

研 究

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

佐 藤 透

NEUROLOGICAL SURGERY

(国内文献略称・脳外)

第 29 卷 第 6 号 別刷

2001年 6 月 10 日 発行

医学書院

研究

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*

佐藤 透**

Transparent Imaging of CT Angiography for the Delineation of Cerebral Aneurysms

Toru SATOH*

Department of Neurological Surgery,
Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

Transparent imaging with volume rendering of CT angiography (CTA) was used to delineate cerebral aneurysms. Five unruptured cerebral aneurysms discovered incidentally on MR angiography were delineated as transparent CTA images and compared with routine three-dimensional CTA images. Reconstructing the volume data sets by adjusting the opacity level and range of CT values allowed transparent visualization of the aneurysm with its related vessels through the bony structures of the cranial base. Transparent imaging of CTA may be a useful adjunct for the evaluation of an aneurysm adjacent to the bony structure. (Received: January 18, 2001)

Key words *intracranial aneurysm, computed tomographic angiography, three-dimensional image, volume rendering technique*

No Shinkei Geka 29 (6) : 517-524, 2001

I. はじめに

CT Angiography (以下, CTA)は造影剤増強によるヘリカル CT スキャンとそれから得られた生体内三次元情報 (volume data) のコンピュータ解析により, 脳血管病変, 特に脳動脈瘤の非侵襲的画像診断法としてその有用性は広く認められている²⁻⁸⁾. Multi-detector CT の登場など近年の CT 装置や撮像技術の進歩には著しい発展が認められるが²⁾, 撮像系から得られた高品質な volume data は, コンピュータの画像処理計算能力の限界や操作性の煩雑さからその解析は不十分であった

と思われる. しかし, 最近のワークステーションでの画像処理技術の革新により, 画像解析に volume rendering (VR) 法を使用することで, すべての volume data から関心領域を選択的に抽出し, 関心領域の不透明度 (opacity) の調整や色付け階調の工夫, さらには perspective VR 法による仮想内視鏡的観察など様々な解析方法を応用することで目的に応じた volume data の可視化画像が作成可能となってきた^{1,4-6)}.

CTA の情報伝達特性として, 脳動脈瘤構築が周囲骨構造との関係において立体的に画像表示できる反面, 頭蓋底骨構造近傍の脳動脈瘤では脳動

* (2001. 1. 18 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

脈瘤構築を隣接する骨構造と分離することが困難な場合があり画像診断上問題となる。今回この問題を解決すべく、volume dataの解析にVR法を使用し、関心領域の選択的抽出とopacityの調整を行うことで骨構造を透視したCTA透過画像を創作した。本稿では、脳動脈瘤構築の解析にCTA透過画像を臨床応用したので、その作成方法を述べ、特に頭蓋底骨構造近傍の脳動脈瘤例における有用性と限界につき報告する。

II. 対象と方法

対象は、脳神経外科一般外来受診者で、原因精査としてMR Angiography (MRA)を施行し未破裂脳動脈瘤が疑われ、診断確定のためCTAを実施し、頭蓋底骨構造に近接した部位に脳動脈瘤が認められた4症例、5脳動脈瘤(内頸動脈海綿静脈洞部動脈瘤1例、前交通動脈瘤2例、中大脳動脈瘤2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[®], 山之内製薬、東京)を自動注入器 (Dynamic CT injector MCT 320 P[®], Medrad社、USA)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135 KV、管電流130 mA、field of view 23 cm、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 10 cm、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通信でリアルタイムにデータ転送した。

ワークステーションでの画像解析は、volume dataを0.25 mmスライス厚の立方ボクセルに補間し、VR法を使用して通常の3D-CTA画像とCTA透過画像を作成し、脳動脈瘤構築を多方向から立体的に観察した。通常のVR法3D-CTA画像は、CT値100 HU (opacity, 0%)から150 HU (opacity, 100%)の上り坂関数を用いてvolume dataから関心領域を抽出し血管腔に対応

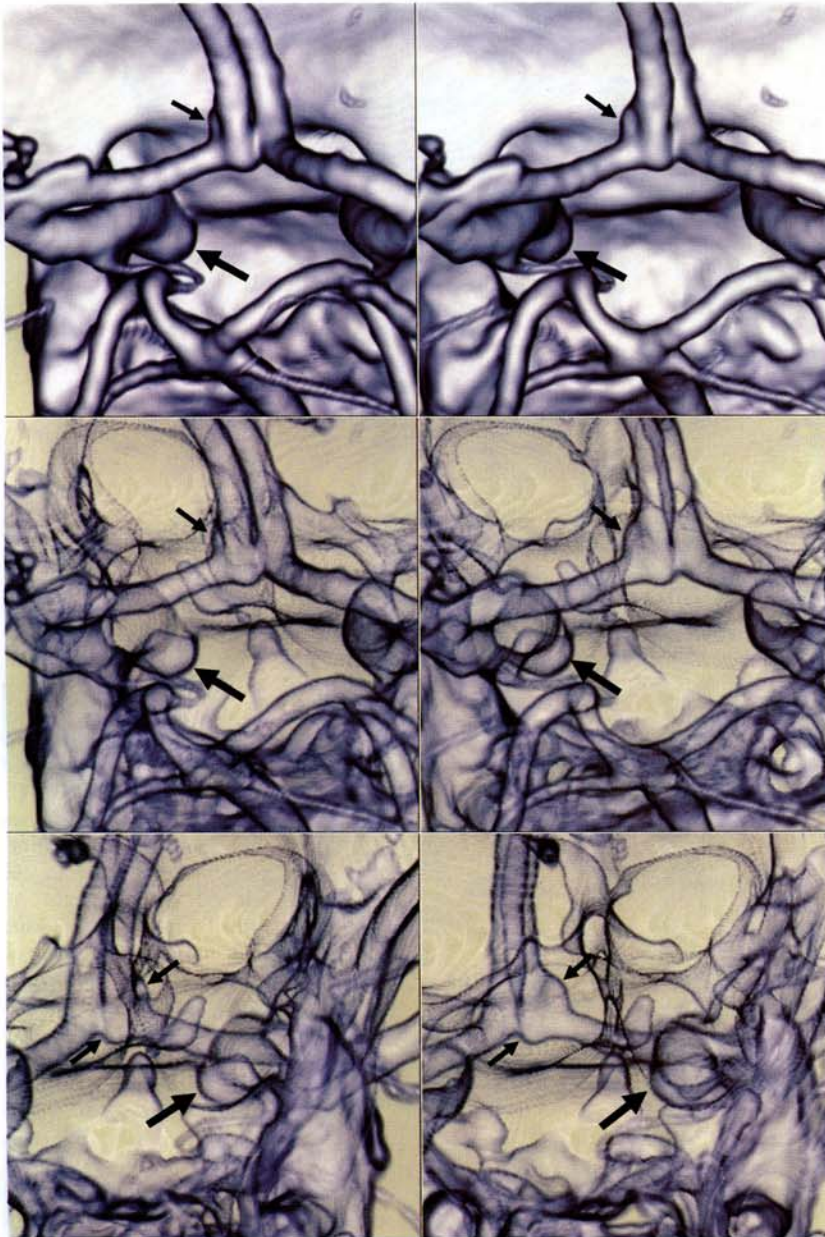
した三次元モデルに変換しVR法で画像再構成した。一方、CTA透過画像は、CT値100 HU (opacity, 0%)から150 HU (opacity, 35%)をピークとした直角三角形の関数を用いてvolume dataから関心領域を抽出し、血管腔外壁に相応する三次元モデルに変換しVR法で画像再構成した。いずれの方法も、関心領域には淡い青色の階調を伴う色付けを行い、元画像volume dataから1枚あたり約10秒の再構成時間で上下、前後、左右あるいは任意の観察方向からの立体画像を作成し20インチ液晶画面上に表示した。通常のVR法3D-CTA画像とCTA透過画像は、同一観察方向からの画像を対比し、脳動脈瘤と親動脈、静脈系、周囲骨構造など脳動脈瘤構築の描出能について比較検討した。

III. 結果

いずれの症例においても、通常のVR法3D-CTA画像では、脳動脈瘤構築は骨構造により観察方向が制限された。特に、骨構造に近接した脳動脈瘤や静脈系は、partial volumeの影響から視覚判断で周囲骨構造と分離することは困難であった。一方、CTA透過画像では、骨構造を透視して、脳動脈瘤、親動脈、静脈系が立体表示され、脳動脈瘤構築を周囲骨構造との関連において任意の方向から観察可能であった。しかしながら、より詳細な脳動脈瘤構築の把握には、CTA透過画像の立体視による観察、さらには通常のVR法3D-CTA画像や元画像などを参照して総合的に判断することが必要であった。

症例1: 71歳、女性、未破裂内頸動脈海綿静脈洞部動脈瘤・前交通動脈瘤症例

VR法3D-CTA画像上方からの観察(Fig. 1 A, B)では、左内頸動脈海綿静脈洞部(C3)で内下方に半球状に隆起した径4.2 mmの脳動脈瘤が認められた。また、前交通動脈部では左A1-A2接合部で前側方に微小な隆起性病変が認められた。CTA透過画像上方からの観察(Fig. 1 C, D)では頭蓋底骨構造が淡く残存し、脳動脈瘤と親動脈との立体的関係が同様に描出された。下方からの観察(Fig. 1 E, F)では、頭蓋底骨構造を透視して脳動脈瘤底面が描出された。CTA透過画像の立体視



A	B
C	D
E	F

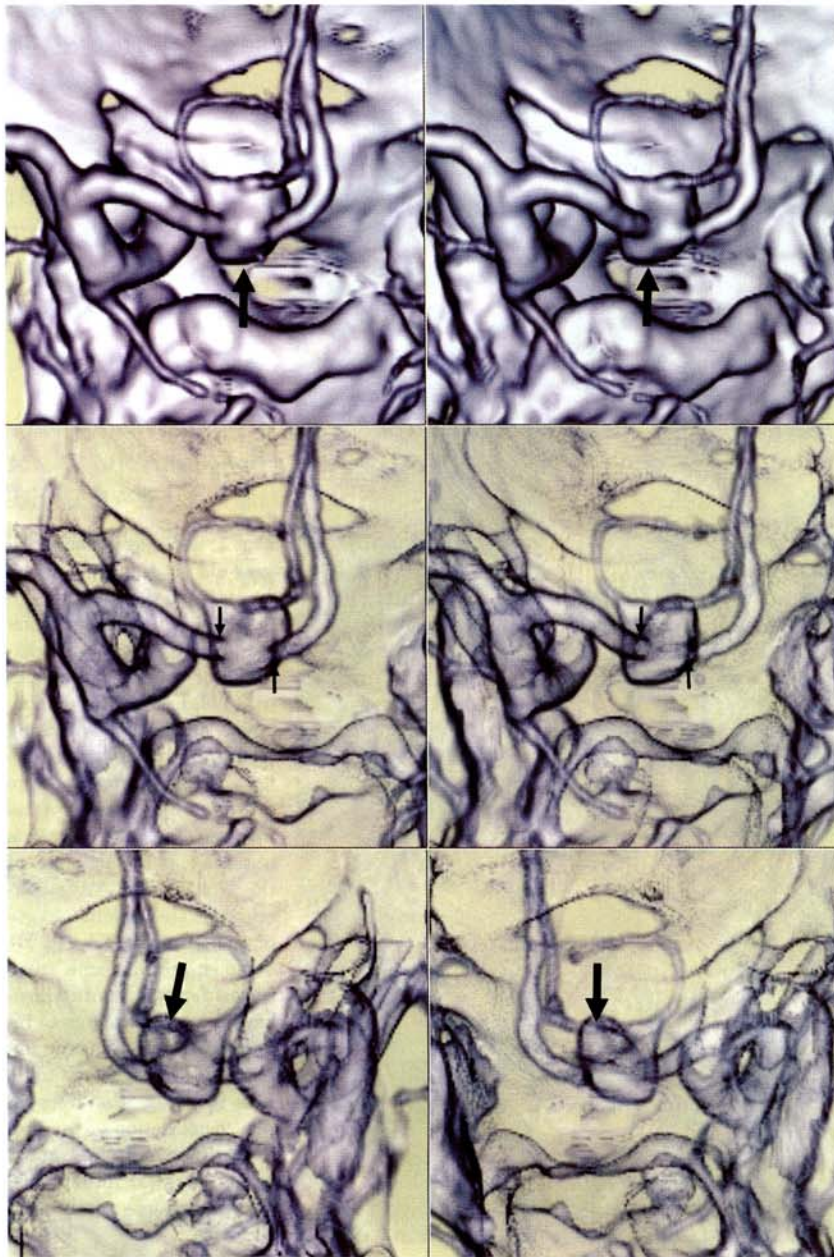
Fig. 1 Images from a 71-year-old woman with aneurysms of a left carotid artery and an anterior communicating artery. Superoinferior stereotactic images of 3 D-CTA (**A, B**) demonstrate an aneurysm arising from the carotid cave of the left carotid artery (large arrow). A tiny aneurysmal bulging (small arrow) is observed at the junction of the left A1 and A2. Superoinferior stereotactic images of transparent CTA (**C, D**) demonstrate the same aneurysms (arrows) with translucent bony structures. Inferosuperior stereotactic images of transparent CTA (**E, F**) show the transparent visualization of the bottom aspect of the aneurysms (arrows) through the bony structures of the cranial base.

観察では、中床突起高位の内頸動脈 C3 部に neck を有し内下方に半球状に進展発育する脳動脈瘤が認められた。同時に前交通動脈部では左 A1-A2 接合部で下方と前下方にわずかに突出した隆起性病変が認められ微小脳動脈瘤と判断した。

症例 2: 53 歳、男性、未破裂前交通動脈瘤症例

VR 法 3 D-CTA 画像上方からの観察 (**Fig. 2 A, B**) では、前交通動脈部で前下方に進展発育した径

6.5 mm の脳動脈瘤が認められた。CTA 透過画像上方からの観察 (**Fig. 2 C, D**) でも同様に脳動脈瘤が認められ、脳動脈瘤 neck で左 A1、右 A2 の開口部が脳動脈瘤壁を透視して同定された。また、下方からの観察 (**Fig. 2 E, F**) では、前頭蓋底骨構造を透視して脳動脈瘤底面が描出され、左右 A2 起始部で下方方向に隆起した bleb を有する脳動脈瘤構築が明瞭に描出された。



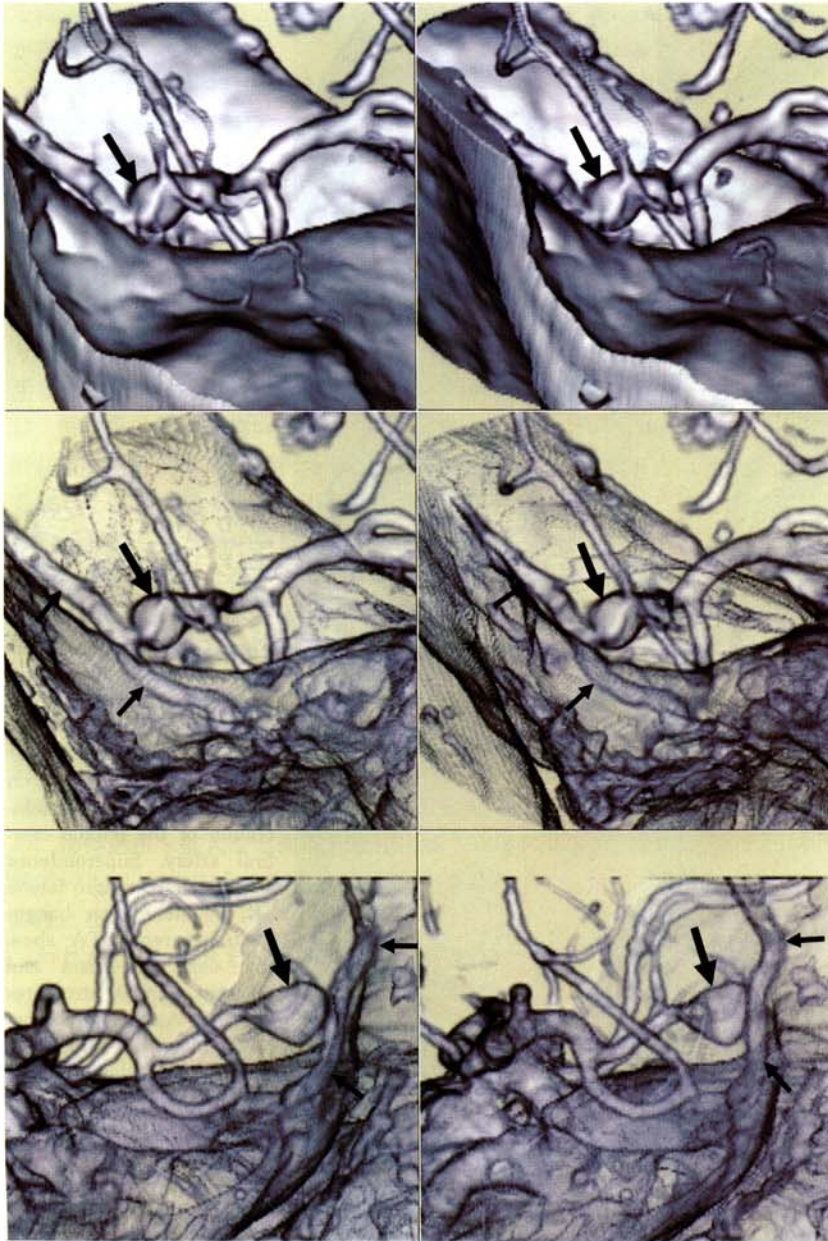
A	B
C	D
E	F

Fig. 2 Images from a 53-year-old man with an anterior communicating artery aneurysm. Superoinferior stereotactic images of 3-D CTA (A, B) demonstrate an aneurysm at the anterior communicating artery (large arrow). Superoinferior stereotactic images of transparent CTA (B, C) show the same aneurysm with translucent bony structures. The orifices of the left A1 and the right A2 (small arrows) are identified through the aneurysmal wall. Inferosuperior stereotactic images of transparent CTA (E, F) show the transparent visualization of the bottom aspect of the aneurysm through the bony structures. Note the bleb (arrow) of the aneurysm at the bottom of the aneurysm extending to the anterior cranial base.

症例 3: 71 歳, 男性, 未破裂中大脳動脈瘤症例
VR 法 3 D-CTA 画像前上方からの観察 (Fig. 3 A, B) では, 右中大脳動脈分岐部で外側方向に進展発育した長径 8.2 mm の脳動脈瘤が認められ, 動脈瘤ドーム先端に近接して superficial sylvian vein が認められた。CTA 透過画像, 前上方 (Fig. 3 C, D) および右側方 (Fig. 3 E, F) からの観察では, 脳動脈瘤構築と superficial sylvian vein との位置

関係が側頭骨蝶形骨縁など周囲骨構造を透視して立体的に描出された。

症例 4: 73 歳, 男性, 未破裂中大脳動脈瘤症例
VR 法 3 D-CTA 画像上方からの観察 (Fig. 4 A, B) では, 右中大脳動脈分岐部で外側方向に進展発育した長径 5.8 mm の脳動脈瘤が認められた。CTA 透過画像, 上方 (Fig. 4 C, D) および右側方 (Fig. 4 E, F) からの観察では, 脳動脈瘤構築と



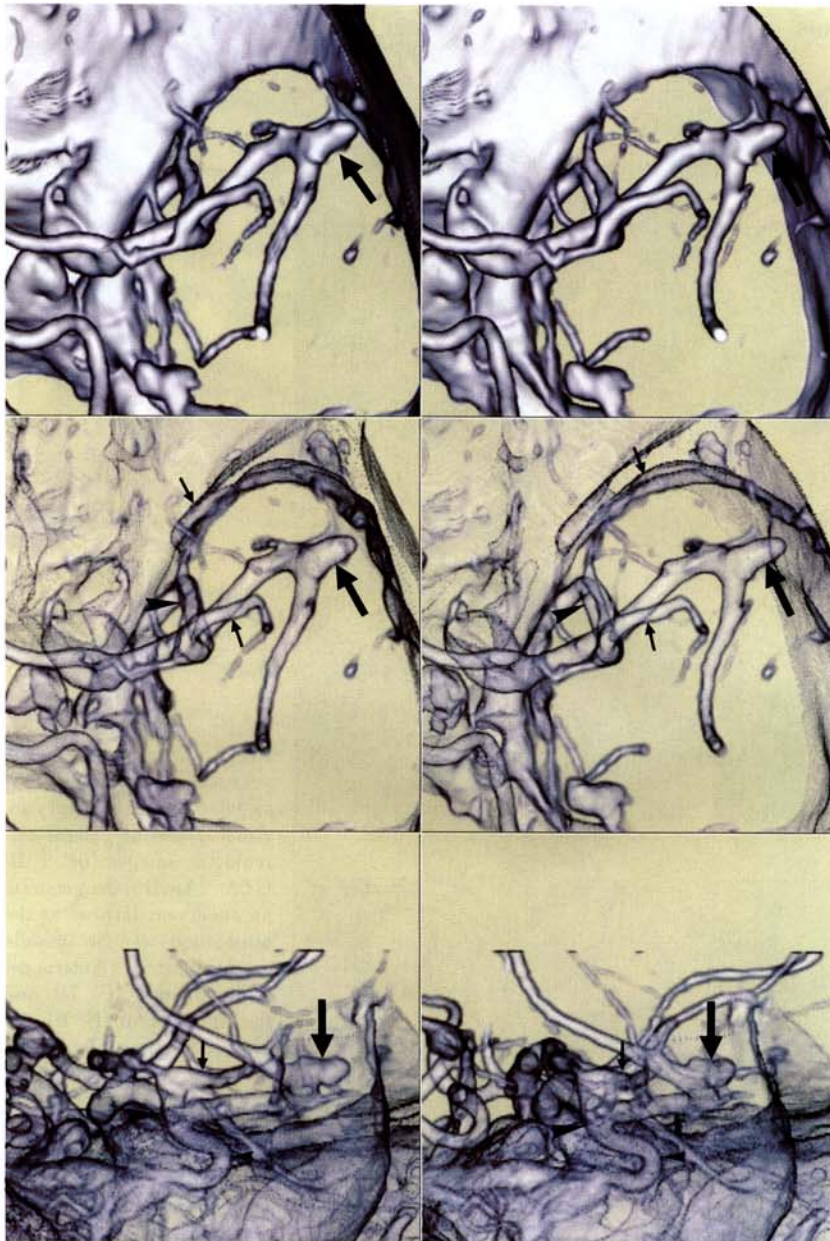
A	B
C	D
E	F

Fig. 3 Images from a 71-year-old man with a right middle cerebral aneurysm. Anteroposterior oblique stereotactic images of 3 D-CTA (**A, B**) demonstrate an aneurysm (arrow) at the bifurcation of the middle cerebral artery. Anteroposterior oblique (**C, D**) and the right lateral (**E, F**) stereotactic images of transparent CTA show the same aneurysm (large arrow) and an adjacent superficial sylvian vein (small arrows) with translucent temporal and sphenoid ridge bony structures.

deep sylvian vein, これと合流し中大脳動脈水平部で前方を近接して横断下降する uncal vein, 蝶形骨縁に沿って走行し前方から uncal vein に合流する superficial sylvian vein, さらに海綿静脈洞に流出する sphenoparietal sinus などの周囲静脈系構造が側頭骨蝶形骨縁などの頭蓋底骨構造との関連において明瞭に描出された。

IV. 考察

CTA は脳血管撮影に比べ低侵襲であり, MRA で検出された未破裂脳動脈瘤の診断確定のみならず, 破裂脳動脈瘤の急性期術前診断にも広く用いられている^{2-5, 7, 8)}. 脳動脈瘤の診断において, CTA は脳血管撮影や MRA と比較して多くの利点を有している^{2, 4-8)}. CTA では, 脳動脈瘤の大



A	B
C	D
E	F

Fig. 4 Images from a 73-year-old man with a right middle cerebral aneurysm. Superoinferior stereotactic images of 3 D-CTA (A, B) demonstrate an aneurysm (large arrow) at the bifurcation of the middle cerebral artery. Superoinferior (C, D) and the right lateral (E, F) stereotactic images of transparent CTA show the same aneurysm and adjacent venous structures with translucent bony structures. Note the superficial and deep sylvian veins (small arrows) draining into the uncus vein (large arrow head), then to the sphenoparietal sinus (small arrow head), finally to the cavernous sinus.

きさや bleb, 発育方向, neck や流入・流出動脈の形状, 瘤内血栓や石灰化の有無など脳動脈瘤の三次元形態情報が得られる。さらに, 親動脈や近接する静脈など周囲血管や骨構造を含めた脳動脈瘤構築が1枚の画像で立体的に観察できる。

一方, CTA の欠点として, 空間分解能・時間分解能・濃度分解能が不十分なため細い穿通枝が描出されないことや血流・循環動態の情報が得ら

れないことが知られている^{2,7,8)}。また, CTA の volume data が有する情報伝達特性のため, 前頭蓋底に近接し下方方向に進展する前交通動脈瘤や sylvian vein など周囲静脈系構造が近接する中大脳動脈瘤, さらに海綿静脈洞や複雑な骨構造で囲まれ屈曲蛇行する carotid siphon 部の床突起下内頸動脈瘤など, 頭蓋底骨構造や静脈・静脈洞構造近傍の脳動脈瘤においては脳動脈瘤構築を隣接す

る構造物と分離することが困難な場合があることが指摘されている^{2,3,7)}。

CTAにおいて脳動脈瘤構築を骨構造など周囲構造物と分離する際は、画像作成者が window level と window width を調整した元画像上で関心領域の輪郭をトレースすることで volume data を選択し、maximum intensity projection 法、surface rendering 法、VR 法などを使用し画像再構成する方法や出来上がった画像から関心領域をトリミングで選択し、それらを編集作成する用手的な手法が一般的に行われてきた。これらの方法では、解剖学的構造の違いが画像作成者の視覚的判断により主観的に取捨選択されるため、骨構造に近接した脳動脈瘤では、脳動脈瘤や親動脈さらには周囲静脈系など脳動脈瘤構築の volume data が一部削除される可能性があり、出来上がった画像も作成者により異なるためその再現性に問題がある。一方、VR 法を用いて複数の閾値を使用した画像を合成することで骨構造の opacity を低くし造影された脳血管の opacity を高くした脳血管強調画像が報告されている¹⁾。この方法は、複数の閾値で volume data の加算・減算が行われるため、物体選択・拡大など画像合成の過程で画像作成者の bias が入る余地があり、画像処理操作も煩雑となる。

われわれは、VR 法を用いた CTA 画像作成において、画像に反映される volume data の解析から、人為的トリミングを行うことなく関心領域を volume data から直接選択的に抽出することにより、骨構造を透視した CTA 透過画像を創作した。今回、通常の 3D-CTA 画像の作成には、volume data の選択的抽出に CT 値 100 HU (opacity, 0%) から 150 HU (opacity, 100%) の上り坂関数を用いることで、脳動脈瘤、親動脈、周囲静脈系などに対応した血管腔構造とその背景に頭蓋底骨構造が描出された。CT 値による volume data の解析から、血管腔辺縁部構造の大部分が CT 値 150 HU 以下であったのに対し、CT 値 150 HU 以上の volume data は高濃度に造影された血管腔中心部構造と石灰化を含めた骨構造がそのほとんどを占めていることが判明した。そこで、CT 値 100 HU (opacity, 0%) から 150 HU (opa-

city, 100%) をピークとする直角三角形の関数を用いることにより、volume data から CT 値 150 HU 以上の血管腔中心部構造と骨構造を除外し、血管腔辺縁部構造および CT 値 100 から 150 HU の範囲にある残りの骨構造を選択的に直接抽出することが可能となった。さらに、抽出された volume data の opacity を 100% から 35% へと低減することにより、残りの骨構造が淡く半透明状に描出されるため、骨構造を透視して血管腔辺縁部構造が強調された CTA 透過画像が作成された。ただし、CTA による volume data は個々の生体それぞれで微妙に異なるため、関心領域の選択的抽出には絶対的な CT 値はなく、個々の volume data に応じて抽出閾値を調整し CTA 透過画像を作成することが必要と思われる。

CTA 透過画像の有用性としては、(1) 骨構造を透視した管腔構造の観察が可能である。特に、頭蓋底骨構造近接の脳動脈瘤では頭蓋底骨構造を透視してその下方から脳動脈瘤を観察することが可能である (Fig. 1 E, F, 2 E, F)。 (2) 管腔構造自体を相互に透視観察することが可能なため、脳動脈瘤壁を透視して脳動脈瘤 neck での親動脈開口部を同定することができる (Fig. 2 C, D)。 (3) さらに、骨構造に制限されることなく多方向から脳動脈瘤構築を自在に観察できるため、骨構造近傍の脳動脈瘤のみならず通常部位の脳動脈瘤においても、骨構造や周囲静脈系を含めた脳動脈瘤の立体的構築が把握可能である (Fig. 1-4)。一方、CTA 透過画像の限界は、(1) opacity の低減により画像の立体感が低下するため、複数画像を作成し立体視することが必要な場合がある。単に構造物の重複がない脳動脈瘤の表面形態観察であれば、opacity を 100% に戻した透過画像か通常の VR 画像の方が質感の点では優れている。(2) 脳動脈瘤 neck や動脈壁に石灰化病変を合併した場合には、不透明度の低減により骨構造と CT 値に相違がない石灰化部も半透明状となるため病変部の描出が不鮮明となる。(3) 骨構造を透視することで動脈と静脈すべてが可視化されるため、観察方向によっては管腔構造が複雑に林立・混成した三次元画像となる場合があり読影に習熟を要する。特に、内頸動脈海綿静脈洞部動脈瘤では、元画像や

multiplanar reformation, curved planar reformation, perspective VR 画像などいろいろな画像を参照して脳動脈瘤構築を総合的に判断する必要がある³⁻⁶⁾。

CTA 透過画像は、関心領域の選択的抽出と opacity の調節により、作成者の bias が入ることなく volume data から直接作成される三次元画像であり、管腔構造や骨構造を透視することにより、脳動脈瘤構築を任意の方向から観察することが可能である。そのため、CTA 透過画像は、骨構造近傍の脳動脈瘤だけでなく通常部位の脳動脈瘤においても、脳動脈瘤構築の立体的形態診断のみならず手術シミュレーションにも応用可能である。今後、volume data の解析に VR 法を使用することで、CTA 透過画像など撮像系の情報伝達特性を踏まえた volume data の可視化画像を作成することが可能になるものと思われる。

本論文の要旨の一部は、第 24 回日本脳神経 CI 学会 (2001 年 3 月 2-3 日, 福井) において発表した。

文 献

- 1) 七戸金吾: AMIN 三次元画像解析システム. pp.398-400 (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, 先端医療技術研究所, 東京, 2000)
- 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) Ochi T, Shimizu K, Yasuhara Y, Shigesawa T, Mochizuki T, Ikezoe J: Curved planar reformatted CT angiography: usefulness for the evaluation of aneurysms at the carotid siphon. Am J Neuroradiol **20**: 1025-30, 1999
- 4) 佐藤 透: 脳動脈瘤診断におけるボリュームレンダリング法による 3-D CTA 仮想内視鏡の有用性. 脳外速報 **10**: 285-290, 2000
- 5) 佐藤 透: AMIN 三次元画像解析システムの臨床応用. pp.212-218 (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)
- 6) 佐藤 透: Perspective volume rendering 法を使用した 3 D-MR angiography fly-through 画像による脳動脈瘤の描出. 脳外 **29**: 181-186, 2001
- 7) 田邊純嘉, 大滝雅文, 上出廷治, 伊林至洋, 端 和夫: 3 次元 CT angiography による内頸動脈硬膜輪近傍動脈瘤の診断. 臨放 **43**: 563-570, 1998
- 8) Villablanca JP, Martin N, Jahan R, Gobin YP, Frazee J, Duvkwiler G, Bentson J, Hardart M, Coiteiro D, Sayre J, Vinuela F: Volume-rendering helical computerized tomography angiography in the detection and characterization of intracranial aneurysms. J Neurosurg **93**: 254-264, 2000

Letter を募集しています

欄 名 「読者からの手紙」

趣 旨 掲載論文に対する読者の方々の意見, ならびに日常臨床における経験で, 論文をまとめるには至らないものの報告をしておきたいと考えられる知見あるいは意見等を掲載いたします。

原稿枚数 400 字詰原稿用紙 2 枚以内。(筆署名・所属は必ず明記して下さい。匿名原稿は受けません。)

採 否 編集委員会で決定。採用しない場合はその旨連絡いたします。返却理由はお知らせいたしません。

その他 原稿は多少の字句の訂正をすることがあります。また、採否にかかわらず、原稿は返却いたしません。採用の場合は掲載誌 1 部および別刷 30 部を贈呈いたします。 **「脳神経外科」編集部**
