

研究 ◆ Original Article

未破裂内頸動脈 - 後交通動脈瘤の伸展・変形に及ぼす瘤周囲環境の
画像評価 : 3D MR Cisternography-3D MR angiography
fusion imaging による検討*

佐藤 透¹⁾ 尾美 賜²⁾ 大迫 知香²⁾ 勝間田 篤²⁾
吉本 祐介³⁾ 土本 正治³⁾ 小野田恵介³⁾ 徳永 浩司³⁾
杉生 憲志³⁾ 伊達 勲³⁾

Assessment of the Perianeurysmal Environment of Unruptured Internal Carotid-Posterior
Communicating Artery Aneurysms with Fusion Imaging of Three-dimensional Magnetic
Resonance Cisternography and Angiography

Toru SATOH¹⁾, Megumi OMI²⁾, Chika OHSAKO²⁾, Atsushi KATSUMATA²⁾, Yusuke YOSHIMOTO³⁾, Shoji TSUCHIMOTO³⁾,
Keisuke ONODA³⁾, 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 School of Medicine,
Dentistry and Pharmaceutical Sciences

The anatomical relationship of an unruptured internal carotid-posterior communicating artery aneurysm and the perianeurysmal environment was investigated by using three-dimensional (3D) magnetic resonance cisternography (MRC), angiography (MRA) and newly developed fusion images of 3D MRC and 3D MRA. Contact of an aneurysm with the adjacent intra- and pericisternal structures was observed in cases with the aneurysm developing and extending beyond the capacity of the surrounding subarachnoid space. Deformation and bleb formation of the aneurysmal dome was depicted at the dome in contact with the perianeurysmal environment, including the tentorial edge, the anterior petroclinoid dural fold, the oculomotor nerve, the posterior clinoid process, the dorsum sellae and the cranial base bone. By using the fusion imaging technique of 3D MRC and 3D MRA, assessment of the contact of an unruptured cerebral aneurysm with its perianeurysmal environment can be made. Such contact gives rise to risk of deformation and bleb formation of the aneurysmal dome; and may result in cranial nerve symptoms and accelerate rupture from an unruptured cerebral aneurysm.

(Received : October 1, 2004, Accepted : February 14, 2005)

Key words aplasia, internal carotid artery, intracerebral hemorrhage

No Shinkei Geka 33(6): 569 - 577, 2005

I. はじめに

脳動脈瘤の発生, 成長, 破裂のメカニズムは,

これまで親動脈と脳動脈瘤との血管構築, 瘤サイズと形態, 瘤壁性状, 瘤内血行動態など主として脳動脈瘤自体が有する瘤内環境について検討され

*(2004, 10, 1 受稿, 2005, 2, 14 受理)

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
医歯薬学総合研究科 神経病態外科学

〔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丁目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

てきた^{1-4,13,16,18-22}。これらに加え、脳動脈瘤を取り囲む瘤周囲環境 (perianeurysmal environment) は、脳動脈瘤の伸展や dome の変形にかかわる瘤外要因と考えられている^{10,15,17}。

内頸動脈-後交通動脈瘤は成長・増大に伴い、硬膜・硬膜嚢、天幕自由縁、後床突起、動眼神経、後交通動脈、さらには側頭葉内側面など多くの瘤周囲構造物と接触する可能性を有する。今回われわれは、未破裂内頸動脈-後交通動脈瘤において、MR cisternography (MRC) と MR angiography (MRA) とを連続して撮像し、得られた volume data から three-dimensional (3D) MRC とその等座標 3D MRA を画像再構成した。さらに、両者の volume data を重畳した 3D MRC-MRA fusion image を新たに創作し、未破裂脳動脈瘤の伸展・変形に及ぼす瘤周囲環境に着目して画像解析したので報告する。

II. 対象と方法

対象は、MRA で発見された未破裂内頸動脈-後交通動脈瘤 4 例 (年齢 58 ~ 83 歳) で、3 例に開頭による予防的脳動脈瘤根治術を実施し、1 例は経過観察とした。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、等座標 3D MRA および 3D MRC-MRA fusion image で立体的に画像評価した。

MRC の撮像、3D MRC 再構成、等座標 MRA の作成方法の詳細は先に報告したので^{8,11-17}、ここでは簡略に記載する。MRC は、T2-weighted 3D fast spin echo (FSE) sequence を使用し、repetition time (TR) 4000 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 13 分 23 秒の撮影条件で、計 96 枚の連続した軸位元画像を取得した。

3D MRC は、ワークステーションで選択した 3D volume-rendering dataset (84 data) から、遠近投影 volume-rendering 法を使用して画像を再構成し作成した。信号強度分布の opacity chart から、脳動脈瘤外壁境界に相応する信号強度を個

別に決定し、閾値 400 ~ 540 (100% opacity level) から 420 ~ 560 (0% opacity level) に減少する下り坂関数 (window width 20) を用いて、脳脊髄液以外の脳槽内・脳槽周囲構造物すべての断層情報を選択し青色カラーを付して表示した。MRA は、MRC と同じ基準線を使用して撮像し、3D time-of-flight (TOF), spoiled gradient-recalled (SPGR) acquisition in the steady state の sequence を使用し、TR 30 ms / TE 3.3 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, without magnetization transfer contrast, 60 slices (2 slabs), zero-fill interpolation processing 2 回, overlap 8 枚, total scan time 8 分 49 秒 (2 slabs) の撮影条件で、計 104 枚の軸位元画像を得た。3D MRC と同一の視野角・観察視点 (x, y, z) から見た等座標 3D MRA は、0.6 mm に補間後選択した 3D volume-rendering dataset (84 data) から、遠近投影 volume-rendering 法を使用して再構成し、個別に決定した信号強度閾値 150 ~ 180 (0% opacity level) から 160 ~ 190 (100% opacity level) に増加する上り坂関数 (window width 10) を用いて選択し赤色カラーを付して表示した。

3D MRC-MRA fusion image は、同一基準線を用いた MRC, MRA それぞれの volume data から、関心領域が含まれる同一の data 範囲を選択し、上記の要領でそれぞれ別個に等座標の 3D MRC と 3D MRA とを再構成し、ワークステーション上で重畳させ作成した。さらに、管腔構造物の視認性を得るために、3D MRC の opacity を 15% (青色)、3D MRA を 100% (赤色) とした MRA 強調 3D MRC-MRA fusion image を作成し、脳動脈瘤と周囲構造物との解剖学的関係を画像評価した。なお、ワークステーションに template として保存した opacity curve を使用することで、3D MRA, 3D MRC および fusion image はそれぞれ再現作成することが可能であり、3D MRC-MRA fusion image は、1 枚あたり MR scan 後約 30 ~ 50 秒の短時間で画像再構成された。

Table MR image data for unruptured internal carotid-posterior communicating artery aneurysms

| Case | Age/Sex | X, Y, Z Size(mm) | IC Size(mm) | D/N (mm) | Ratio | Volume (mm ³) | Contact | Bleb | Deform | Treatment | Remarks |
|------|---------|------------------|-------------|----------|-------|---------------------------|----------------------|------|--------|-----------|--------------|
| 1 | 58M | 2.9×2.9×4.5 | 4.3 | 2.3/4.7 | 0.489 | 25.9 | TL | 1 | ++ | OP | Excellent |
| 2 | 60M | 9.2×8.4×7.3 | 3.7 | 10.6/4.3 | 2.465 | 588.4 | CN-III, TL | 1 | + | OP | CN-III palsy |
| 3 | 83F | 8.6×8.6×11.3 | 4.0 | 9.8/7.6 | 1.289 | 548.8 | PDF, TL | 0 | + | OP | Excellent |
| 4 | 75F | 11.7×9.4×9.8 | 4.6 | 9.5/7.5 | 1.267 | 606.4 | PCP, CN-III, PDF, TL | 3 | ++ | None | Growth |

D/N: aneurysm depth/neck (mm), Ratio: aneurysm depth/neck width (aspect ratio), TL: temporal lobe, CN-III: oculomotor nerve, PDF: anterior petroclinoid dural fold, PCP: posterior clinoid process.

III. 結果

MRC 元画像では、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、脳槽内脳動脈瘤の外壁形態が親動脈、架橋静脈・脳表静脈、視神経・動眼神経などの脳神経、硬膜・硬膜襞・天幕自由縁、後床突起・鞍背などの頭蓋底骨構造、側頭葉内側・前頭葉底面など脳槽内・脳槽周囲の解剖学的構造物とともに立体的に表示された。また、その等座標 3D MRA, さらに 3D MRC-MRA fusion image を検討することで、脳動脈瘤血管構築と瘤周囲環境との立体的位置関係が容易に把握された。内頸動脈-後交通動脈瘤 4 例の瘤サイズ、流入内頸動脈径、aneurysm depth/neck width (aspect ratio), volume, 接触構造物, bleb 形成や変形の有無などの画像解析結果を Table にまとめて表示した。以下に各症例の画像を提示した。

〈症例 1〉 58 歳, 男性, 未破裂左内頸動脈-後交通動脈瘤手術例 (Fig. 1)

左後上側方から見た手術写真 (A) では、脳動脈瘤 dome は左側に進展発育し、neck 以外のほとんどの部分が側頭葉内側面で脳実質内に埋没し、dome 先端には bleb が形成され脳実質と一部で癒着していた。術野方向からの 3D MRC (B), 等座標 3D MRA (C) および両者の fusion image (D) では、手術視野と同等の解剖学的関係が表示され、脳動脈瘤 dome は側頭葉内に埋没し、dome・bleb と脳実質とは広範囲に接触していた。

〈症例 2〉 60 歳, 男性, 未破裂左内頸動脈-後交通動脈瘤手術例 (Fig. 2)

左後上側方から見た手術写真 (A) では、脳動脈瘤 dome は天幕自由縁の下方を後外側に伸展発育していたが、dome 外側面での側頭葉脳実質や下面での動眼神経との解剖学的位置関係は観察できなかった。右後方から見た 3D MRC (B), 等座標 3D MRA (C), fusion image (D) では、脳動脈瘤 dome の内側面中ほどに bleb が形成され、左動眼神経が bleb に接触・癒着し、その後動眼神経は一部で描出不良であるが dome 外上方に沿って前方に走行していた。本例では術後に一過性左動眼神経麻痺を来した。また、dome の後外側端は側頭葉内側と接触し軽度の変形が認められた。

〈症例 3〉 83 歳, 女性, 未破裂右内頸動脈-後交通動脈瘤・右内頸動脈-前脈絡叢動脈瘤 (kissing aneurysms) 手術例 (Fig. 3)

左後上側方から見た手術写真 (A) では、内頸動脈-後交通動脈瘤の dome は、neck 上面で半球状の隆起を示して前外側に進展発育し、先端部は anterior petroclinoid dural fold の下に潜り込んでいた。Neck の遠位端では半球状の形態をした前脈絡叢動脈瘤が内頸動脈-後交通動脈瘤遠位端に接触して認められた。また、前脈絡叢動脈瘤では neck の腹側から 2 本の前脈絡叢動脈が分岐していた。術野方向から見た 3D MRC (B), 等座標 3D MRA (C), fusion image (D) では、手術視野と同等の解剖学的所見が得られ、内頸動脈-後交通動脈瘤は dome 中央に膨隆部を認め、anterior pet-

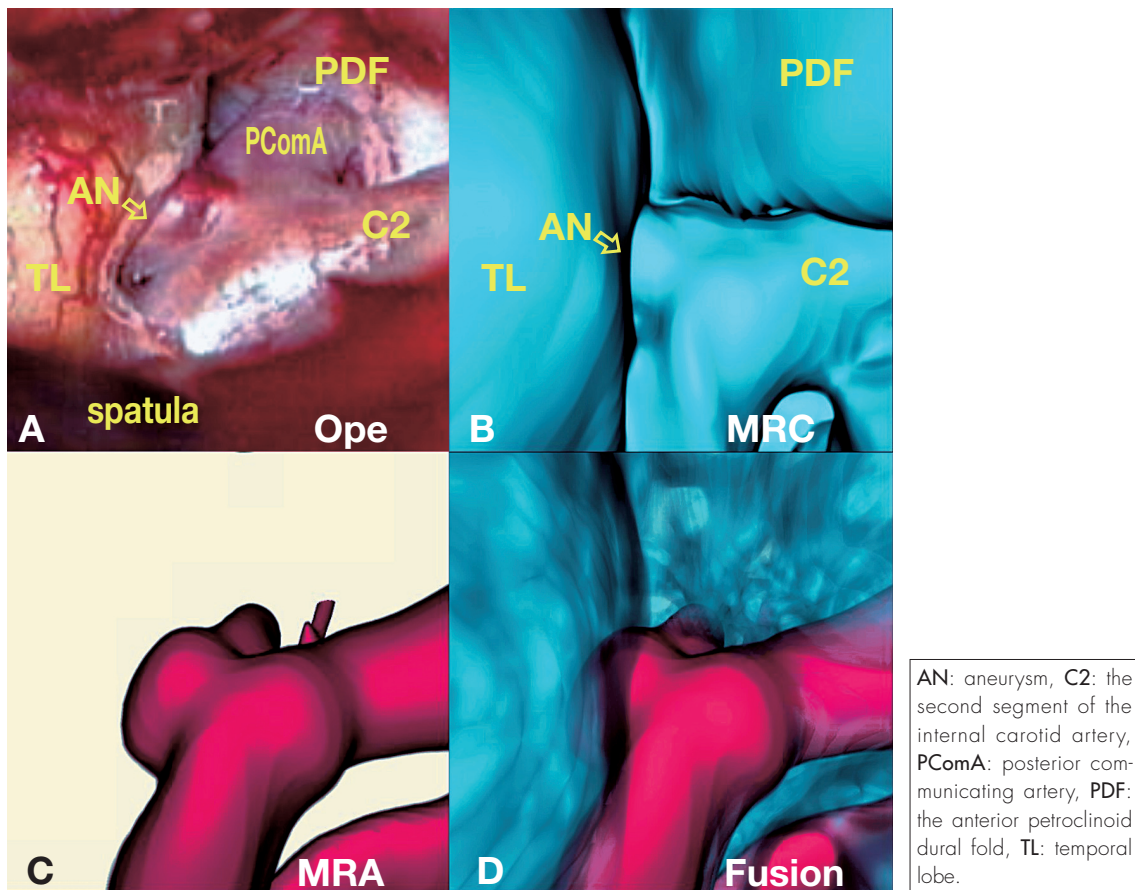


Fig. 1 A 58 y.o. male, unruptured left internal carotid-posterior communicating artery aneurysm. A: Operative view, the right superoposterolateral projection, showing an aneurysmal dome (arrow) extended laterally and embedded in the medial side of the temporal lobe. B-D: 3D MRC (B), coordinated 3D MRA (C), and their fusion image (D), similar projection to the operative view, showing the anatomical relationship of the aneurysm (arrow) to the surrounding medial temporal lobe and the anterior petroclinoid dural fold.

roclinoid dural fold 下方に発育し、dome の先端部は上方への伸展制限により平坦化していた。内頸動脈-後交通動脈瘤の dome は、後方で側頭葉内側面と軽度の接触が認められた。

〈症例 4〉 75 歳，女性，未破裂左内頸動脈-後交通動脈瘤経過観察例 (Fig. 4)

MRC の minimum intensity projection (MinIP) 再構成画像 (A) では、脳動脈瘤血管構築、前床突起部硬膜、anterior petroclinoid dural fold、天幕自由縁、鞍背硬膜が高度の低信号強度領域で、視神経・視交叉、動眼神経、脳実質は中等度の低信号強度領域として描出された。左後上方から見

た 3D MRC (B)、等座標 3D MRA (C)、fusion image (D) では、脳動脈瘤は後床突起・鞍背外側面により dome 内側で進展発育が制限され、骨構造物を鋳型として陥凹変形していた。さらに dome の外側は anterior petroclinoid dural fold で境され、外側方向への進展が制限され bleb 状に突出していた。3D MRA では、複数の bleb を有し multi-lobe 状で複雑な dome 形態をした脳動脈瘤として描出された。左動眼神経は鞍背外側部で dome と接触し、後外側に沿って前方へ走行していた。また、dome は後外側部で側頭葉内側面と接触し軽度の変形が認められた。

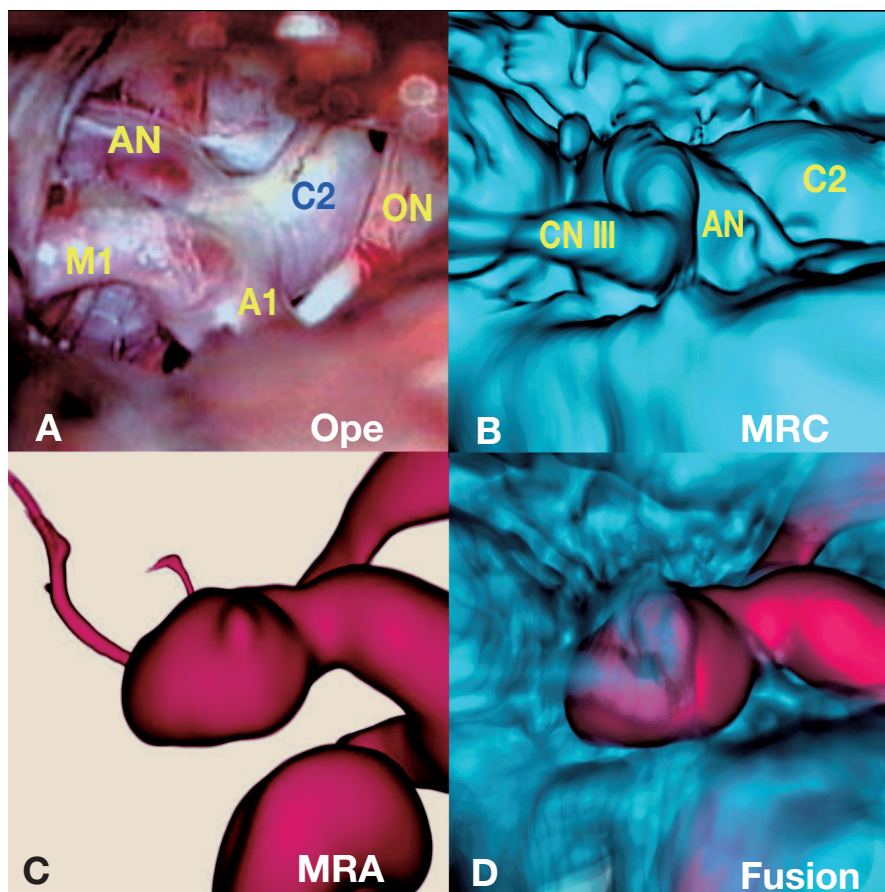


Fig. 2 A 60 y.o. male, unruptured left internal carotid-posterior communicating artery aneurysm. A: Operative view, the left posterolateral projection, showing an internal carotid-posterior communicating artery aneurysm with a dome extended laterally and beneath the anterior petroclinoid dural fold and the tentorial free edge. B-D: 3D MRC (B), 3D MRA (C), and fusion image (D), right superoposteromedial projection, showing the firm contact of the aneurysm with the oculomotor nerve in correlation to the bleb formation on the aneurysmal dome.

IV. 考 察

未破裂脳動脈瘤の dome に認められる変形, bleb 形成, multilobe などの形態変化は, その易破裂性を勘案するうえで重要な画像所見とされている^{1,13,15-17,19-21)}。しかし, 脳動脈瘤の成長・増大に伴い dome の形態変化を来すメカニズムの詳細はいまだ解明されていない。

脳動脈瘤内の血流動態は, 脳動脈瘤が発生, 成長し破裂に至る過程において瘤内環境に大きく影響する^{2,4,13,16,18-22)}。氏家ら^{19,21)}は, 脳動脈瘤は area ratio (分岐後血管断面積比) が 2.0 以上の非対称性血管分岐部で発生・成長しやすく, aspect

ratio (aneurysm depth/neck width) が 1.6 を超えた大きな動脈瘤では dome 遠位側に二次渦流れや血流停滞領域が発生し, 動脈瘤壁に局所的脆弱部位が誘導されやがて破裂に至ると推測している。一方, Tateshima ら²⁰⁾は bleb を有する未破裂脳動脈瘤鑄型モデル 2 例を用いて fluid-induced wall shear stress を計測し, neck の流入領域でよりも dome 側で強く, とりわけ bleb で最も強い wall shear stress を認めた。Bleb の形成については, 脳動脈瘤壁が強い wall shear stress にさらされることで, その一部が局所的に拡大し, さらに壁の退行変性が加速される結果 bleb の部分で脳動脈瘤が破裂するとしている。しかし, 成長・増

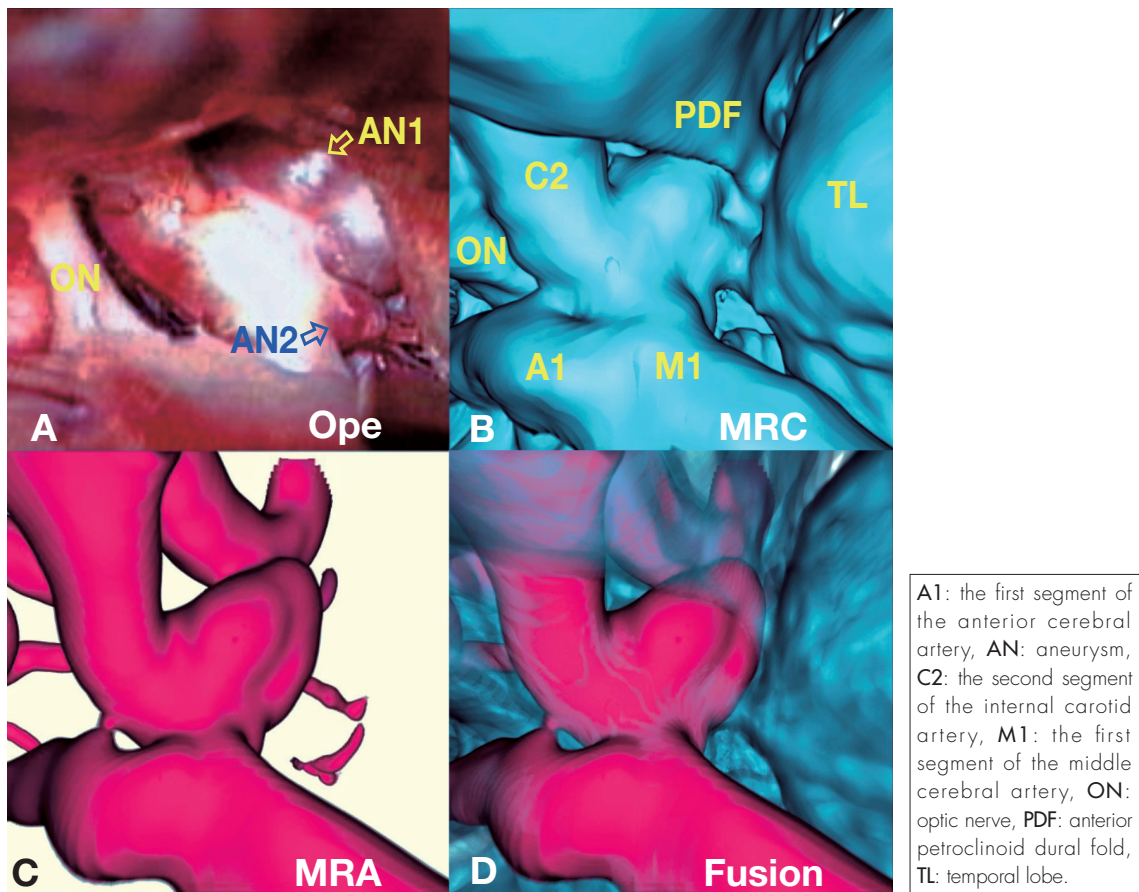
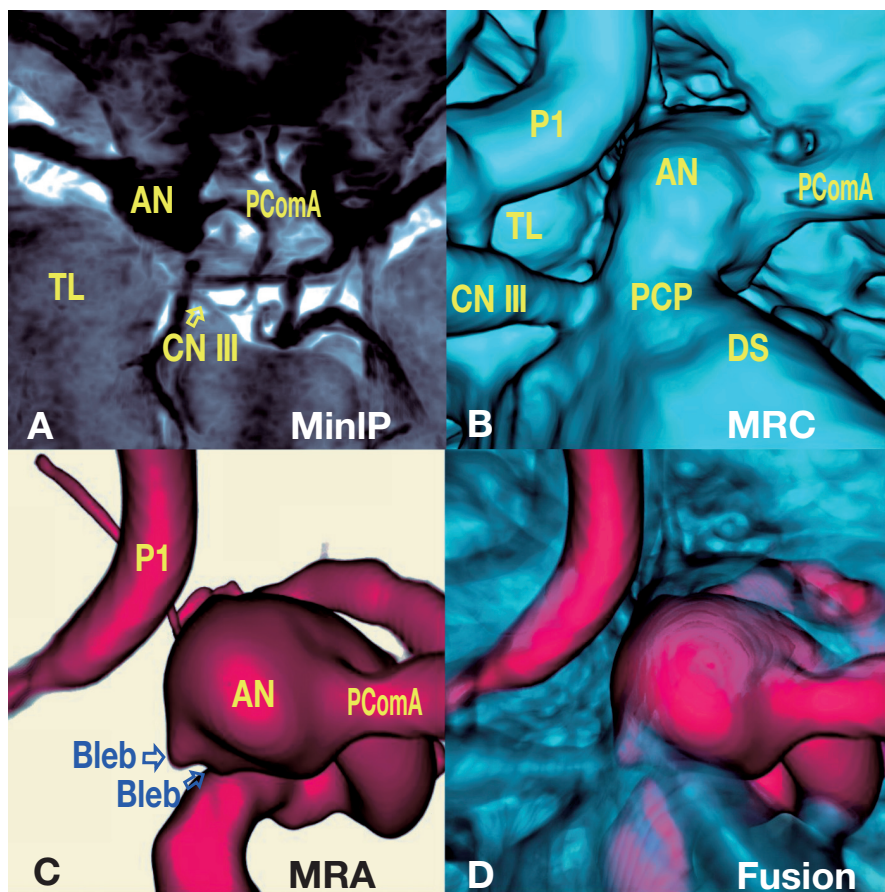


Fig. 3 A 83 y.o. female, unruptured right internal carotid-posterior communicating artery aneurysm in contact with the internal carotid-anterior choroidal artery aneurysm kissing aneurysms. **A**: Operative view, the left superoposteromedial projection, showing an internal carotid-posterior communicating artery aneurysm with a dome extended laterally and beneath the anterior petroclinoid dural fold. **B-D**: 3D MRC (**B**), 3D MRA (**C**), and fusion image (**D**), similar projection to the operative view, showing the contact of the superior aspect of the aneurysmal dome with the anterior petroclinoid dural fold.

大による脳動脈瘤の変形や破裂に関連した bleb 形成が、瘤内血流動態など瘤内環境の結果生じたものなのか、あるいは瘤外環境など何らかの要因と相まって瘤の伸展制限を来し、瘤内血流動態が変化して瘤の変形や bleb 形成を招いたのかについては不明と考えられる。

MRC 元画像では、くも膜下腔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陰影欠損像として描出されるため、得られた volume data を 3D 画像解析することで脳動脈瘤や親動脈の管腔外壁形態と周囲構造物との解剖学的関係が立体的に検討可能である^{6-9,12,15,17}。特に T2-weighted 3D FSE sequence を

使用した MRC では、TR・TE などの撮像条件を変えることで、脳槽内および脳槽周囲構造物相互の信号強度コントラストが微妙に調整可能である^{5,15,17}。これまで、MRC には 200 ~ 250 ms の比較的長い TE が使用され、脳脊髄液は高信号強度で、脳脊髄液以外の構造物は一様に低信号強度で描出されたため、低信号強度で示される脳槽内および脳槽周囲構造物相互のコントラストは不十分であった。今回、TE 160ms を使用することで、脳脊髄液の高信号強度を維持しつつ、脳動脈瘤、動脈、硬膜・硬膜嚢を高度の低信号強度で、静脈、頭蓋底骨構造物を中等度の低信号強度で、脳神経や脳実質構造物を中等度から軽度の低信号強度で



AN: aneurysm, CN III: the oculomotor nerve, P1: the first segment of the posterior cerebral artery, PCoMA: posterior communicating artery, PCP: posterior clinoid process, DS: dorsum sellae, TL: temporal lobe.

Fig. 4 A 75 y.o. female, unruptured left internal carotid-posterior communicating artery aneurysm. **A:** MinIP image of the MR cisternogram, the superoinferior projection, showing an aneurysmal complex, anterior petroclinoid dural fold, tentorial free edge, posterior clinoid process, and the oculomotor nerve (arrow). **B-D:** 3D MRC (**B**), 3D MRA (**C**), and fusion image (**D**), the right superoposteromedial projection, showing the anatomical relationship of the aneurysmal complex to the perianeurysmal environment, including the posterior clinoid process, the dorsum sellae, the oculomotor nerve, the anterior petroclinoid dural fold, and the medial temporal lobe. The medial aspect of the aneurysmal dome was deformed by the posterior clinoid process as a mold and resulted in multiple bleb formation (arrows).

描出することが可能となった。これにより、3D MRCでは、脳動脈瘤構築が脳表静脈・架橋静脈、硬膜・硬膜嚢、脳神経、脳表などの周囲構造物と区別され、脳動脈瘤とその瘤周囲環境が立体的に表示された。一方、3D TOF SPGR sequenceで撮影されたMRAでは、管腔形態ではなく、inflow effectで示されるpeak systolic velocityに関連した血流情報が画像表示される^{13,16)}。そのため、等座標3D MRAを参照することで、3D MRCに描出された管腔構造物が容易に同定された^{15,17)}。また、今回MRCとMRAで得られたそれぞれのvolume

dataを重畳することで3D MRC-MRA fusion imageが初めて考案・創作され、この画像解析技術により脳動脈瘤とその瘤周囲構造物との解剖学的位置関係をわかりやすく観察することが可能となった。

3D MRC-MRA fusion imageを用いた今回の検討から、内頸動脈-後交通動脈瘤が後下方に伸展発育した場合(症例4)には、domeはanterior petroclinoid dural fold・天幕自由縁、後床突起・鞍背などの硬性構造物と接触し著しい変形が認められた。これら瘤周囲環境によるdomeの伸展制

限・変形は、3D MRA では、複数の bleb 様突出を有し強く変形した multilobe の dome を有する脳動脈瘤として画像表示された。前外側に伸展したものの（症例 3）では、dome 上面は anterior petroclinoid dural fold・天幕自由縁で伸展制限を受け平坦化していた。脳動脈瘤 dome は、側頭葉脳実質（症例 2～4）や動眼神経（症例 4）など軟性構造物との軽度の接触では変形を伴わないか僅かな変形を来す場合が多い。しかし、後外側に進展し側頭葉内に埋没した場合（症例 1）には、bleb 様の突出を伴う著しい変形が認められた。さらに、術後に一過性の動眼神経麻痺を来した場合（症例 2）では、脳動脈瘤は後内側に伸展し、dome 内側で動眼神経と接触・癒着していたものと考えられ、その部に一致して bleb の形成が認められた。これらの画像解析結果から、脳動脈瘤 dome に認められる形態変化は、必ずしも瘤内血流動態など瘤内環境単独ではなく、瘤周囲環境にも大きく影響されて生じるものと考えられた。脳動脈瘤の自然歴において、個々の脳動脈瘤がくも膜下腔での許容サイズを超えた場合には、周囲構造物と接触することで脳動脈瘤の伸展制限を受け、その結果 dome の変形や bleb 形成を来す可能性が示唆された。

脳動脈瘤の発生、成長、破裂のメカニズムは複雑で多くの要因が関与するといわれている。そのなかで、脳動脈瘤を取り囲む瘤周囲環境は、脳動脈瘤の成長・伸展に伴い dome の形態変化を来す重要な要因の一つと考えられた。3D MRC, 3D MRA, 3D MRC-MRA fusion image を用いた脳動脈瘤とその瘤周囲環境の画像解析技術は、個々の未破裂脳動脈瘤における伸展制限・圧排変形、bleb 形成、さらには破裂のリスク、あるいは動眼神経麻痺などの症候性発症のリスクを評価するうえで有用と考えられた。

本論文の要旨の一部は、第 58 回日本脳神経外科学会中国四国地方会（2004 年 12 月 4 日、岡山）および第 59 回日本脳神経外科学会中国四国地方会（2005 年 4 月 3 日、広島）において口演発表した。

文 献

- 1) Asari S, Ohmoto T : Natural history and risk factors of unruptured cerebral aneurysms. *Clin Neurol Neurosurg* **95** : 205-214, 1993
- 2) 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
- 3) 片岡和夫, 種子田 護 : 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)
- 4) Kerber CW, Liepsch D : Flow dynamics for radiologists. II. Practical considerations in the live human. *AJNR Am J Neuroradiol* **15** : 1076-1086, 1994
- 5) 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
- 6) 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
- 7) Naraghi R, Hastreiter P, Tomandl B, Bonk A, Huk W, Fahlbusch R : Three-dimensional visualization of neurovascular relationships in the posterior fossa. Technique and clinical application. *J Neurosurg* **100** : 1025-1035, 2004
- 8) Onoda K, Satoh T, Tsuchimoto S, Katsumata A : Evaluation of contour of unruptured cerebral aneurysm using three-dimensional CT cisternogram. *Acta Med Okayama* **58** : 157-162, 2004
- 9) 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
- 10) Rüz DSM, Tokunaga K, Dehdashti AR, Sugiu K, Delavelle J, Rüfenacht DA : Is the rupture of cerebral berry aneurysms influenced by the perianeurysmal environment? *Acta Neurochir Suppl* **82** : 31-34, 2002
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) Satoh T, Onoda K, Tsuchimoto S : Intra-operative evaluation on aneurysmal architecture : Comparative study with transluminal imaging of 3D MRA and 3D CTA. *AJNR Am J Neuroradiol* **24** : 1975-1981, 2003
- 15) 佐藤 透, 浴野千菜美, 大迫知香, 勝間田 篤, 小野田恵介, 土本正治, 柚木正敏, 徳永浩司, 杉生憲志,

- 伊達 勲：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. No Shinkei Geka **32** : 215-221, 2004
- 16) Satoh T, Ekino C, Ohsako C : Transluminal color-coded three-dimensional magnetic resonance angiography for visualization of signal intensity distribution pattern within an unruptured cerebral aneurysm : Preliminary assessment with anterior communicating artery aneurysms. *Neuroradiology* **46** : 628-634, 2004
- 17) Satoh T, Omi M, Ohsako C, Katsumata A, Yoshimoto Y, Tsuchimoto S, Onoda K, Tokunaga K, Sugiu K, Date I : Visualization of aneurysmal contours and perianeurysmal environment with conventional and transparent 3D MR cisternograms. *AJNR Am J Neuroradiol* **26** : 313-318, 2005
- 18) 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
- 19) 玉野吉範, 氏家 弘, 吉本成香, 堀 智勝 : 中大脳動脈瘤の流体力学的特徴. No Shinkei Geka **29** : 921-930, 2001
- 20) Tateshima S, Murayama Y, Villablanca JP, Morino T, Nomura K, Tanishita K, Vinuela F : In vitro measurement of fluid-induced wall shear stress in unruptured cerebral aneurysms harboring blebs. *Stroke* **34** : 187-192, 2003
- 21) 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)
- 22) 米倉正大 : 脳動脈瘤の術前管理－待機手術. The Mt Fuji Workshop on CVD **9** : 41-49, 1991