

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*

佐藤 透**

Delineation of the Cisternal Architecture with Three-dimensional CT Cisternography and Its Transparent Imaging

Toru SATOH

Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

We used three-dimensional imaging of the cisternal architecture with perspective volume rendering of CT cisternography in patients with unruptured cerebral aneurysms. Selective changes in the opacity chart of computed tomographic values, based on the use of a function of downward slope, represented the contour of the structures located in the cisternal space. In addition to this, using a spiked peak curve, it was possible to show the contour of the outer wall of the cisternal structures as a series of rings, which provided a transparent view inside and/or outside the cistern through the spaces between the rings. Transparent imaging technique allowed direct visualization of the underlying objects and offered an extensive perspective view of the anatomical architecture of the cisternal structure, including an aneurysm, major basal arteries and optic pathway, in a single view. Three-dimensional CT cisternography may be a useful adjunct for the diagnosis of the cisternal architecture in relation to the surrounding cerebrospinal fluid, and for simulation of the surgical procedures considered for lesions occupying intra-cisternal space, including cerebral aneurysms.

(Received: March 4, 2002)

Key words computed tomographic cisternography, intracranial aneurysm, perspective volume rendering, virtual endoscopy, transparent imaging

No Shinkei Geka 30(10): 1067-1073, 2002

はじめに

最近の multi-detector row CT など CT 装置や撮像技術の進歩により、頭蓋内構造の詳細な情報が連続した volume data として容易に取得されるようになった。また、ワークステーションでの可視化画像再構成技術 (computer visualization software) の革新により、高品質な 3 次元 CT 画像

(three-dimensional computed tomography, 3D CT) が、元画像 volume data からきわめて短時間で作成可能となってきた^{3,6)}。3D CT は、CT angiography での脳血管内腔の描出や頭蓋底・顔面複雑骨折での骨折線描出など、関心構造物の立体的構築を把握するうえで、脳神経外科領域で幅広く臨床応用されている^{3,4,6-13)}。

脳槽 CT は、髄液腔に造影剤を投与することで、

* (2002.3.4 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

髄液 CT 値が均一に陽性増強される能動的脳槽描出法である。脳槽 CT では、神経、血管、脳動脈瘤、腫瘍などの脳槽内占拠性構造物や脳槽に隣接する頭蓋底骨構造、脳表などで構成される解剖学的脳槽周囲構築が、髄液腔との関連において、陰影欠損像として、画像上明瞭に区別される。脳槽 CT は、脳槽内構造物の形態学的構築を把握する上で、最も空間分解能の高い画像診断法とされている^{1,2)}。

しかしながら、これまでの脳槽 CT では、低 X 線吸収域で示される脳槽内構造物の位置関係は、1 枚あるいは複数枚の元画像上で視覚的に判断されてきた。そのため、複雑な走行を示す血管分岐部や占拠性病変、さらに視神経や下垂体などと重畳する脳槽内構造物では、構造物相互の位置関係を立体的に把握することが困難な場合があった。また、トルコ鞍や前頭蓋底などの骨構造、視神経視路構造、隣接する脳実質を透視して脳槽内構造物を直接観察することは、基本的に不可能であった。これらの問題を解決するためには、脳槽 CT で得られた volume data においても、最新の可視化技術を応用した画像解析を行い、脳槽構築を 3D 画像として再構成表示し、立体的に評価することが必要となる⁶⁻¹¹⁾。

今回われわれは、遠近投影 (perspective) volume rendering 法を使用して、脳槽 CT の元画像 volume data から、髄液腔よりも低い X 線吸収領域すべてを選択し、脳槽内構造物の外壁形態 (contour) を一塊として描出する、3D 脳槽 CT 画像 (3D CT cisternogram) を作成した。さらに、髄液腔に接する境界面のみを選択的に抽出することで、隣接する構造物を透視して脳槽構築の外壁形態を可視化する 3D 脳槽 CT 透過画像 (transparent 3D CT cisternogram) を新たに創作した。本稿では、脳槽内構造物の評価に、これら 3D 脳槽 CT 画像およびその透過画像を臨床応用したので、画像作成方法を述べ、脳槽内構築を把握するうえでの本法の有用性と限界および今後の展望につき報告する。

．対象と方法

対象は、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と経過観察中の未破裂右中大脳動脈瘤の 2 例である。

患者を側臥位とし、腰椎穿刺にて、非イオン性ヨード造影剤 300mgI/ml (Omnipaque-300[®], 第一製薬, 東京), 10ml を髄腔内に投与した。造影剤を脳底槽に誘導する目的で、額をテーブルにつけた祈祷位で、10 分間の体位負荷を行い、その後仰臥位とした。脳槽 CT は、multi-detector row CT (Hi Speed Dual[®], GE-YMS 社, 東京) を用いて、管電圧 140KV, 管電流 150mA, field of view 25cm, スライス厚 1mm, detector 2 列, テーブル移動速度 0.75mm/sec, high quality モード (ピッチ 1.5) の撮影条件で、合計 79 スライスの連続スキャンを実施した。脳槽 CT の元画像 volume data は、コンソール上で、field of view 10cm, スライス厚 0.5mm にデータ補間し、外来診察デスクトップのワークステーション (Zio M900 3.0[®], AMIN 社, 東京) に DICOM データ転送した。

遠近投影 volume rendering 法を使用した 3D 画像は、ワークステーション上で、79 スライスの元画像 volume data を 0.25mm に補間後、3D volume data set (158 data) に変換し、約 10 秒の再構成時間で作成した。3D 脳槽 CT 画像は、元画像での脳槽構築物の辺縁に相応する CT 値の解析から、CT 値 150HU (100% opacity level) から 160HU (0% opacity level) の下り坂関数を使用して、data set の opacity table から、髄液腔よりも低い X 線吸収域すべてを選択することで、脳槽内およびその辺縁構築物を一塊として描出した。

一方、3D 脳槽 CT 透過画像は、髄液腔に接する境界面の関心領域を、opacity table から spiked peak curve (peak value 155HU, window width 10HU) を用いて選択的に抽出し、隣接する構造物を透視して脳槽構築物を可視化した。これらの 3D 画像では、stereoscopic view images を追加作成し、脳槽内のみならず、前頭蓋骨近傍骨内、あるいは脳表近傍脳内の仮想的視点から、視野角 90 度で脳槽構築を立体的に透視観察した。

．結 果

3D 脳槽 CT 画像では、脳槽髄液腔が均一に造影剤増強され、血管、神経などの脳槽内構造物や周

囲骨，脳表構造が髄液腔との関係において明瞭に区別され，脳槽内の血管走行や視神経，視交叉の連続した構造が，遠近感のある1枚の立体画像で表示された．しかしながら，脳槽内の限られた空間では，脳槽内構造物の重畳により観察視野が制限され，一方向からの観察では脳槽構築の全体像は把握困難であった．

一方3D脳槽透過画像では，脳槽内構造物の辺縁境界面が一連のring構造として断続的に描出されたため，ringとringの間隙から構造物を透視して脳槽構築を自由に観察することが可能であった．さらに，隣接する頭蓋底骨構造内や脳表近傍の脳内から，これら重畳する構造物を透視して，脳槽内構築の全体像を観察，評価することが可能であった．

症例1 60歳，男，未破裂前交通動脈瘤．

高血圧性脳症の疑いで精査目的にMR angiographyを施行し，未破裂前交通動脈瘤が認められた．CT angiography軸位像（Fig. 1A）では，右A1 dominantで，右A1-A2分岐部にneckを有する径7 mmの囊状動脈瘤が認められ，予防的根治手術を施行した．術前検査として，脳動脈瘤neckと視交叉との位置関係，脳動脈瘤domeの半球間裂への伸展状況を把握する目的で，脳槽CTを施行した．

脳槽CT軸位像（Fig. 1B）では，視交叉前部の半球間裂内に右M1に連続した脳動脈瘤形態が，脳槽髄液腔内に陰影欠損像として描出された．3D脳槽CT画像，半球間裂上方からの観察（Fig. 1C）では，脳動脈瘤上面とこれに連続した右A1および右A2の走行形態が立体的に描出された．視交叉下方より前上方を見上げた観察視点（Fig. 1D）からは，視交叉と両側前頭葉直回部（rectal gyrus）で構成される三角形の間隙から，右A1，左A2分岐部と脳動脈瘤neckの一部が認められた．また，視交叉下面には，下垂体柄が，その後方には脳底動脈，後大脳動脈，右上小脳動脈の走行形態が描出された．視交叉右上縁からの観察（Fig. 1E）では，右A1およびこれに連続して左方向に走行する左A2の外壁形態が認められたが，脳動脈瘤neck，domeの大部分は，隣接する右前頭葉直回部の重畳により観察されず，これらは手

術術野写真（Fig. 1F）に相応する所見であった．

症例2 77歳，男，未破裂右中大脳動脈瘤．

4年前にMR angiographyで未破裂右中大脳動脈瘤を指摘されるも，経過観察されていた．今回，外傷性くも膜下出血で発症し，CT angiographyでは，右M1-M2分岐部に径4 mmの囊状動脈瘤が認められたが，右M1水平部に狭窄性病変を合併していた．動脈硬化性病変を伴う未破裂脳動脈瘤の手術適応を検討する目的で，脳槽CTを実施した．

右シルビウス裂内で，右方向より観察した3D脳槽CT画像（Fig. 2A）では，右M1，脳動脈瘤，M2-superior，inferior branches，シルビウス静脈で構成される脳動脈瘤血管構築の外壁形態が，シルビウス裂を構成する前頭・側頭葉脳表構造，頭蓋底骨構造とともに，立体的に描出された．その3D脳槽CT透過画像（Fig. 2B）では，同様の脳槽内構築が，脳動脈瘤などの脳槽内および隣接する構造物を透視して広範囲に描出された．とくに，脳動脈瘤neckでは，親動脈M1の流入開口部やM2の流出開口部がdome外壁を透視して観察された．また，鞍結節部上の視点から観察した3D脳槽CT画像（Fig. 2C）およびその透過画像（Fig. 2D）では，左右内頸動脈とA1-A2の血管外壁形態が，視神経，視交叉，脳下垂体柄部，周囲脳表，頭蓋底骨構造との関連において，立体的に遠近表示された．半球間裂から下方を観察した3D脳槽CT透過画像（Fig. 2E）では，両側A1-A2 complexがその下方の視交叉視路形態，下垂体柄，左前頭葉直回部との位置関係において，構造物を透視して立体的に遠近表示された．また，左直回内の視点（Fig. 2F）からは，脳槽近傍の脳表構造を透視して，同様の脳槽内構築の全体像が仮想的に観察された．

考 察

脳槽CTで得られたvolume dataの画像解析には，これまで，minimum intensity projection（Min IP）画像や平行投影法（parallel projection）を用いたsurface renderingあるいはvolume rendering画像が試みられている．しかし，脳槽内構造は複雑

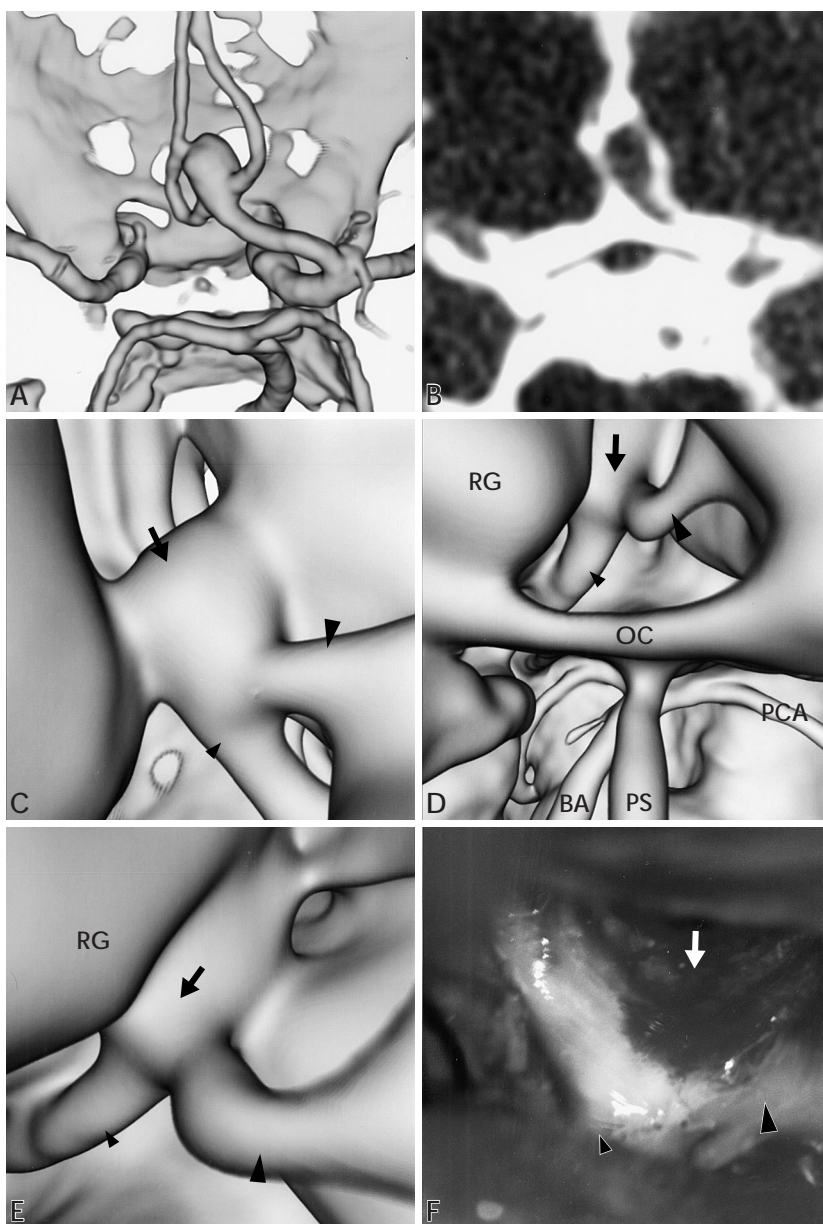


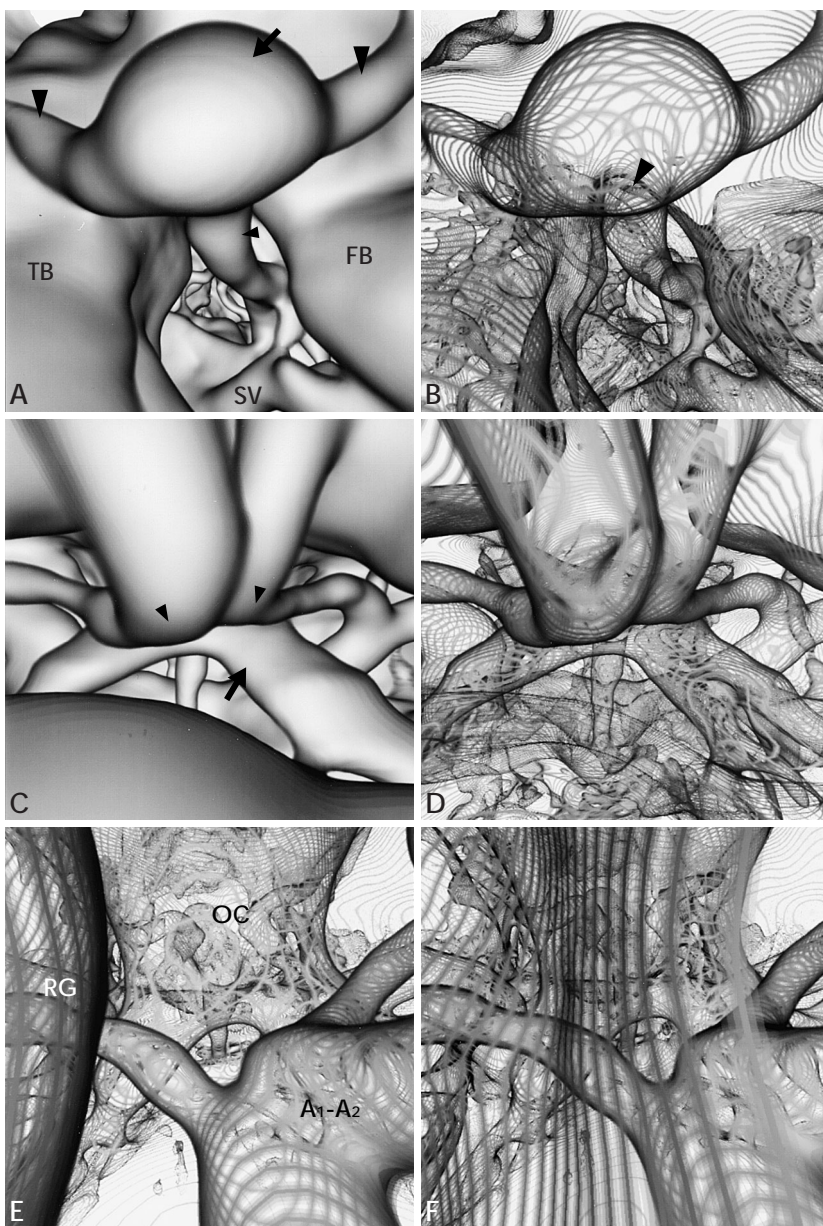
Fig. 1 A 60-year-old man with an unruptured anterior communicating artery aneurysm (Case1). **A** : 3D CT angiogram, axial projection, showing the aneurysm 7mm in diameter, arising at the right A1-A2 junction with the dominant right A1. **B** : CT cisternogram, axial projection, showing an aneurysm as a negative shadow, located in the interhemispheric fissure above the optic chiasm. **C** : 3D CT cisternogram, viewed from the above, showing the outer feature of the aneurysm (arrow) with the right A1 (small arrowhead) and A2 (large arrowhead). **D** : 3D CT cisternogram, viewed from the bottom, showing the contour of the aneurysm (arrow) with the right A1 (small arrowhead) and left A2 (large arrowhead), through the triangular space, consisting of the bilateral frontal rectal gyri (RG) and the optic chiasm (OC). Below the chiasm, the pituitary stalk (PS), the basilar artery (BA), and the posterior cerebral artery (PCA) are shown. **E** : 3D CT cisternogram, viewed from the right upper corner of the optic chiasm, showing the running course of the right A1 (small arrowhead) and the left A2 (large arrowhead), towards and back from the aneurysmal neck (arrow), respectively. **F** : Operative photo, from a similar projection to that in E, represents the right A1 (small arrowhead) and the left A2 (large arrowhead), and the neck of the aneurysm (arrow). Most of the aneurysmal dome is hidden by the overlying bilateral frontal rectal gyri, similar to the findings in E.

で、脳槽空間容量も限られているため、撮影されたすべての元画像 volume data を使用した data set から 3D 可視化画像を作成することは困難で、脳槽構造が描出された範囲での連続した volume data を限定的に選択し、3D volume data set を意図的に作成することが必要であった。

これに対して、構造物を観察視点から放射状に投影する遠近投影法 (perspective projection) では、

物体内部や複雑な構造内に入り込んだ視点から関心構造物を観察することが可能である^{5, 7, 12)}。これにより、1) 遠近投影法では、得られた元画像 volume data すべてを使用した 3D volume data set から 3D 可視化画像が作成できる。2) 平行投影法での全景表示 (panorama view) では得られない、平行線上に重畳する構造物を回避した operative view を立体表示することが可能となる。3) 一点

Fig. 2 A 77-year-old man with an unruptured right middle cerebral artery aneurysm (Case 2). **A**: 3D CT cisternogram, viewed from the right side in the sylvian fissure, showing the contour of the aneurysm (arrow) with the right M1 (small arrowhead) and the superior and inferior-M2 branches (large arrowheads), with sylvian veins (SV). The contour of the aneurysm in the cisternal space is represented in relation to the surrounding structures, consisting of the frontal (FB), temporal brain surfaces (TB) and cranial base bone. **B**: Transparent 3D CT cisternogram, viewed from the same projection as that in **A**, showing an extensive transparent view of the angioarchitecture of the aneurysm. The orifice of the parent M1 (arrowhead) is represented transparently through the aneurysmal dome. **C**: Three-dimensional CT cisternogram, viewed from above the tuberculum sellae, showing the optic nerve and chiasm (arrow), the carotid arteries and the A1-A2 complex (arrowheads). **D**: Transparent 3D CT cisternogram, viewed from the same projection as that in **C**, showing an extensive transparent view of the angioarchitecture of the aneurysm. **E**: Transparent 3D CT cisternogram, viewed from the above, showing an extensive transparent view of the A1-A2 complex (A1-A2) in relation to the optic chiasm (OC) and the left frontal rectal gyrus (RG). **F**: Transparent 3D CT cisternogram, viewed from inside the left frontal rectal gyrus, showing a virtual extensive view of the vessels and nerves through the brain parenchyma.



から構造物が遠近投影されることで、物体の連続性が把握され易く、関心構造物の視認性が向上する。4) 観察視点の視野角を任意に変化させることで、視点に近い物体は大きく、遠い物体は小さく表示されるため、視点近傍では関心構造物の微細形態を拡大表示することが可能である。5) したがって、限られた脳槽空間で脳槽内構造物を広範囲に観察するうえで、遠近投影法による3D 脳槽 CT

画像は、最も適した可視化画像作成法の1つと考えられる。

3D 脳槽 CT 画像では、脳底部主幹動脈などの脳槽内構造物およびこれに隣接した周囲構造物の外壁形態が立体的に描出されるため、脳槽内構築の単なる解剖学的診断のみならず、脳槽内占拠性病変の空間的位置関係や術前局所外科解剖を把握するうえでも有用である。1) 傍鞍部・鞍上部腫瘍で

は、腫瘍と視神経、視神経管、前床突起、下垂体柄や鞍隔膜などとの位置関係が立体表示される。2)床突起上の内頸動脈瘤では、視神経、視交叉や後床突起、さらに動眼神経との位置関係が立体的に評価可能である。3)前交通動脈瘤では、視交叉や半球間裂、前頭葉底面との空間的位置関係が把握される。4)中大脳動脈瘤では、脳動脈瘤とシルビウス裂を構成する前頭・側頭葉との位置関係が表示される。5)脳底動脈瘤では、脳動脈瘤、後大脳動脈、上小脳動脈と動眼神経、第3脳室底面や大脳脚などの周囲脳構造、後床突起など頭蓋底骨構造との位置関係が立体表示される。6)これら3D脳槽CT画像では、脳動脈瘤親動脈など脳槽内を走行する血管構造や脳神経構造は、脳槽内を走行する範囲でのみ限定して描出される。

3D脳槽CT画像では、手術術野に相応する血管構造の外壁が立体表示されるため、脳動脈瘤血管構築の外壁形態診断が可能である。そのため、1)脳血管造影やCT angiographyなど、血管内腔の造影剤充盈画像で評価されてきた脳動脈瘤の内腔形態と、3D脳槽CT画像で表示される脳動脈瘤外壁形態とを対比することで、瘤内血栓や動脈硬化性病変など脳動脈瘤の壁厚がある程度評価可能と思われる。2)脳槽内を走行する脳底部主幹動脈の狭窄性病変においては、狭窄部外壁形態が立体表示されるため、動脈硬化性変化による血管内腔の狭窄と moyamoya 病などで見られる血管外径自体の狭窄性変化とが区別可能と思われる。

また、隣接する構造物を透視した3D脳槽CT透過画像では、脳槽内構造物の境界面が一連の ring 構造として断続的に描出されるため、ring と ring の間隙から構造物を透視して、脳槽内構築を自由に観察することが可能である。そのため、1)手術術野空間や手術アプローチの単なる simulation にとどまらず、重畳する構造物を透視して、脳槽内解剖学的構築の全体像を仮想的に把握することが可能である。2)脳槽近傍に隣接する頭蓋底骨構造や脳表脳実質構造を透視することで、たとえば、前頭葉直回内の仮想的視点から、脳表を透過して視交叉部や前交通動脈 complex を観察することも可能である。3)これらにより、手術術野の展開を想定した脳槽構造物の可視化 simulation が可能と

思われる。

一方 3D 脳槽 CT 画像の限界としては、1)解剖学的に脳槽容量がきわめて少ない部位やくも膜下腔の通過障害などで、脳槽内造影剤の充盈程度が不十分な場合や不均一となる場合には、脳槽内構造物の描出が制限される。2)脳槽 CT は、基本的に、脳槽内構造物の陰影欠損像であり、重畳する血管と神経構造とは CT 値で区別されない。3)脳表や骨構造に接した神経・血管構造、脳内や半球間裂内に一部が埋没伸展した脳動脈瘤では、関心構造物とくも膜下腔との接触領域が限定されるため、構造物の全体像は描出できない。これらの場合には、脳槽内構造物相互の空間的位置関係は、解剖学的構造やその連続性をもとに、観察者が可視化画像上で視覚的に区別せざるを得ない。4)脳槽内に充盈する造影剤濃度は個々の症例や検査条件で異なるため、脳槽内構造物と髄液の境界面を規定する CT 値は一定しない。そのため、構造物の dimension を絶対値で示すことは困難であり、3D 脳槽 CT 画像を脳血管造影や CT angiography などと対比検討する場合は、構造物の相似性や連続性に注目して判断することが必要となる。5)3D 脳槽 CT 画像では、血管構造は管腔外壁形態として表示されるため、瘤内血栓や管腔壁の肥厚性病変を伴う脳動脈瘤や脳底部主幹動脈では、血管壁病変と血管外壁とは分離して表示されない点、留意すべきである。

また、3D 脳槽 CT 透過画像では、1)手術時の脳圧迫やくも膜剝離により変動した脳槽内構造物の手術展開には対応しない。2)脳槽に隣接する構造物内からの脳槽構築の透視観察では、重畳する構造物が多くなるほどその透視度は低下し、物体深部からの観察では複雑な透過画像とならざるを得ない。

まとめ

(1) 脳槽 CT で得られた volume data から脳槽構築を立体的に可視化する3D脳槽CT画像やその透過画像では、脳槽内構造物と隣接する周囲構造物を1枚の画像で立体的に遠近表示することが可能であった。

(2) 3D 脳槽 CT 画像やその透過画像は、脳槽内構

造物相互の空間的位置関係の把握のみならず，手術術野を想定した術前・術中 simulation にも応用可能と思われた．

(3) 3D 脳槽 CT 画像やその透過画像では，血管構造の外壁形態を立体的に表示することが可能なため，未破裂脳動脈瘤での壁厚や脳底部主幹動脈の狭窄性病変における外壁形態などを治療前評価するうえで有用な画像診断法と考えられた．

(4) 今後，3D 脳槽 CT 画像やその透過画像を臨床応用するにあたっては，いろいろな症例において，3D 脳槽 CT 画像と術野所見との相関性を prospective に，あるいは retrospective に確認することが必要であると思われた．

文 献

- 1) David BH Jr: CT cisternography of dolichoectatic arterial compression of the optic chiasm. *AJNR Am J Neuroradiol* **6**: 837-839, 1985
- 2) Ghoshhajra K: High-resolution metrizamide CT cisternography in sellar and suprasellar abnormalities. *J Neurosurg* **54**: 232-239, 1981
- 3) 片田和廣: CTの進歩と臨床応用 - 三次元CTとCT透視 (CT fluoroscopy). pp196-202 (高倉公朋 編: 脳神経外科の最先端. NO.1 第6章, 先端医療技術研究所, 東京, 1999)
- 4) Kato Y, Sano H, Katada K, Ogura Y, Hayakawa M, Kanaoka N, Kanno T: Application of three-dimensional CT angiography (3D-CTA) to cerebral aneurysms. *Surg Neurol* **52**: 113-122, 1999
- 5) Rubin GD, Beaulieu CF, Argiro V, Ring H, Norbash AM, Feller JF, Dake MD, Jeffery RB, Napel S: Perspective volume rendering of CT and MR images: Applications for endoscopic imaging. *Radiology* **199**: 321-330, 1996
- 6) 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 第6章, 先端医療技術研究所, 東京, 2000)
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) Shigematsu Y, Korogi Y, Hirai T, Okuda T, Sugahara T, Liang L, Ge Y, Takahashi M: Virtual MR endoscopy in the central nervous system. *J Magn Reson Imaging* **8**: 289-296, 1998
- 13) Villablanca JP, Martin N, Jahan R, Gobin YP, Frazee J, Duckwiler 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