

3次元MR脳槽画像による未破裂脳動脈瘤外壁形態と 瘤周囲環境の画像評価*

佐藤 透¹⁾ 沼野千菜美¹⁾ 大迫 知香¹⁾ 勝間田 篤²⁾
小野田恵介²⁾ 土本 正治²⁾ 柚木 正敏³⁾ 徳永 浩司³⁾
杉生 憲志³⁾ 伊達 勲³⁾

Evaluation of the Contours and Perianeurysmal Environment of Unruptured Cerebral Aneurysms, using Three-dimensional Magnetic Resonance Cisternogram

Toru SATOH¹⁾, Chinami EKINO¹⁾, Chika OHSAKO¹⁾, Atsushi KATSUMATA²⁾, Keisuke ONODA²⁾, Shoji TSUCHIMOTO²⁾,
Masatoshi YUNOKI³⁾, Koji TOKUNAGA³⁾, Kenji SUGI³⁾, Isao DATE³⁾

1) Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

2) Department of Neurological Surgery, Onomichi Municipal Hospital

3) Department of Neurological Surgery, Okayama University Graduate Medical School

To evaluate the anatomical relationship between cerebral aneurysm and the perianeurysmal environment within a cisternal space, the contours of an unruptured cerebral aneurysm and pericisternal structures were depicted on a three-dimensional (3D) MR cisternogram. By using perspective volume-rendering algorithm, the 3D MR cisternograms were reconstructed from the source axial volume data set obtained by the T2-weighted 3D fast spin-echo sequence. Those images were shown together with the coordinated 3D MR angiograms through similar visual projections, and then compared with the intraoperative findings. The outer wall configurations of cerebral aneurysms within the cisternal space were shown in conjunction with the accompanying surface veins, adjacent cranial nerves, dura mater and tentorial edge, cranial base bone, and surrounding pericisternal brain surfaces. With application of 3D MR cisternograms in the management of unruptured cerebral aneurysm, the anatomical relationship between the aneurysmal contours and the perianeurysmal environment could be evaluated within the cisternal space. This might provide another clinical factor when considering the potential risk of growth, rupture, and symptomatic cranial nerve signs of an unruptured cerebral aneurysm.

(Received : July 7, 2003)

Key words contour of the vessels, MR cisternography, perianeurysmal environment, perspective volume rendering, three-dimensional reconstruction

No Shinkei Geka 32(3): 215-221, 2004

.はじめに

は、これまで脳動脈瘤の大きさやbleb形成などの形態学的要素^{1,27,28)}、脳動脈瘤内の血流パターンやshear stressなどの流体力学的要素^{3,9,22,24,26)}、

脳動脈瘤の発生、成長、破裂に至るメカニズム

* 2003.7.7受稿

1) (医療法人社団)涼風会 佐藤脳神経外科脳神経外科, 2) 尾道市立市民病院脳神経外科, 3) 岡山大学大学院脳神経外科
〔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

脳動脈瘤壁の弾力性や脆弱性などの病理学的要素^{6,8)}など、主として脳動脈瘤血管構築および瘤内環境について報告されてきた。近年、脳動脈瘤外壁とこれに接触、癒着する脳実質や脳神経など脳動脈瘤周囲構造物との解剖学的関係が、脳動脈瘤の瘤外・瘤周囲環境 (perianeurymal environment) として臨床的に検討され、特に脳動脈瘤の破裂や脳神経症候の発症に関わる要因の1つとして関心がもたれる^{14,17)}。

T2-weighted three-dimensional (3D) fast spin-echo (FSE) sequence (heavy T2-weighted imaging) などで得られる MR 脳槽画像 (MR cisternogram, MRC) では、信号雑音比が良好で微細な断層情報 (volume data) が得られ、脳槽内脳脊髄液は高信号強度で、脳動脈瘤や親動脈、脳表静脈・架橋静脈、脳神経などの脳槽内構造物や脳実質、硬膜・頭蓋底骨構造は低信号強度で描出される^{7,10-13,15,16)}。これにより、MRC では、脳動脈瘤の外壁は脳脊髄液と明瞭に境界され、脳槽内陰影欠損像として、周囲脳実質、脳表静脈、脳神経構造物などの瘤外・瘤周囲環境とともに表示可能となる。

今回、未破裂脳動脈瘤に対して MRC を撮影し、得られた volume data から、遠近投影 volume-rendering 法を使用した3次元 MR 脳槽画像 (3D MRC) を作成し、脳動脈瘤外壁と周囲構造物との解剖学的関係を立体的に可視化した。本稿では、3D MRC とその等座標 3D MR angiogram (3D MRA) を用いて、脳動脈瘤外壁形態と瘤周囲環境を prospective に画像評価し、retrospective に手術所見と対比したので報告する。

・対象と方法

対象は、予防的脳動脈瘤根治術を実施した無症候性未破裂脳動脈瘤の2例（左中大脳動脈瘤、左内頸眼動脈瘤）である。

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) 4000 ms/echo time (TE) 160 ms, echo train length 128, 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, 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。これらの volume data は、ワークステーション (Zio M900[®], AMIN Co. Ltd., Tokyo, Japan) に DICOM 転送した。

3D MRC は、volume data を 0.3 mm に補間後、9秒間で 3D volume-rendering data set (111 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。元画像における信号強度の histogram 分析に基づいて、信号強度分布の opacity chart から、信号強度閾値 450 (100% opacity level) から 470 (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物すべての volume data を選択的に抽出した。3D MRC では、脳動脈瘤などの脳槽内構造物や脳槽周囲構造の外壁形態が立体的に表示され、脳槽内のいろいろな視点から自由な視野角で観察可能であった。

MRA は、MRC 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, without magnetization transfer contrast, 60 slices (2 slabs), zero-fill interpolation processing 2, 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。これらの volume data は同様にワークステーションに転送し、0.3 mm の 3D volume-rendering data set (207 data) に変換した。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 を作成し、この等座標 3D MRA を同時に表示し参照することで、3D MRC での脳槽内観察位置が容易に把握された。

脳動脈瘤外壁形態と瘤周囲環境との解剖学的関係は、3D MRC での脳動脈瘤など管腔構造物の外

壁形態や瘤周囲構造物の表面形態と3D MRAで得られる管腔内血流情報とを同一観察視野で対比することでprospectiveに画像評価し, retrospectiveに手術所見と対比検討した。これら3D MRC, 3D MRAを3D画像表示するまでに要する時間は、いずれもMR撮影終了後約20秒を要した。

・結果

MRC元画像では、脳槽内脳動脈瘤は、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。3D MRCでは、脳動脈瘤の外壁形態が架橋静脈・脳表静脈、視神経・動眼神経などの脳神経、硬膜・頭蓋底骨構造や脳表などの脳槽周囲構造物とともに立体的に表示された。また、等座標3D MRAを参照することで、脳動脈瘤血管構築と瘤外・瘤周囲環境との全体的位置関係が把握された。3D MRCでは、様々な脳槽内観察視点から、脳動脈瘤外壁形態と瘤周囲環境との解剖学的関係を画像評価することが可能であり、手術所見と極めて類似した3D MRC画像をretrospectiveに作成することが可能であった。以下に症例を提示した。

症例1 63歳、女性、未破裂左中大脳動脈瘤(Fig. 1)

MRC元画像(Fig. 1A)では、左中大脳動脈M1 M2分岐部に半円形の囊状脳動脈瘤(4.5×4.4×4.8mm)が認められた。左後上側方から見た手術写真(Fig. 1B)では、脳動脈瘤domeとdistal neckの形態、M2 superior branch, M2 inferior branch, dome表面を走行する架橋静脈、脳表静脈、側頭葉などの瘤周囲構造が明示された。脳動脈瘤domeは側頭葉operculumと接触、軽度圧排し、接触縁部にbleb様の小隆起性変化が認められた。手術方向から見た3D MRC(Fig. 1C)では、脳動脈瘤血管構築の外壁形態が、架橋静脈・脳表静脈、側頭葉operculumなどの瘤周囲構造とともに立体的に可視化表示され、手術写真に相応した脳動脈瘤と瘤周囲構造との接触状態が把握された。等座標3D MRA(Fig. 1D)では、bleb様小隆起を示すdomeの一部が突出して描出されたが、脳動脈瘤とM1, M2の動脈構築が表示され、3D MRCで表示され

た脳動脈瘤血管構築の把握に有用であった。

症例2 13歳、女性、未破裂左内頸眼動脈瘤(Fig. 2)

MRC元画像のminimum intensity projection(MRC-MinIP)画像(Fig. 2A)では、脳動脈瘤はほぼ円形(8.3×8.4×8.8mm)で、均一な低信号強度領域として、周囲脳脊髄液、視神経・視交叉、硬膜・天幕自由縁、前床・後床突起などの頭蓋底骨構造、周囲脳実質と境界明瞭に区別して描出され、脳動脈瘤血管構築と瘤周囲構造との接触状況が把握された。左前床突起を削除し、後交通動脈起始部にtemporary clipを置いた左上側方から見た手術写真(Fig. 2B)では、脳動脈瘤は眼動脈分岐部で内頸動脈床突起上部背側にwide-neckを有し、一部壁の不整を伴い内側上方に囊状に進展し、左視神経は右上方に圧排され扁平化していた。手術方向から見た3D MRC(Fig. 2C)では、相応する脳動脈瘤外壁形態が、distal neckと後交通動脈、内頸動脈との解剖学的関係において立体的に描出されたが、脳動脈瘤domeのほとんどは前床突起などの瘤周囲構造により遮蔽され全貌は描出されなかった。等座標3D MRA(Fig. 2D)では、脳動脈瘤内の渦流やneck近傍親動脈での血流剥離により、正確な血管形態は描出されなかったが、脳動脈瘤動脈構築は脳槽内から脳槽外にかけて広範囲に表示された。

・考察

くも膜下腔の血管分岐部で発生した囊状脳動脈瘤は、成長とともにくも膜下腔内の脳神経、血管構造物と接触し、さらにくも膜下腔での許容サイズを超えた場合は、容易に脳槽周囲脳実質や硬膜・頭蓋底骨構造と接触し、脳動脈瘤の伸展制約や圧排による脳動脈瘤の変形・壁の脆弱化を来し、あるいは脳動脈瘤と脳神経との接触・癒着により脳神経症状を発症するものと推測される。脳動脈瘤の発生、成長、破裂は、これまで主として脳動脈瘤血管構築および瘤内環境について検討されてきたが、脳動脈瘤外・瘤周囲環境も脳動脈瘤の伸展成長、破裂に関与する因子の1つと考えられる。

脳動脈瘤の瘤外・瘤周囲環境について、San

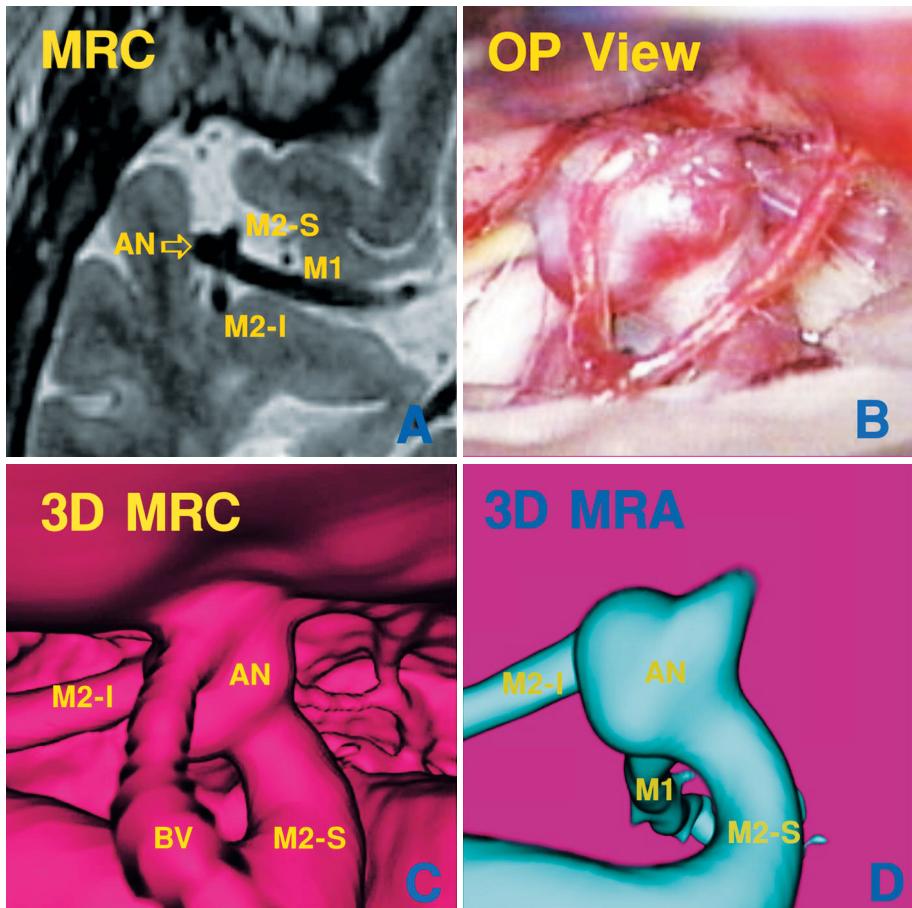


Fig. 1 Unruptured left middle cerebral artery aneurysm (Case 1). A: The source MR cisternogram (MRC) showing a semi-round shaped aneurysm (arrow) and parent M1 and M2 arteries with profoundly low signal intensity, and adjacent brain parenchyma with relatively low signal intensity; in contrast to the surrounding cerebrospinal fluid with high signal intensity. AN: aneurysm, M1: M1 portion of the middle cerebral artery, M2: superior (M2-S) and inferior (M2-I) M2 branches of the middle cerebral artery. B: Operative view, left superoposterior projection, showing the dome and distal neck of the aneurysm with a small bleb, and overlying bridging veins and adjacent brain surface. C: 3D MRC, similar projection to the operative view in B, showing spatial expansion of the outer wall configuration of the aneurysm. The aneurysmal dome (AN) makes contact with the surrounding bridging vein (BV) and temporal operculum. D: Coordinated 3D MRA, projected similarly to the operative view in B and the 3D MRC in C, showing the arterial angioarchitecture of the aneurysm with a bleb at the dome.

Millan Ruizら¹⁷⁾は単純CT, CT angiography (CTA) 元画像で検討し, 未破裂脳動脈瘤に比べて破裂脳動脈瘤では, 脳動脈瘤が周囲構造物と接触し, 脳動脈瘤長軸に対して非対称な接触範囲を示す場合が多く, 脳動脈瘤が増大し破裂に至る要因の1つとして脳動脈瘤と瘤外環境とのconflictual contactの重要性を報告している。また, 江塚ら⁴⁾は, 破裂脳動脈瘤の手術所見で, 破裂点はくも膜下腔の

自由空間に面した部分ではなく, 脳実質, 脳神経, くも膜などとの接触・癒着面に認められたため, 脳動脈瘤の破裂が, 脳動脈瘤壁とこれに接する周囲組織との最も物理的ストレスの高い接点で生じる可能性を指摘している。一方, 片岡ら⁸⁾は, 症候性未破裂内頸後交通動脈瘤の病理学的検討で, 未破裂であっても脳動脈瘤の壁は全体的に薄く, 破裂脳動脈瘤と同様な壁の脆弱性, 炎症性細胞の

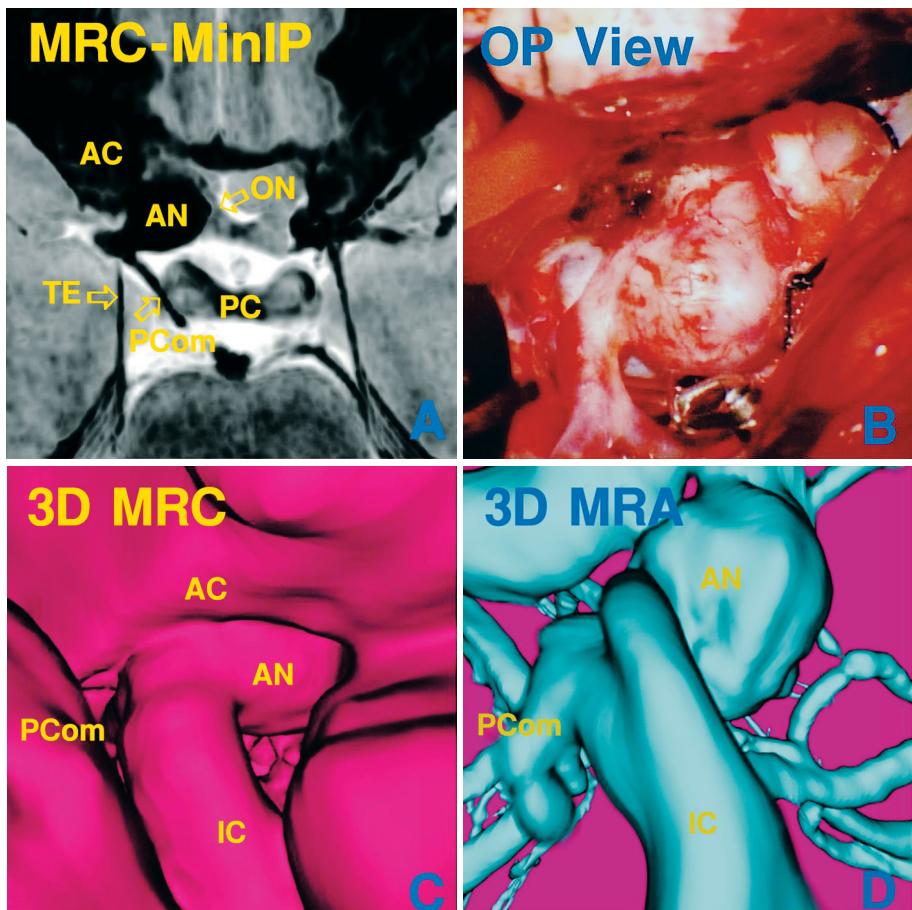


Fig. 2 Unruptured left internal carotid-ophthalmic artery aneurysm (Case 2). A : Minimum intensity projection images reconstructed from MRC (MRC-MinIP) showing a round shaped aneurysm (AN), dura mater and tentorial edge (TE) with profoundly low signal intensity, and adjacent cranial base bone, optic nerve and chiasm, and brain parenchyma with relatively low signal intensity; in contrast to the surrounding subarachnoid cerebrospinal fluid with high signal intensity. AC : anterior clinoid process bone, PC : posterior clinoid process bone, PCom : posterior communicating artery. B : Operative view, after cutting off the anterior clinoid process bone, showing an aneurysm originating from the dorsal internal carotid artery with a wide-neck. The aneurysm extends superomedially and makes contact with the left optic nerve. C : 3D MRC, similar projection to the operative view in B, showing spatial expansion of the outer wall configuration of the aneurysm including the distal neck, internal carotid artery (IC), and posterior communicating artery (PCom) branching. Visualization of the aneurysm is limited by the foreground anterior clinoid process bone overlying most of the aneurysm. IC : internal carotid artery. D : Coordinated 3D MRA, projected similarly to the operative view in B and the 3D MRC in C, showing extensively the arterial angioarchitecture of the aneurysm.

壁内浸潤が認められ、脳動脈瘤壁と動眼神経および瘤周囲組織との間に急性の癒着や慢性の瘢痕化が認められたと報告している。また、本田ら⁶⁾は、動眼神経麻痺の悪化した未破裂内頸後交通動脈瘤例で、術前破裂や術中破裂、薄い動脈瘤壁、bleb形成を認め、微小出血、瘤との癒着、急激な増大

による衝撃的圧迫が動眼神経麻痺の成因としている。

脳動脈瘤とその瘤外・瘤周囲環境との解剖学的関係は、CTA や MRA 元画像の詳細な読影でもある程度は把握可能である^{17, 25)}。しかし、CTA は血管内腔の造影剤充盈形態情報、MRA は血管内腔

血流情報を反映するため^{5, 9, 18-23)}、脳動脈瘤や親動脈の外壁形態と周囲構造物との解剖学的関係の把握には、くも膜下腔脳脊髄液にコントラストをおいた脳槽CTやMRCおよびこれらの3次元画像表示が最も適していると考えられる。われわれは先に、未破裂脳動脈瘤の外壁形態とこれに隣接する脳神経、血管、脳表など脳槽周囲構造物との空間的位置関係を立体的に表示する3次元脳槽CT画像および境界面を透視した3次元脳槽CT透過画像について報告した²⁰⁾。しかし、脳槽CTは、脳槽内へのヨード造影剤投与を必要とする低侵襲造影検査であり、すべての症例に実施するにはリスクを伴う。これに対して、MRCでは、脳脊髄液は高信号強度でほぼ均一にコントラストされ、脳動脈瘤など脳槽内構造物は低信号強度の陰影欠損像として表示されるため、脳動脈瘤外壁形態と瘤外・瘤周囲環境の解剖学的関係を非侵襲的に画像評価することが可能である。

3D MRCでは、脳動脈瘤血管構築は、周囲構造物とともに脳槽内に限局した範囲でのみコントラストされ立体的に描出される。一方、3D MRAでは、脳血管構築は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。そのため、等座標3D MRAを参照して3D MRCを観察することで、脳槽内脳動脈瘤血管構築の外壁形態と瘤外・瘤周囲環境との位置関係が容易に把握可能となる^{21, 23)}。3D TOF, SPGR sequenceで撮影されたMRAでは、inflow effectで示されるpeak systolic velocityに関連した血流機能情報が得られ、脳動脈瘤内の複雑な血流パターンや流入・流出親動脈内の血流分布が解析可能である^{19, 22)}。しかし、その画像情報伝達特性から、管腔内壁・外壁など真の管腔形態を表示することは困難であり、参照MRA画像を読影するうえで注意を要する。

3D MRCは、MRC元画像の立体的可視化表示であり、空間分解能や濃度分解能など元画像の品質や撮像条件に大きく影響される^{10, 19, 21-23)}。脳動脈瘤瘤内血栓や親動脈壁にアテローム硬化や石灰化を伴う場合には、脳動脈瘤や親動脈の外壁境界と周囲脳脊髄液との間に明瞭なコントラストが得られない場合がある。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^{2, 12, 21)}。さらに、MRCでは、被験者の体動によりアーチファクトが生じやすく十分な安静を確保する必要がある。また、3D画像作成上の問題点として、脳槽内構造物の大きさは、volume-rendering法で使用される変換関数の閾値に依存し一定しない。そのため、MRC元画像での関心構造物を含めた信号強度分布のhistogramを参照して、構造物の境界を表示するMR信号強度の閾値が至適となるように設定しなければならない^{19, 21-23)}。さらに、脳槽空間は一般的に狭く、観察視野が制限されるため、観察位置や視野角を自由に変えて、脳槽内のいろいろな視点から脳動脈瘤とその瘤外環境を十分に観察することが必要である。

3D MRCを用いて脳動脈瘤外壁形態とその瘤外・瘤周囲環境との解剖学的関係を画像評価することは、個々の未破裂脳動脈瘤における進展発育や破裂の予測、さらには脳神経症の症候性発症の可能性を考えるうえで新たな指標の1つになり得るものと考えられる。しかしながら、脳槽内に限局した微小サイズの脳動脈瘤の破裂も臨床上しばしば経験され、サイズや瘤外環境に関連しない瘤内環境のみが破裂の要因となる場合も考えられる。今後、未破裂脳動脈瘤のマネジメントにおいては、CT/CTAやMRI/MRAなど各種診断方法で得られた形態・機能情報を統合することで、脳動脈瘤血管構築や瘤内環境のみならず、瘤外・瘤周囲環境を含めて、個々の未破裂脳動脈瘤を立体的に画像評価することが必要と考えられた。

本論文の要旨の一部は、第62回日本脳神経外科学会総会（2003年10月1日、仙台）にて発表した。

文 献

- 1) Asari S, Ohmoto T: Natural history and risk factors of unruptured cerebral aneurysms. Clin Neurol Neurosurg **95**: 205-214, 1993
- 2) Bhadelia RA, Bogdan AR, Kaplan RF, Wolpert SM: Cerebral fluid pulsation amplitude and its quantitative relationship to cerebral blood flow pulsations. A phase-contrast MR flow imaging study. Neuroradiology **39**: 258-264, 1997
- 3) Burleson AC, Strother CM, Turitto VT: Computer modeling of intracranial saccular and lateral aneurysms

for the study of their hemodynamics. *Neurosurgery* **37**: 774 784, 1995

4) 江塚 勇, 柿沼健一, 原田篤邦, 松本大樹: ヘモシデリン沈着せる臨床的未破裂動脈瘤. p546, (第61回日本脳神経外科学会総会抄録集, 松本, 2002)

5) Jones BV: Luminal and mural imaging of aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* **24**: 299 300, 2003

6) 本田 優, 八木伸博, 馬場啓至, 米倉正大: 未破裂内頸動脈後交通動脈瘤で動眼神經麻痺をきたすメカニズムの臨床的検討. *脳神経* **53**: 1107 1109, 2001

7) Kakizawa Y, Hongo K, Takasawa H, Miyairi Y, Sato A, Tanaka Y, Kobayashi S: "Real" three-dimensional constructive interference in steady-state imaging to discern microneurosurgical anatomy. *J Neurosurg* **98**: 625 630, 2003

8) 片岡和夫, 種子田 譲: 未破裂脳動脈瘤の病理・病態, pp250 254 (菊池晴彦: 脳血管障害の最新医療, 第6章, 第6節, 先端医療技術研究所. 東京, 2002)

9) Kerber CW, Liepsch D: Flow dynamics for radiologists. II. Practical considerations in the live human. *AJNR Am J Neuroradiol* **15**: 1076 1086, 1994

10) 桐山英樹, 相原 寛: MRI検査におけるちょっとした工夫. *脳外速報* **10**: 137 140, 2000

11) 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

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

13) 永閑慶重, 西 秀夫, 刀川優一, 真田知幸, 西松輝高, 井上 洋: 後頭蓋窓外科解剖のneuroimaging-MR cisternographyとMR斜位像の有用性. *脳外誌* **10**: 33 40, 2001

14) Rodriguez-Catarino M, Frisen L, Wikholm G, Elfverson J, Quiding L, Svendsen P: Internal carotid artery aneurysms, cranial nerve dysfunction and headache: the role of deformation and pulsation. *Neuroradiology* **45**: 236 240, 2003

15) 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

16) 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

17) San Millan Ruiz D, Tokunaga K, Dehdashti AR, Sugiu K, Delavelle J, Rufenacht DA: Is the rupture of cerebral berry aneurysms influenced by the perianeurysmal environment? *Acta Neurochir Suppl* **82**: 31 34, 2002

18) Satoh T: Transluminal imaging with perspective volume rendering of computed tomographic angiography for the delineation of cerebral aneurysms. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **41**: 425 430, 2001

19) 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. *No Shinkei Geka* **30**: 487 493, 2002

20) 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. *No Shinkei Geka* **30**: 1067 1073, 2002

21) 佐藤 透: 3次元MR cisternogram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. *No Shinkei Geka* **31**: 550 559, 2003

22) Satoh T, Onoda K, Tsuchimoto S: Visualization of intraaneurysmal flow patterns with transluminal flow imaging of three-dimensional MR angiograms in conjunction with aneurysmal configurations. *AJNR Am J Neuroradiol* **24**: 1436 1445, 2003

23) Satoh T, Onoda K, Tsuchimoto S: Intraoperative evaluation of aneurysmal architecture: comparative study with transluminal images of 3D MR and 3D CT angiograms. *AJNR Am J Neuroradiol* **24**: 1975 1981, 2003

24) Steinman DA, Milner JS, Norley CJ, Lownie SP, Holdsworth DW: Image-based computational simulation of flow dynamics in a giant intracranial aneurysm. *AJNR Am J Neuroradiol* **24**: 559 566, 2003

25) 竹市康裕, 小島正行, 李 英彦, 船津 登, 京蔵和光, 馬渕順久, 津田永明, 長澤史朗: 内頸動脈後交通動脈瘤の手術. MR血管撮影の元画像の有用性について. *No Shinkei Geka* **25**: 411 416, 1997

26) Tateshima S, Murayama Y, Villablanca JP, Morino T, Takahashi H, Yamauchi T, Tanishita K, Vinuela F: Intraaneurysmal flow dynamics study featuring an acrylic aneurysm model manufactured using a computerized tomography angiogram as a mold. *J Neurosurg* **95**: 1020 1027, 2001

27) 氏家 弘: 未破裂脳動脈瘤のaspect ratio, pp244 249 (菊池晴彦: 脳血管障害の最新医療, 第6章, 第5節, 先端医療技術研究所. 東京, 2002)

28) Weir B, Amidei C, Kongable G, Max Findlay J, Kassell NF, Kelly J, Dai L, Garrison TG: The aspect ratio (dome/neck) of ruptured and unruptured aneurysms. *J Neurosurg* **99**: 447 451, 2003