴い, T2-weighted three-dimensional (3D) fast spin-echo (FSE) sequence を使用した MR 脳槽画像 (MR cisternogram, MRC) では, 信号雑音比の良好な脳微細形態断層情報が比較的短時間で得られる。MRCにおいては, 脳槽内脳脊髄液が高信号強度で描出され, 脳主幹動脈や静脈などの脳槽内血管構造物は低信号強度で, また, 脳神経, 脳実質, 頭蓋底骨構造は比較的低信号強度で描出される^{6,8,10-12)}。これにより, 脳槽内脳主幹動脈の外壁境界は周囲脳脊髄液と明瞭にコントラストされ, 脳槽内陰影欠損像として, 脳槽周囲構造物とともに描出される。脳主幹動脈外壁形態が脳槽内に限定した範囲でのみ描出される MRC の画像情報伝達特性は, 脳槽内脳主幹動脈狭窄性病変を評価するうえで有用と思われる。

今回, 脳主幹動脈狭窄性病変の評価に MRC を撮影し, 得られた脳槽断層形態情報から, 遠近投影 volume-rendering 法を使用して, 狹窄部での管腔外壁形態を立体的に可視化表示する 3D MRC を作成した。3D MRC により, 治療目標である完全再開通時の管腔形態を治療前に表示することがはじめて可能となり, 管腔内血流情報を示す 3D MRA および管腔内壁形態を表示する 3D CTA と 3D MRC を同方向観察視野で対比検討することで, 治療前後における狭窄性病変の空間的拡がりを多角的に立体評価することが可能になるものと思われる。本稿では, 3D MRC, 3D MRA, 3D CTA を用いた, 脳主幹動脈狭窄性病変の診断・治療における新しい立体的画像評価法について報告する。

・対象と方法

対象は, 脳虚血発作で発症し, 保存的血栓溶解療法を施行した中大脳動脈狭窄症の 2 例である。

1. MRC 撮影条件

MRC は, 1.0T MRI (Signa HiSpeed[®], General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, U.S.A.) を使用し, T2-weighted 3D FSE sequence で撮影した。撮影条件は, repetition time (TR) 4,000 ms/echo time (TE) 160 ms, echo train length 128 回,

bandwidth 15.63 KHz, 256 × 256 matrix, 0.6 mm thickness, 0.6 mm slice interval, 16 cm field of view, number of excitations 1 回, total scan time 8 分 3 秒で, 計 56 枚の連続した脳槽断層軸位元画像が得られた。これら脳槽断層画像情報は, ワークステーション (Zio M900[®], AMIN Co. Ltd., Tokyo, Japan) に DICOM 転送した。

2. 3D MRC 画像再構成

3D MRC は, ワークステーションで断層画像情報を 0.3 mm に補間後, 9 秒間で 3D volume-rendering dataset (112 data) に変換し, 遠近投影 volume-rendering 法を使用して, 11 秒間の再構成時間で作成した。元画像における脳槽内脳主幹動脈外壁境界に相応する信号強度の分析に基づいて, 信号強度分布の opacity chart から, 信号強度閾値 400 (100% opacity level) から 420 (0% opacity level) に減少する下り坂関数を用いて, 脳脊髄液以外の脳槽内構造すべての断層情報を選択的に抽出した。3D MRC では, 脳主幹動脈など脳槽内構造物の外壁形態が立体表示され, 脳槽内のいろいろな視点から視野角 60-90° で自由に観察された。また, ワークステーションでは, 観察視野方向が軸位元画像, 再構成冠状・矢状断画像上に矢印で示され, 再構成変換関数のパラメーターと観察方向は template に保存可能で, 再構成画像の再現や同様な画像作成にも応用可能であった。

3. MRA 撮影条件と等座標 3D MRA 画像再構成

MRC 撮影に引き続いだ, これと同じ基準線を使用して, 3D time-of-flight (TOF), spoiled gradient-recalled (SPGR) acquisition in the steady state の sequence を用いて MRA を撮影した。MRA の撮影条件は, TR 35 ms/TE 3.9-4.1 ms, flip angle 20°, 192 × 128 matrix, 1.2 mm thickness, 0.6 mm slice interval, 16 cm field of view, number of excitations 2 回, magnetization transfer contrast (-), 120 slices (2 slabs), zero-fill interpolation processing 2 回, overlap 8 枚, total scan time 8 分 49 秒 (2 slabs) で, 計 104 枚の軸位元画像が得られた。これら断層情報は, 同様にワークステーションに転送し, 0.3 mm の 3D volume-rendering dataset (207 data) に変換した。平行投影あるいは遠近投影 volume-rendering 法を使用した 3D MRA は, 信

号強度閾値170(0%opacity level)から190(100%opacity level)に増加する上り坂関数を用いて再構成作成した。3D MRC再構成時に保存しておいたtemplateを使用することで、X・Y・Z座標軸が一致した、3D MRCと等座標の3D MRAが、20秒の画像再構成時間で得られた。3D MRCと等座標3D MRAを同時に表示し、等座標3D MRAでの血管構築を参照することで、3D MRCにおける脳槽内構造物の位置関係および観察視点が容易に把握され、また、MRCでの管腔外壁形態とMRAでの管腔内血流情報を同一観察視野で対比検討した。

4. CTA撮影条件と同方向3D CTA画像再構成

CTAは、multi-detector row CT(HiSpeed Dual, GE-YMS Co. Ltd., Tokyo, Japan)を用いて、非イオン性ヨード造影剤320mgI/ml(Optiray 320シリジ®, 山之内製薬, 東京)を自動注入器を使用して、肘静脈より注入速度2ml/secで総注入量100ml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140KV、管電流150mA, 0.8sec/rotation, 512×512matrix, 1.0mm thickness, 25cm field of view, detector 2列、テーブル移動速度0.75mm/sec, high qualityモード(pitch 1.5)で、計40スライスの連続スキャンを実施した。軸位元画像断層情報は、コンソール上で1.0mm thickness, 0.5mm slice interval, 10cm field of view、再構成関数softで補間後、同様にワークステーションに転送した。

3D CTAは、ワークステーション上で、断層情報を0.25mmの3D volume dataset(158data)に変換し、遠近投影volume-rendering法で、CT値90HU(0%opacity level)から100HU(100%opacity level)の上り坂関数を使用して再構成作成した。3D MRCと同方向の観察視野となるように観察位置を視覚的に用手調整することで、同方向3D CTAを作成し、3D MRCでの管腔外壁形態と3D CTAでの管腔内壁形態とを同一観察視野で対比検討した。

・結果

MRC元画像では、脳槽内脳主幹動脈は、周囲脳脊髄液に対して陰影欠損像として明瞭に区別され

描出された。遠近投影3D MRCでは、脳槽内脳主幹動脈の外壁形態が、脳神経構造、脳槽周囲脳実質、頭蓋底骨構造とともに立体的に表示された。3D MRCとその等座標3D MRA、同方向3D CTAとを対比検討することで、脳主幹動脈狭窄性病変の拡がりを、これら可視化画像における管腔形態乖離として把握することができた。脳主幹動脈狭窄急性期例では、狭窄性病変を3次元可視化画像で追跡することにより、血栓溶解療法などの治療効果を経時的に立体評価することが可能であった。以下に症例を提示した。

症例1 70歳、女性、左中大脳動脈M2 inferior branch起始部狭窄

既往歴 高血圧、糖尿病(インスリン18単位自己注射でHbA1C 7.4)

ふらふら感、意識混濁状態で発症1時間後に来院した。神経学的に、意識障害(JCS I 3)、四肢脱力を認めた。MRI拡散強調画像は陰性で、T2-weighted画像上も陳旧性脳幹橋部梗塞巣を認める以外、新鮮病巣は認められなかった。MRC元画像では、左中大脳動脈M1、M2外径の狭小化は認められなかつたが、M2 inferior branch起始部で内腔に比較的高信号強度の異常陰影を認め、血栓形成が疑われた(Fig. 1A-F)。3D MRC(Fig. 2A, B)とその等座標3D MRA(Fig. 2C, D)では、M2 inferior branch起始部に高度な狭窄像が認められた。続いて3D CTAを施行し、M2 inferior branch起始部で後下面に強い血管内腔狭窄像が認められた(Fig. 2E, F)。左中大脳動脈M2 inferior branch領域の虚血状態と診断し、ウロキナーゼ42万単位の静脈内急速投与を行い、引き続いてアルガトロバン(60 20mg/日)の点滴投与を7日間行った。

神経脱落症状は速やかに回復したが、7日後のMRA、CTAでも、M2 inferior branch起始部の狭窄性病変は不变であった。MRC、MRA、CTAを3D画像上で同方向から対比検討した結果、病変部の管腔形態乖離が治療前と同様に遺残していたため、陳旧性血栓による狭窄性病変の残存と判断し、抗血小板剤(チクロピジン)、ワーファリン内服の上、厳重なfollow-up管理とした。

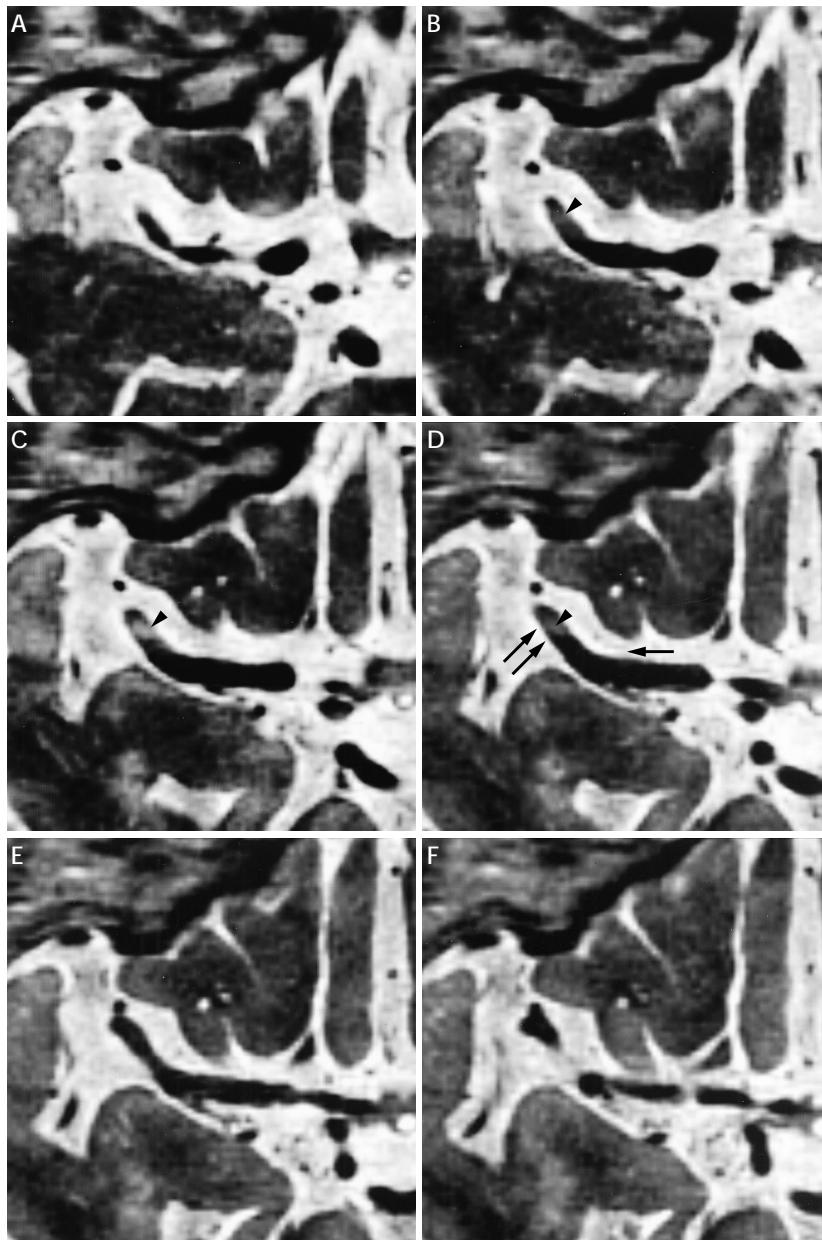


Fig. 1 Case 1. A 56-year-old woman with ischemic stroke due to stenosis of the left middle cerebral artery (M2 inferior branch). The source axial images of the MR cisternogram (A-F), before treatment, depicting the left middle cerebral artery with a negative shadow; contrasted by the cerebrospinal fluid high signal intensity area. A moderately high intensity area (arrowheads) showing an intraluminal thrombus at the beginning of the left M2 inferior branch.

症例2 87歳、女性、左中大脳動脈M1 M2分岐部狭窄。

既往歴 高血圧や心血管病変など特記すべきリスクファクターなし。

痴呆症状を主訴に、発症24時間後に家人に付き添われ来院した。神経学的に、右手巧緻運動障害、左角回症状、失語症を認めた。MRI拡散強調

画像は陰性で、T2-weighted画像上も陳旧性脳ラクネ2箇所を認める以外、新鮮な脳血管障害病巣は認められなかった。治療前3D MRC (Fig. 3B)では、管腔外壁形態に明らかな狭窄像は認められなかったが、3D MRA (Fig. 3A)、3D MRCと等座標の3D MRA (Fig. 3C)では、左中大脳動脈M1 M2分岐部に高度狭窄像が認められ、とくに inferior

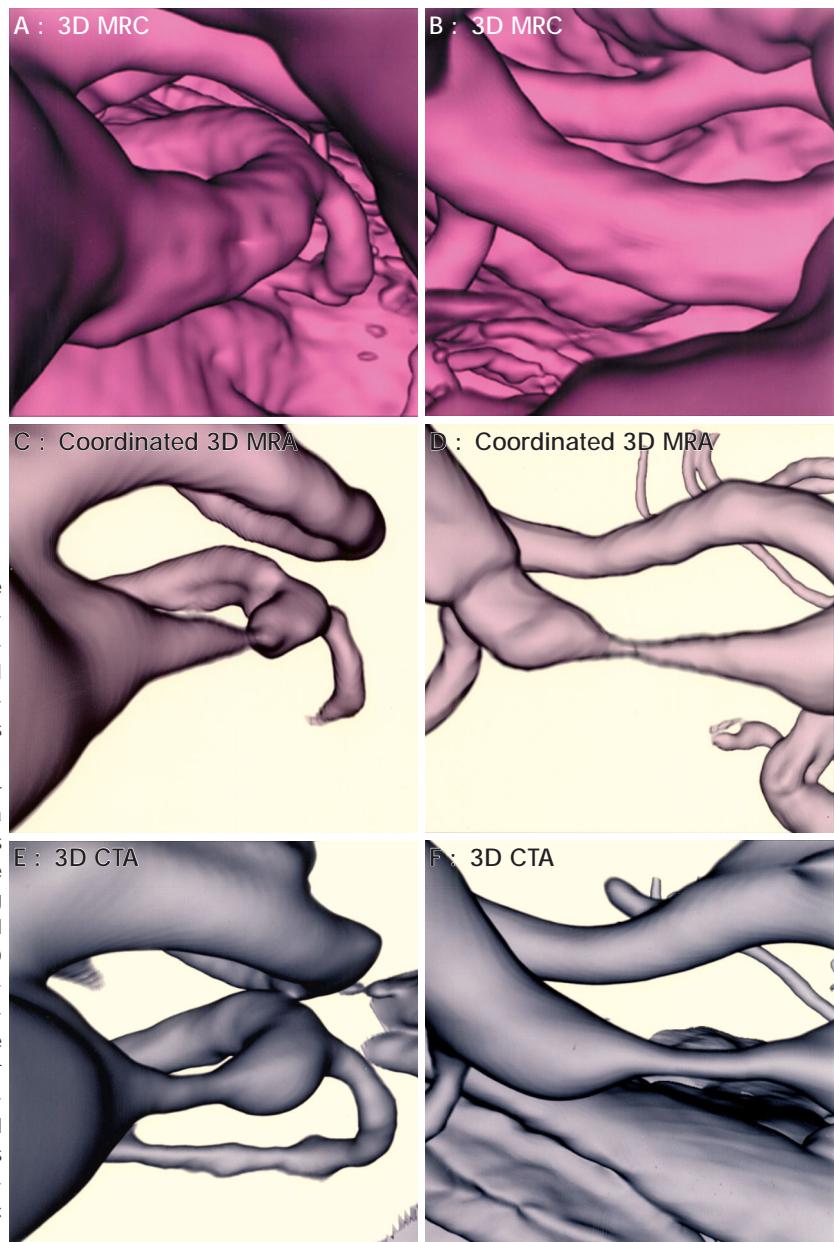


Fig. 2 Case 1. The perspective volume-rendering 3D MR cisternograms (A, B) showing almost normal appearance of the outer wall configuration of the stenotic M2 inferior branching artery. This is viewed from the proximal M1 along to the M2 inferior branch (arrow in Fig. 1D) (C) and from a posterolateral projection (arrows in Fig. 1D) (D). Comparing the morphological discrepancy among the 3D MRC (A, B), coordinated 3D MR angiograms (C, D) and 3D CT angiograms (E, F) through similar projections, respectively, showing the stenotic lesion at the beginning of the M2 inferior branch. The posttreatment follow-up MRC, MRA and CTA showed the same morphological features as before treatment, thus disclosing the persistence of the stenotic lesion.

branch 起始部では著しい血流信号強度の低下が認められた。CT perfusion study, 続いて CTA を施行し, 左中大脳動脈領域での造影剤到達時間の遅延と M1 M2 分岐部での高度な血管内腔狭窄所見が認められた。左中大脳動脈領域の広範囲な低灌流状態と診断し, ウロキナーゼ42万単位の静脈内急速投与とアルガトロバン(60 20 mg/日)の点

滴投与を 7 日間実施した。

神経脱落症状は漸次軽快し, 治療開始 12 時間後には完全に回復した。翌日の MRA 再検では狭窄性病変の軽減を認め, 7 日後の MRA, CTA では, M1 M2 分岐部で狭窄性変化はいずれにおいても認められなかった。この時点では 3D MRA (Fig. 3D), 3D MRC と同方向 3D CTA (Fig. 3E), 3D

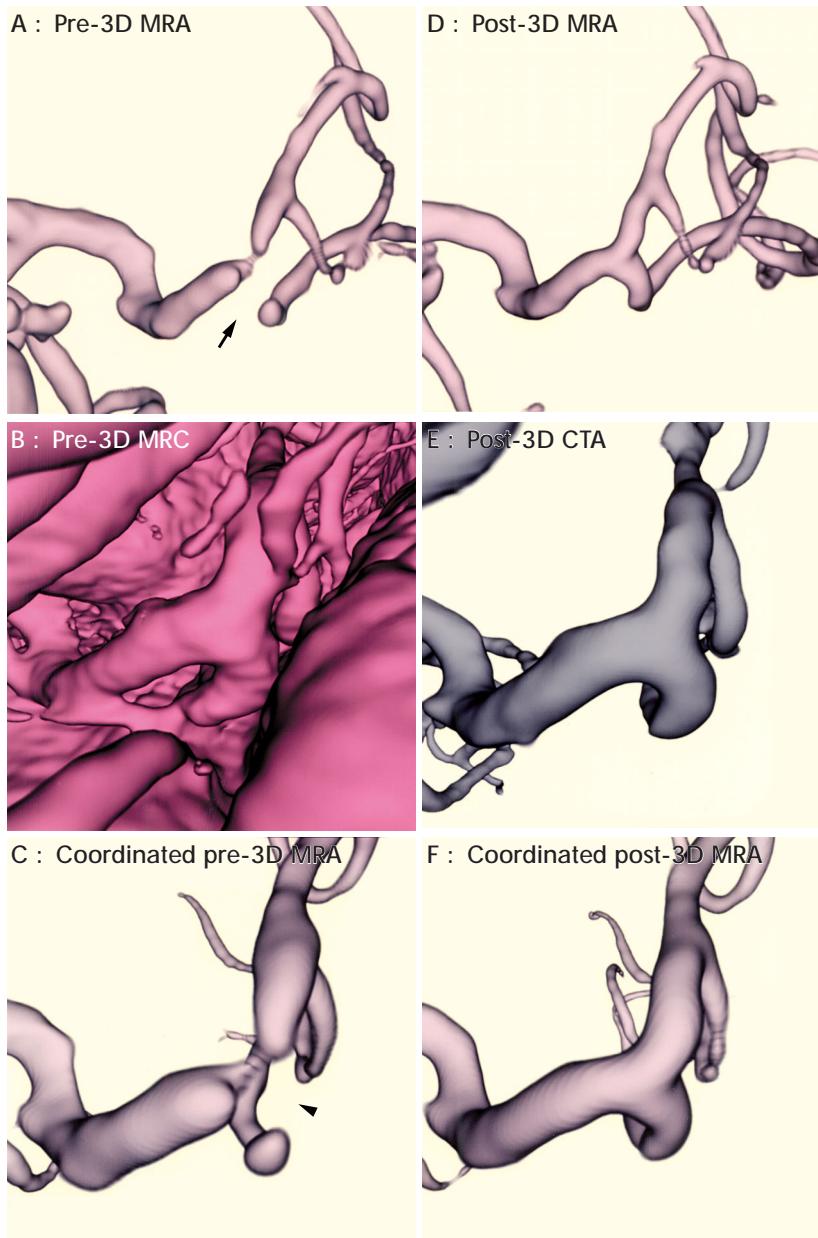


Fig. 3 Case 2. An 87-year-old woman with left cerebral ischemic stroke due to stenosis of the left middle cerebral artery (M1-M2 bifurcation). The conventional parallel volume-rendering 3D MR angiogram (A), before treatment, showing severe stenosis at the left M1-M2 bifurcation, especially at the beginning of the inferior branch with a gap (arrow). This is an antero-posterior projection. The perspective volume-rendering 3D MR cisternogram (B) depicting the outer wall contour of the terminal M1 and M2 junction complex without any stenotic changes. However, coordinated perspective volume-rendering MR angiogram (C) shows the distorted and eccentric concavity of the stenotic lesion (arrowhead). The post-treatment parallel volume-rendering 3D MR angiogram (D) showing the patent left M1-M2 bifurcation. On comparing, though such projections, the arterial configuration on the post-treatment 3D CT angiogram (E) and 3D MR angiogram (F) with the pretreatment 3D MR cisternogram (B), no significant morphological discrepancy is observed. This indicates the complete disappearance of the acute thrombus formed at the left M1-M2 bifurcation.

MRC と等座標の 3D MRA (Fig. 3F) とを画像上で立体的に対比検討した結果、病変部の管腔形態乖離が指摘できなかったため、狭窄部血栓は完全に消失したものと判断した。

考 察

MRI・MRA は、脳血管病変の非侵襲的なス

リーニング検査として、脳神経外科日常臨床で広く用いられている^{4, 7, 15, 16, 18-21}。近年の MRI 装置の性能向上やさまざまな撮像技術の進歩や、ワークステーションにおける computer medical visualization software による画像再構成技術の革新に伴い、MRI・MRA で得られた高品質な生体断層情報から、脳血管病変を立体的に可視化表示する 3 次

元画像が、きわめて短時間で作成可能な環境が整ってきている^{13-18, 21)}。

1. MRCによる脳主幹動脈外壁形態の描出

T2-weighted 3D FSE sequenceを使用したMRCでは、脳脊髄液がほぼ均一に高信号強度で描出されるため、陰影欠損像として描出される脳槽内構造物の外径や外壁形態を把握する上で、MRCは空間分解能の高い画像診断法の1つである^{6, 8, 10-12)}。また、MRCでのTR・TEなどの撮像条件を工夫することにより、脳主幹動脈、静脈、脳神経構造などの脳槽内占拠性構造物を低信号強度で、脳槽に隣接する脳実質や頭蓋底骨構造などを比較的低信号強度で表示することで、脳槽内の解剖学的構築を脳脊髄液との関連において、画像上明瞭に区別することができる。しかしながら、これまでのMRCでは、陰影欠損像で示される脳槽内構造物の空間的位置関係は、1枚あるいは複数枚の元画像上で視覚的に判断してきた。そのため、屈曲蛇行する血管走行や複雑な血管分岐部、あるいは架橋静脈や脳神経構造と重畳する脳主幹動脈では、構造物相互の位置関係を立体的に把握することは困難な場合があった。これら2次元画像の問題点を解決するためには、MRCで得られた脳槽断層情報から、最新の可視化技術を応用して、脳槽内解剖学的構築を3D可視化画像に再構成表示することが必要となる^{13-18, 21)}。

2. 遠近投影3D MRCとその等座標MRAおよび同方向CTAによる脳槽内脳主幹動脈狭窄性病変の立体的評価

従来のvolume-rendering法を使用した平行投影画像再構成法では、占拠性構造物は平行線上に投影表示されるため、後ろに重畳する構造物は遮蔽され観察不可能となる。そのため、関心構造物を観察するためには、すべての生体断層情報から、関心領域の断層情報部分を抽出し、選択的に画像再構成するか、障害となる構造物を可視化画像上から視覚的に削除・編集することが必要となる¹⁷⁾。これに対して、遠近投影画像再構成法では、関心構造物が放射状に遠近投影表示されるため、脳槽空間内の観察視点や視野角を調整することで、すべての生体断層情報の中から、障害物を回避して脳槽内構造物を観察することが可能となる^{2, 3, 9, 13,}

¹⁵⁻¹⁸⁾。遠近投影画像では、構造物の連続性が良好に視認され、構造物が広範囲に表示されるため、限られた空間での脳槽内構築の観察には最も適した可視化画像の1つである。遠近投影画像では、視点近傍の構造物の微細形態が拡大表示されるが、遠方では縮小表示されるため、画像上の構造物の歪みや距離感の把握など、画像評価に習熟することが必要である^{13, 17)}。

遠近投影3D MRCでは、脳主幹動脈が、脳槽内に限定した範囲でのみ、立体的に可視化表示される。これにより、脳槽内脳主幹動脈の外壁形態構築を静脈、脳神経構造などの脳槽内構造物や脳実質、頭蓋底骨構造などの脳槽周囲構造物とともに立体的に評価することが可能である。また、その等座標3D MRAでは、脳動脈構造が、脳槽内のみならず脳槽外にわたって広範囲に表示されるため、等座標3D MRAを参照して3D MRCを観察することで、脳槽内脳主幹動脈構築の空間的位置関係が容易に把握される。しかしながら、TOF、SPGR sequenceで撮影されたMRAでは、管腔内血流速度に関連した機能的断層情報は得られるが、その画像情報伝達特性から真の管腔内形態情報とは異なる¹⁶⁾。一方、3D CTAや3D DSAでは、管腔内に充盈された造影剤そのものの形態断層情報が得られるため、管腔内形態が詳細に可視化表示される。これらの観点から、脳槽内脳主幹動脈における狭窄性病変の形態は、3D MRCで得られる脳主幹動脈の外壁形態とその同方向3D CTAで得られる管腔内壁形態との管腔形態乖離として、3次元可視化画像上に表示されるものと考えられる。

3. 3D MRCの限界

3D MRCは、MRC元画像に反映される脳槽断層情報の再構成による立体的可視化表示であり、T2-weighted 3D FSE sequenceで得られるMRC元画像の品質や撮像条件に大きく影響される。MRCにおける脳脊髄液の信号強度は、個々の症例や検査条件で異なるため、脳槽内構造物の境界を規定するMR信号強度の絶対値は一定しない。MRCは微細断層情報であり、とくに脳虚血急性期では被験者の体動によりアーチファクトが生じやすく、等座標MRAを続いて撮影する場合は、十

分な安静を確保する必要がある。また、MR信号強度は、脳槽内脳脊髄液の拍動や流れ、管腔内血流にも影響される^{1,8,11)}。さらに、狭窄性病変のMR信号強度は壁在血栓や動脈壁の性状により異なるため、狭窄性病変が外壁境界である脳脊髄液、あるいは内壁境界である管腔内血液と明瞭なコントラストを示すように、TR、TEなどMRC撮像条件の調整が必要となる場合がある。

画像再構成上の問題点としては、脳槽内構造物の大きさは、構造物の境界を表示するMR信号強度に依存するため、volume-rendering法で使用される変換関数が至適な閾値となるように設定しなければならない。また、解剖学的脳槽空間容量は一般的に狭く、脳槽内での観察視点、視野角が限られるため、観察視野はある程度の範囲に制限される。

4. 3D MRC の臨床応用と展望

遠近投影3D MRCでは、脳脊髄液で境される脳槽内脳主幹動脈の外壁形態が立体表示されるため、その等座標3D MRAや同方向CTAと対比検討することにより、脳槽内脳主幹動脈狭窄性病変が、管腔形態乖離として、3次元画像上で立体的に評価できる。これにより、屈曲蛇行する血管走行や複雑な血管分岐部の狭窄性病変において、病巣の血管軸方向、血管径方向など空間的拡がりが容易に把握される。とくに、脳主幹動脈狭窄・閉塞急性期症例においては、病変部の外壁形態を3D MRCで立体表示することで、治療目標である完全再開通時の管腔形態を治療前に把握することが可能である。また、治療前後の狭窄性病変を3D MRCによる外壁形態、3D MRAによる管腔内血流情報、3D CTAによる管腔内壁形態など多角的に対比検討し、経時的に追跡することで、血栓溶解療法や血管形成術などの治療効果を非侵襲的に3次元評価することが可能である。これらにより、一過性脳虚血発作や大きな梗塞巣を伴わない虚血発症の脳主幹動脈狭窄症例では、治療後の残存病変自体(症例1, Fig. 1, 2), あるいは、治療による狭窄性病変の縮小や消失(症例2, Fig. 3)を3次元可視化表示することが可能であり、狭窄性病変の単なる立体的画像評価のみならず、治療・予後の判定にも有用であった。

3D MRC、その等座標3D MRA、同方向CTAを用いて、脳主幹動脈の外壁形態、血管外径、管腔形態乖離を可視化することにより、動脈硬化性変化にともなう血管内腔狭窄、もやもや病や脳血管攣縮での血管外径自体の狭窄性変化、慢性期内頸動脈閉塞などでみられる脳主幹動脈の狭小化など、臨床例における脳槽内脳主幹動脈病変のいろいろな形態評価が可能と思われる。今後、管腔外壁形態を表示するMRCと管腔内壁形態を表示するCTAやDSA、さらに管腔内血流機能を反映するMRAを、3次元可視化画像で多角的に対比検討することにより、脳主幹動脈狭窄性病変の診断治療における新しい立体的画像評価が可能になるものと考えられる。

本論文の要旨の一部は、第54回日本脳神経外科学会中国四国地方会(2002年12月7日、岡山)および第26回日本脳神経CI学会(2003年2月7日、名古屋)において発表した。

文 献

- 1) Bhadelia RA, Bogdan AR, Kaplan RF, Wolpert SM: Cerebrospinal fluid pulsation amplitude and its quantitative relationship to cerebral blood flow pulsations. A phase-contrast MR flow imaging study. *Neuroradiology* **39**: 258-264, 1997
- 2) Boor S, Resch KMD, Perneczky A, Stoeter P: Virtual endoscopy (VE) of the basal cisterns: its value in planning the neurosurgical approach. *Minim Invas Neurosurg* **41**: 177-182, 1998
- 3) Heine C, Klingebiel R, Lehmann R: Three-dimensional MR visualization of the intracisternal course of the cranial nerves V-VIII by virtual cisternoscopy. *Acta Radiol* **43**: 242-248, 2002
- 4) Hirai T, Korogi Y, Ono K, Nagano M, Maruoka K, Uemura S, Takahashi M: Prospective evaluation of suspected stenoocclusive disease of the intracranial artery: Combined MR angiography and CT angiography compared with digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* **23**: 93-101, 2002
- 5) Kato Y, Nair S, Sano H, Sanjaykumar MS, Katada K, Hayakawa M, Kanno T: Multi-Slice 3D-CTA: an improvement over single slice helical CTA for cerebral aneurysms. *Acta Neurochir (Wien)* **144**: 715-722, 2002
- 6) Komiyama M, Ishiguro T, Nishikawa M, Yasui T, Morikawa T, Kitano S, Sakamoto H: Constructive interference in steady state imaging of moyamoya disease. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **42**: 11-17, 2002
- 7) Maeder PP, Meuli RA, de Tribolet N: Three-dimen-

sional volume rendering for magnetic resonance angiography in the screening and preoperative workup of intracranial aneurysms. *J Neurosurg* **85**: 1050-1055, 1996

8) Mamata Y, Muro I, Matsumae M, Komiya T, Toyama H, Tsugane R, Sato O: Magnetic resonance cisternography for visualization of intracisternal fine structures. *J Neurosurg* **88**: 670-678, 1998

9) Rubin GD, Beaulieu CF, Argiro V, Ringl H, Norbush AM, Feller JF, Dake M, Jeffrey RB, Napel S: Perspective volume rendering of CT and MR images: applications for endoscopic imaging. *Radiology* **199**: 321-330, 1996

10) Rubinstein D, Sandberg EJ, Breeze RE, Sheppard SK, Perkins TG, Cajade-Law AG, Simon JH: T2-weighted three-dimensional turbo spin-echo MR of intracranial aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* **18**: 1939-1943, 1997

11) Ryu H, Tanaka T, Yamamoto S, Uemura K, Takehara Y, Isoda H: Magnetic resonance cisternography used to determine precise topography of the facial nerve and three components of the eighth cranial nerve in the internal auditory canal and cerebellopontine cistern. *J Neurosurg* **90**: 624-634, 1999

12) Saeki N, Murai H, Kubota M, Fujimoto N, Iuchi T, Yamada A, Sunami K: Heavy T2 weighted MR images of anterior optic pathways in patients with sellar and parasellar tumours. Prediction of surgical anatomy. *Acta Neurochir (Wien)* **144**: 25-35, 2002

13) 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

14) 佐藤 透: 骨構造を透視した CT Angiography 透過画像による脳動脈瘤構築の解析. *脳外* **29**: 517-524, 2001

15) 佐藤 透: 管腔壁を透視した 3D-MRA transluminal 画像による脳動脈瘤構築の解析. *脳外* **29**: 951-959, 2001

16) 佐藤 透: 脳動脈瘤構築解析における 3D-CTA・MRA の情報伝達特性. *脳外* **30**: 487-493, 2002

17) 佐藤 透: 境界面を透視した 3 次元脳槽 CT 透過画像および 3 次元脳槽 CT 画像による脳槽内構築の解析. *脳外* **30**: 1067-1073, 2002

18) 佐藤 透: 管腔壁を透視した three-dimensional MRA transluminal flow imaging による脳動脈瘤内血流の可視化. *脳外* **30**: 1173-1178, 2002

19) 鈴木泰篤, 川俣 光, 松本浩明, 松本 清: 中大脳動脈狭窄性病変に対する神経放射線学的検討. *脳外誌* **7**: 541-547, 1998

20) Villablanca JP, Martin N, Jahan R, Gobin YP, Frazee J, Duckwiler G, Bentson J, Hardart M, Coiteiro D, Sayre J, Vinuela F: Volume-rendered helical computerized tomography angiography in the detection and characterization of intracranial aneurysms. *J Neurosurg* **93**: 254-264, 2000

21) 横山千菜美, 大迫知香, 佐藤 透: 3D CTA, 3D MRA 管腔透視 (transluminal) 画像による脳動脈瘤構築の透視観察. *日本放射線技術学会雑誌* **58**: 1497-1502, 2002