

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*

佐藤 透**

Transluminal Visualization of Intra-aneurysmal Blood Flow with Transluminal Flow Imaging of Three-dimensional MR Angiography

Toru SATOH

Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

As a preliminary investigation, we report transluminal flow imaging with perspective volume rendering of magnetic resonance angiography in patients with unruptured cerebral aneurysms. Selective change in signal intensities, based on using a square curve, was superimposed onto the transluminal image of the vessel and aneurysmal walls. This imaging technique provided direct visualization of flow-related information within the aneurysm in relation to its morphologic features. Transluminal flow imaging of three-dimensional magnetic resonance angiography may be a useful adjunct for the evaluation of intra-aneurysmal blood flow in clinical cases.

(Received: January 28, 2002)

Key words magnetic resonance angiography, intracranial aneurysm, volume rendering, computer visualization, blood flow

No Shinkei Geka 30(11): 1173-1178, 2002

はじめに

脳動脈瘤の発生, 成長, 破裂には, 血液の流れによる血行力学的負荷が深く関わっていると考えられ, 脳動脈瘤内の流れの解明には, これまで多くの実験的, 臨床的検討が行われてきた^{2, 3, 8, 14, 16}。しかしながら, 脳動脈瘤内血流と脳動脈瘤形態との関連を個々の症例において臨床評価することは, これまで困難とされてきた。

近年, ワークステーションでの画像再構成技術の革新により, CT・MRIなどで得られた生体3次元情報 (volume data) から, 関心領域を可視化する

computer visualization が急速に発展している^{6, 9}。MR angiography (MRA) では, 血流に関連した情報が一括して volume data として取得されるため, そのなかから関心領域を選択的に抽出し, MR 信号強度で示される血流情報を可視化することは技術的に可能である^{11, 12}。脳動脈瘤血管構築の微細形態と可視化血流情報を3次元画像上で同時に描出することにより, 脳動脈瘤内血流と脳動脈瘤形態との関連を臨床例において3次元的に解析することが可能になるものと思われる。

われわれは, 脳動脈瘤や親動脈など管腔の壁構造を断続的な ring 構造として描出する translumi-

* (2002.1.28 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

nal image を考案し先に報告した¹¹⁾。今回、血流情報を可視化する目的で、MRA volume data から管腔内容を限局的に抽出し、transluminal image 内に同時に描出する、管腔壁を透視した血流画像 (transluminal flow image) を新たに考案した。本論文では、手術治療を施行した未破裂脳動脈瘤 2 例に、transluminal flow image を応用し、脳動脈瘤内血流と脳動脈瘤微細形態とを 3 次的に画像表示し、その関連性について preliminary な評価を試みたので報告する。

対象と方法

対象は、脳神経外科一般外来を受診し、MRA で発見され、予防的根治手術を施行した未破裂前交通動脈瘤の 2 例である。

MRA は、1.0T MRI (Signa HiSpeed®, General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, U.S.A.) を使用し、three-dimensional time-of-flight (3D TOF), spoiled gradient recalled 法で撮影した。撮影条件は TR 35ms/TE 3.9 4.1ms, flip angle 20°, matrix 192 × 128, thickness 1.0mm, 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。これら元画像 volume data は、ワークステーション (Zio M900® version 3.0, AMIN 社, 東京) に DICOM 転送した⁹⁾。

MRA transluminal image は、ワークステーション上で、perspective (遠近投影) volume rendering 法を使用して、volume data から約 15 秒の再構成時間で作成した¹¹⁾。元画像での管腔辺縁に相応する MR 信号強度の解析から、信号強度 160 から 180 (peak value 170, 100% opacity level) の急峻な二等辺三角形の関数を用いて、opacity chart から血管壁に相応する volume data を選択的に抽出し、紫に色づけして 3 次元画像表示した。一方、MRA transluminal flow image は、transluminal image で使用した同一の opacity chart から、管腔血流情報を MR 信号強度 300 以上の moderate intensity と 350 以上の high intensity の領域に分けて、square 関数を用いて限局的に選択抽出し、それぞれを

transluminal image 内に朱色で表示した。

結果

MRA transluminal image 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, dome, bleb などの微細形態が描出され、脳動脈瘤血管構築の全体像が 3 次的に観察された。Transluminal flow image では、限局した MR 信号強度領域が、血流に関連した機能情報として、transluminal image 内に可視化された。これにより、脳動脈瘤内血流を脳動脈瘤微細形態との関連において 3 次的に評価することが可能であった。

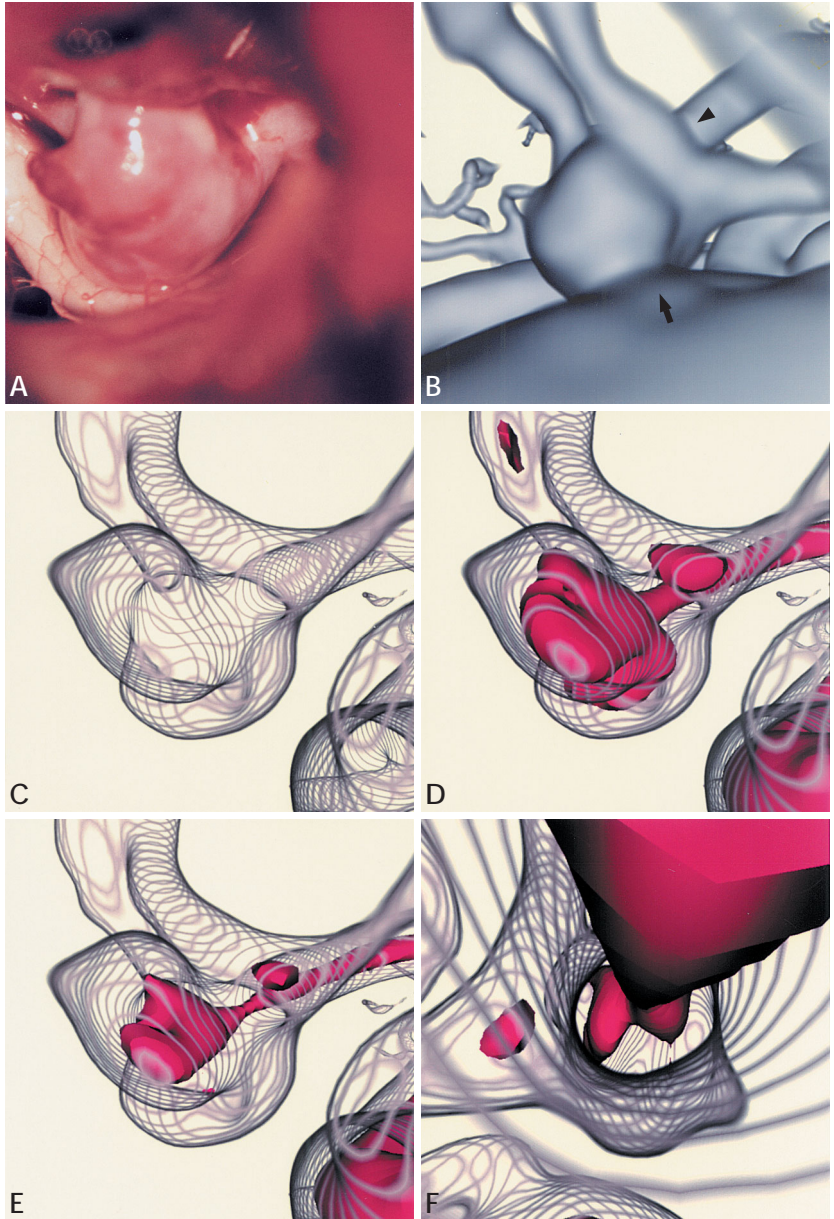
症例 1 56 歳、男性、未破裂前交通動脈瘤。

短時間の右視野障害を主訴に受診し、精査目的で MRA を施行した。MRA では、左前大脳動脈 (A1) dominant で上方と下方に突出する bleb を有する径 8 mm の脳動脈瘤が認められた。手術所見では、脳動脈瘤は視交叉部上に位置し、下方に伸展する dome は左視神経に一部埋没していた (Fig. 1A)。CT angiography (CTA) でも同様な形態の脳動脈瘤血管構築が認められた (Fig. 1B)。MRA transluminal image では、脳動脈瘤血管構築が、管腔構造を透視して観察された (Fig. 1C)。Moderate intensity の transluminal flow image では、左 A1 から連続した血流が neck で一部左 A2 に分岐した後 dome に進入し、上方および下方に发育した bleb の広い範囲に一塊として認められた (Fig. 1D)。しかし、high intensity の transluminal flow image では、左 A1 に連続した血流は、上方の bleb には連続して伸展したが、下方の bleb 内では認められなかった (Fig. 1E)。同様に、左 A1 内腔から脳動脈瘤 neck を観察した high intensity の transluminal flow image では、下方に发育した bleb 内には、血流分布は認められなかった (Fig. 1F)。

症例 2 60 歳、男性、未破裂前交通動脈瘤。

高血圧性脳症の疑いで紹介来院、精査目的に MRA を施行した。MRA では、右 A1 dominant で、右 A1-A2 に neck を有する径 7 mm の脳動脈瘤を認め、neck 寄りの dome 前壁に隆起性変化を伴って

Fig. 1 A 55-year-old man with an unruptured anterior communicating artery aneurysm. **A**: Operative photograph showing the aneurysm. **B**: Three-dimensional computed tomographic angiogram showing the aneurysm with a broad neck and two blebs, extending superiorly and inferiorly. The projection used in the following images is indicated by an arrow for C-E and an arrowhead for F. **C**: Transluminal image showing the orifices of the left and right A2, and the whole shape of the aneurysm through the vessel and aneurysmal walls. **D**: Transluminal flow image with moderate flow colored pink. An area of moderate signal intensity of the flow in the opacity curve superimposed onto the transluminal image, showing moderate blood flow in most parts of the aneurysm and the left A1. **E**: Transluminal flow image with high flow colored pink. An area of high signal intensity of the flow is limited at the neck and in the superior bleb of the aneurysm. **F**: Perspective observation of the transluminal flow image with high flow, showing the flow in the parent artery (left A1) directed towards the neck and extending into the superior bleb of the aneurysm, despite the lack of high flow in the inferior bleb.



いた。手術所見では、脳動脈瘤は左前上方向に発育し、半球間裂内に位置していた (**Fig. 2A**)。Dome 前壁には、赤色を呈する小隆起が認められたが、壁の非薄化は認められなかった。CTA でも同様の形態の脳動脈瘤血管構築が認められた (**Fig. 2B**)。MRA transluminal image では、脳動脈瘤血管構築の全体像が、管腔構造を透視して観察された (**Fig. 2C**)。Moderate intensity の translumi-

nal flow image では、右 A1 血流は、neck で右 A2、左 A2 に分岐した後、瘤内に連続して流入し、一塊として広範囲に認められた (**Fig. 2D**)。一方、high intensity の transluminal flow image では、右 A1 から連続した血流は neck を中心に認められ、一部は瘤内にも進展していた (**Fig. 2E**)。右 A2 内腔から逆行性に neck を観察した moderate intensity の transluminal flow image では、右 A1 から連続した

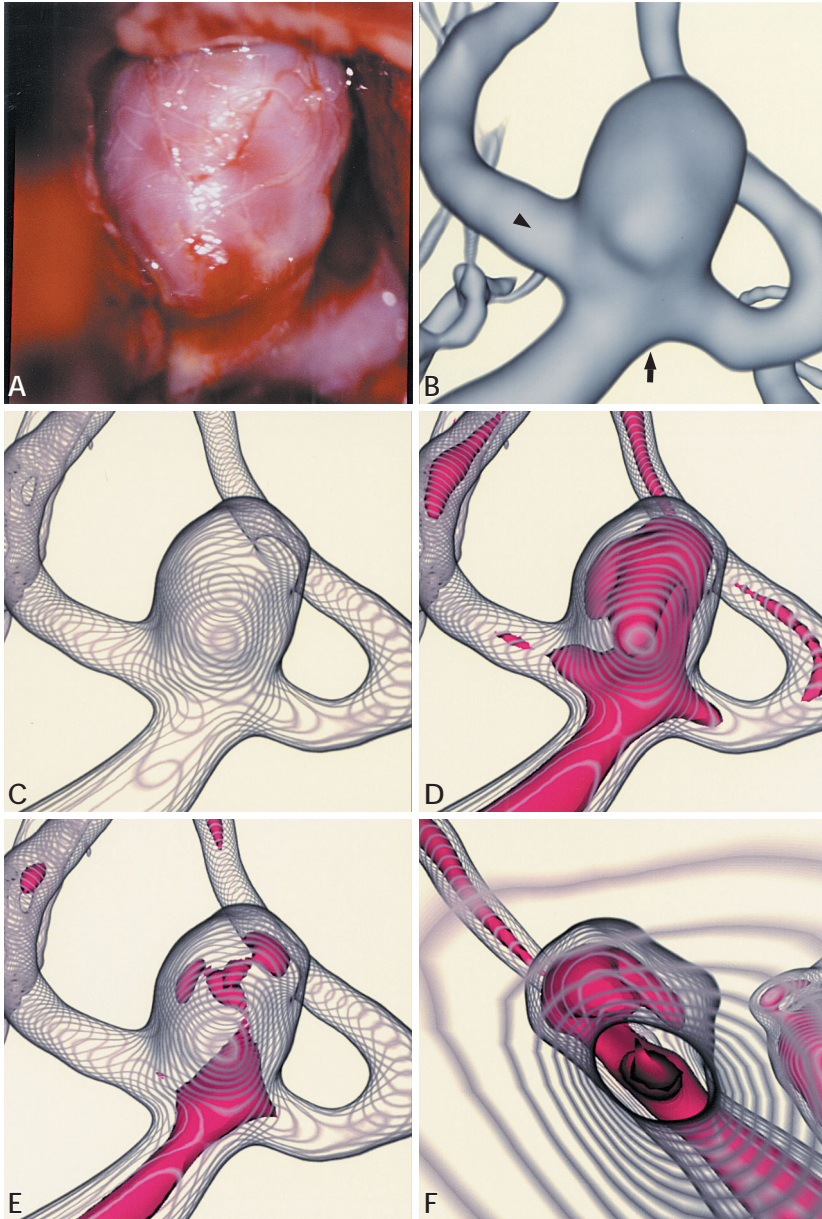


Fig. 2 A 59-year-old man with an unruptured anterior communicating artery aneurysm. A: Operative photograph showing the aneurysm. B: Three-dimensional computed tomographic angiogram showing the aneurysm at the right A1-A2 junction, extending superomedially with a small bulging at the front of the dome. The projection used in the following images is indicated by an arrow for C and an arrowhead for F. C: Transluminal image showing the whole shape of the aneurysm through the wall. D: Transluminal flow image with moderate flow showing the flow in the parent artery (right A1) branching superiorly and inferiorly at the neck, then directed into most parts of the aneurysm. E: Transluminal flow image with high flow showing the flow extending into a limited part of the aneurysm. F: Perspective transluminal flow image with moderate flow (retrograde observation through the right A2), showing the flow in the right A1 directed axially to the bottom of the aneurysm, despite low flow at the neck and beneath the bulging of the anterior wall of the aneurysm.

血流は、neck で右 A2 に向かって分岐した後、そのまま瘤内を A1 軸方向に伸展して認められた (Fig. 2F)。しかし、dome 前壁の小隆起部およびこれに続く neck 近傍では、相対的に希薄な血流が認められた。

・ 考 察

近年、MRA が、脳ドックのみならず、脳神経外

科一般外来においてもスクリーニング検査として広く実施され、未破裂脳動脈瘤が発見される機会が増加している。未破裂脳動脈瘤は、比較的小さい瘤であっても破裂の危険性があり、積極的な治療が推奨されてきた^{5,15)}。これまでのところ、70 歳以下、サイズ 4 ~ 5 mm 以上、瘤形状の不整形なものを治療適応とする報告が多い^{1,7)}。しかし、未破裂脳動脈瘤の自然経過は、いまだ明らかでな

く、個々の脳動脈瘤が破裂する危険性には不確定要素が多く、その治療適応については必ずしも意見が統一されていない。一方、種々の理由で経過観察となる未破裂脳動脈瘤も多く、その場合、何を指標として経過観察し、どの時点で治療に踏み切るかなど多くの問題を抱えている。

一方、最近のCT, MRIなど撮像系の進歩とcomputer visualization技術の革新により、脳動脈瘤の画像診断においては、脳動脈瘤血管構築の3次元画像表示が普及している⁹⁾。このなかで、画像作成にvolume rendering法, perspective volume rendering法を使用し、volume dataから関心領域を選択的に抽出し、目的とした情報を限定して、あるいはいくつかの情報と組み合わせて、各々の情報に個別の色づけ階調を加味して、volume dataを3次元的に表示する新しい可視化技術が実用化されている¹⁰⁻¹³⁾。

MRAで得られるvolume dataは、CTAやdigital subtraction angiography (DSA)での造影剤充盈に基づく脳血管の内腔形態情報と異なり、血流および血流に関連した機能的な情報伝達特性を有している¹³⁾。しかし、MRAにおける管腔内血流情報は複雑で、そのMR信号強度は多くの因子により影響される⁴⁾。脳動脈瘤内では、neckやdomeの形態、親動脈の流量比などにより、一次渦流れとそれに伴う二次渦流れ、さらに血流停滞など多様な血流分布が認められている^{2,3,14,16)}。そのため、脳動脈瘤内のMR信号強度は一部で低下し、脳動脈瘤の形態描出が不正確となることが指摘されている。脳動脈瘤内での不均一なMR信号強度分布は、これまで脳動脈瘤血管構築を解析するうえで、CTAやDSAと比較したMRAの弱点とされてきた。しかしながら、情報伝達特性の観点からは、これら血流に関連したMR信号強度の変化は、CTAやDSAなどの形態画像では得られない、MRAに特異的な血流に関連した機能情報と考えられる¹³⁾。

Transluminal imageでは、3D TOF MRAで得られたvolume dataから管腔壁に相応する辺縁部血流情報を限定的に選択することで、脳動脈瘤や親動脈など管腔の壁構造が選択的に抽出され可視化される¹⁰⁻¹²⁾。これにより、管腔構造物が断続的

ring構造として描出され、ringとringの間を通して、管腔外から管腔内部を、あるいは管腔内から管腔外部が透視観察可能である。今回、MR信号強度で示される血流情報に着目して、管腔内容をmoderate intensityとhigh intensityの領域に分けて限局的に選択抽出し、transluminal image内に表示するtransluminal flow imageを新たに考案した。

Transluminal flow imageは、血流に関連したMR信号強度の3次元分布画像であり、管腔内血流情報が管腔壁形態とともに同一画像上に可視化された。Transluminal flow imageでは、neck, dome, blebなどの微細形態とともに、脳動脈瘤内の血流情報が3次元的に評価可能であった。また、脳動脈瘤内のみならずneck近傍での流入、流出親動脈を含めた、脳動脈瘤血管構築全体の複雑な血流分布がある程度推測可能であった。ただし、MRA volume dataの信号強度は個々の症例、検査条件で異なるため、transluminal flow imageは、定性的あるいは相対的な管腔内血流分布画像であり、定量的な血流評価は困難である。また、脳動脈瘤内血流と脳動脈瘤形態との解析には、transluminal flow image単独ではなく、CTA, DSAなどで得られる形態情報を加味した総合的な評価が必要と考えられた。

Transluminal flow imageは、血流に関連した情報の3次元可視化画像であり、脳動脈瘤内の血流分布をその微細形態との関連において、立体的に把握することが可能と思われた。そのため、transluminal flow imageは、未破裂脳動脈瘤の治療適応、非治療例での経過観察、さらには自然経過の追跡において、臨床に役立つ新しい画像解析方法の一つと考えられた。今後の展望として、transluminal flow imageの有用性と限界を評価するためには、実験モデルで得られた脳動脈瘤内血流と比較検討した流量分析が必要と思われる。また、経過観察中に破裂に至った未破裂脳動脈瘤例でのtransluminal flow imageによるretrospectiveな解析、および未破裂脳動脈瘤経過観察例におけるprospectiveなMRA follow-upでのdata集積と詳細な臨床解析が課題である。

文 献

- 1) Asari S, Ohmoto T: Natural history and risk factors of unruptured cerebral aneurysms. *Clin Neurol Neurosurg* **95**: 205 214, 1993
- 2) Bursleson AC, Strother CM, Turitto VT, Sci DE: Computer modeling of intracranial saccular and lateral aneurysms for the study of their hemodynamics. *Neurosurgery* **37**: 774 784, 1995
- 3) Isoda H, Kinoshada Y, Isogai S, Takehara Y, Ito T: Tagged MR imaging of intracranial aneurysm models. *AJNR Am J Neuroradiol* **20**: 807 811, 1999
- 4) 満崎克彦, 山下康行, 高橋睦正: MR angiography 撮像法 . pp114 143 (渡邊祐司 編: MR hydrography と MR angiography . メジカルビュー社, 東京, 1999)
- 5) Mizoi K, Yoshimoto T, Nagamine Y: Types of unruptured cerebral aneurysms reviewed from operation video-recordings. *Acta Neurochir (Wien)* **138**: 965 969, 1996
- 6) 村木 茂: バイオメディカルビジュアライゼーション . pp77 93 (中嶋正之, 藤代一成 編: コンピュータビジュアライゼーション . 第5章, 共立出版社, 東京, 2000)
- 7) Nakagawa T, Hashi K: The incidence and treatment of asymptomatic, unruptured cerebral aneurysms. *J Neurosurg* **80**: 217 223, 1994
- 8) Nakatani H, Hashimoto N, Kang Y, Yamazoe N, Kikuchi H, Yamaguchi S, Niimi H: Cerebral blood flow patterns at major vessel bifurcations and aneurysms in rats. *J Neurosurg* **74**: 258 262, 1991
- 9) 佐藤 透: AMIN 三次元画像解析システムの臨床応用 . pp212 218 (高倉公朋編: 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)
- 10) 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
- 11) 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
- 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) 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
- 14) 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 . *脳外* **29**: 921 930, 2001
- 15) Tsutsumi K, Ueki K, Morita A, Kirino T: Risk of rupture from incidental cerebral aneurysms. *J Neurosurg* **93**: 550 553, 2000
- 16) Ujiie H, Tachibana H, Hiramatsu O, Hazel AL, Matsumoto T, Ogasawara Y, Nakajima H, Hori T, Takakura K, Kajiya F: Effects of size and shape (aspect ratio) on the hemodynamics of saccular aneurysms. A possible index for surgical treatment of intracranial aneurysms. *Neurosurgery* **45**: 119 130, 1999