

研究

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

Usefulness of the Volume-rendering Virtual Endoscopy of 3-D CTA
for Diagnosis of the Cerebral Aneurysms



著 者 佐藤 透¹⁾
Toru Satoh

採用責任者 松本健五 (岡山大学)

1) 医療法人社団 涼風会 佐藤脳神経外科
Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

(2000.2.18. 受稿)

I. はじめに

三次元画像では、X軸、Y軸の二次元情報と体軸方向(Z軸)の情報をコンピューター処理することにより目的とする領域が視覚的に立体的な画像として表示される。重なり合った臓器の前後方向を区別したり、不要な物体を除去し関心領域のみを強調して表現したり色分けしたりすることにより、従来、頭の中でイメージしていた構造物の立体的位置関係が容易に把握される。また、目的とする物体の不透明度(opacity)を強くし、レファレンス的な物体の不透明度を弱くすることで、内部にある物体を透視して表現することも可能である¹⁾。

近年、MRIやヘリカルCTによるボリュームデータ(三次元情報)の収集、転送が容易となり、ワークステーションでの画像再構成技術も格段に進歩し、三次元画像は脳神経外科臨床上、診断や治療の支援のみならず、患者説明においても重要な役割を担いつつある^{2, 3)}。

今回、脳神経外科診療において脳血管疾患の3-D CTA診断にボリュームレンダリング(volume rendering: VR)法による仮想内視鏡(virtual endoscopy: VE)画像を施行し、脳血管病変の立体的観察を行ったので、特に脳動脈瘤診断におけるVR法による3-D CTAおよびVEの有用性につき症例を提示して報告する。

II. 対象と方法

対象は、MRAなどによるスクリーニング検査で脳動脈瘤が疑われた症例である。

3-D CTAはヘリカルCT(GE-YMS社製、Legato Duo)を用い、非イオン性ヨード造影剤320mgI/ml(Optiray 320 シリンジ)を自動注入器(MEDRAD社製、Dynamic CT injector MCT320P)を使用して、肘静脈より注入速度3ml/secで総注入量100mlを投与し、造影剤注入20秒後よりスキャンを開始、スライス厚1mm、テーブル移動速度1mm/secで35スライス撮影した。

CTA元画像は、外来診察デスクトップのワークステーション(AMIN社製、Pegasus viewer 2.0)にDICOM通信でデータ転送した。VR法による3-D CTAは、ワークステーション上で元画像データから約20秒のリアルタイムで再構成作成した。

3-D CTA画像は、前後、上下、左右の各観察方向からの画像を作成し、20インチ液晶画面上に表示した。脳血管疾患、特に脳動脈瘤が明らかとなった症例にはVE画像を作成し、脳血管構築の詳細な検討を行った。

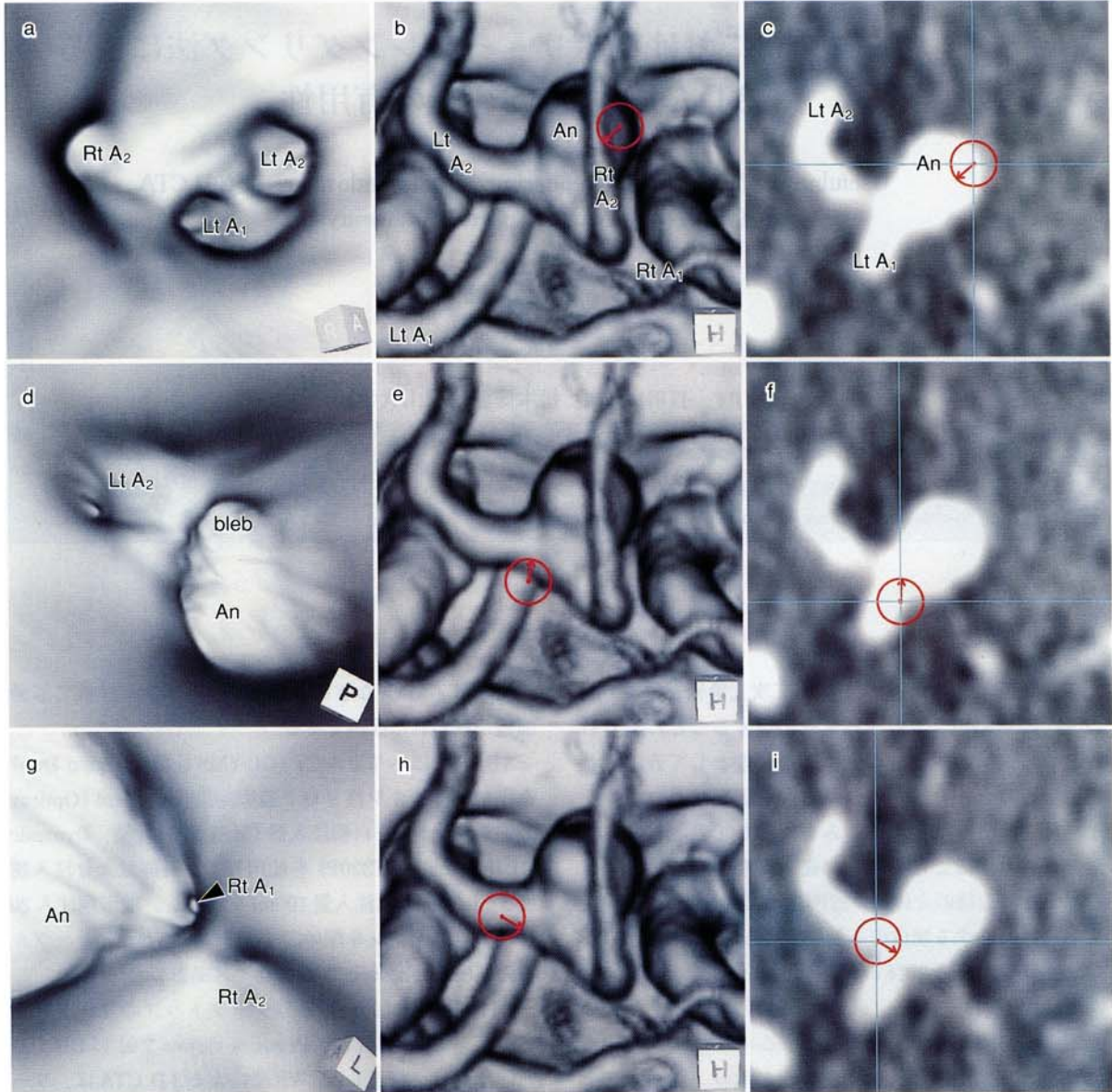


Fig.1 A case of the unruptured anterior communicating artery aneurysm: Virtual endoscopic images of 3-D CTA are shown on the left column. For viewing navigation, corresponding volume-rendering images are shown on the center column and 2-D raw axial CT images on the right column. Virtual endoscopic view of aneurysmal neck is shown on the upper column (Fig.1 a ~ c), including the orifices of the right A₂, the left A₁ and the left A₂. The inner space of the aneurysm viewed from the left A₁ is shown on the middle column (Fig.1 d ~ f). The orifice of the left A₂ is shown on the left side and the aneurysmal neck at the center with antero-upward extension of its bleb. The inner vision of aneurysmal neck viewed from the left A₂ is shown on the bottom column (Fig.1 g ~ i). Widely opened aneurysmal neck and the orifice of the right A₂ are shown. Note the small orifice shown between aneurysmal neck and the right A₂, identified with the opening of the slender right A₁.

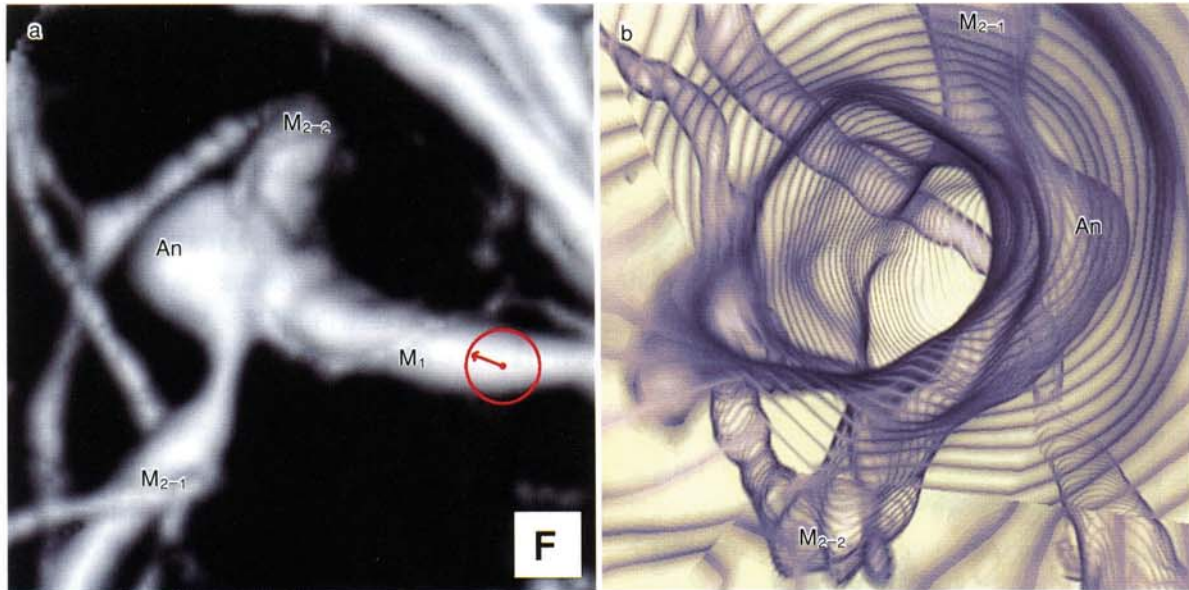


Fig.2 A case of the unruptured right middle cerebral artery aneurysm: Volume-rendering 3-D CTA image viewed from below shows the aneurysm at the bifurcation of the right M₁-M₂ (Fig.2 a). Corresponding virtual endoscopic "see-through" image viewed from the inner side of the M₁ (arrow) delineates the aneurysm and parent M₂ arteries through M₁ (Fig.2 b). Three-dimensional observation of all vascular structures is displayed well on this single image.

Ⅲ. 結果：症例提示

A. 未破裂前交通動脈瘤症例

71歳，女性，眩暈発作，失調性歩行で発症した椎骨脳底動脈循環不全症例。MRAで径8mmの前交通動脈瘤が認められ，精査目的に3-D CTAを施行した。

VE画像を左列に表示し，観察視点のナビゲーションとして，VR画像を中央列に，二次元軸位画像を右列に表示している (Fig.1)。

上段 (Fig.1 a～c) は，動脈瘤内腔ドーム側より見た動脈瘤ネック開口部を表示している，向かって左より，右A₂，左A₁，左A₂それぞれの親動脈開口部が観察される。中段 (Fig.1 d～f) は，親動脈 (左A₁) より見た動脈瘤内腔である，向かって左側にA₂開口部が見られ，右側に動脈瘤ネックの広い開口部が見られる。動脈瘤内腔の中央では，前上方に進展する動脈瘤のblebが描出されている。下段 (Fig.1 g～i) は，左A₂より見た動脈瘤ネック右側方向の観察像である。動脈瘤ネックの広い開口部と右A₂開口部とが認められ，それらの間で動脈瘤開口部右隅に小さな右A₁の開口部が観察され，動脈瘤ネッククリッピング手術操作上有用な情報となる。

B. 未破裂右中大脳動脈瘤

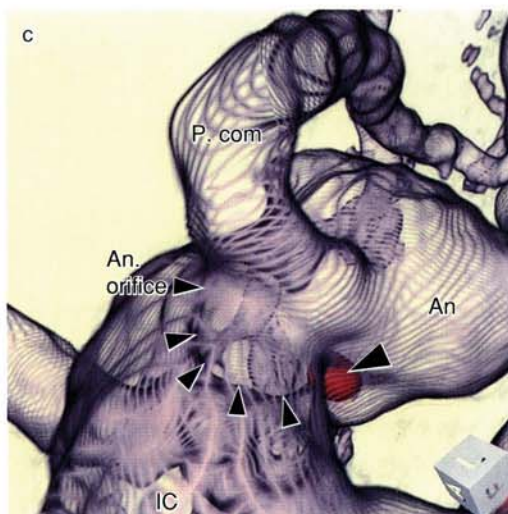
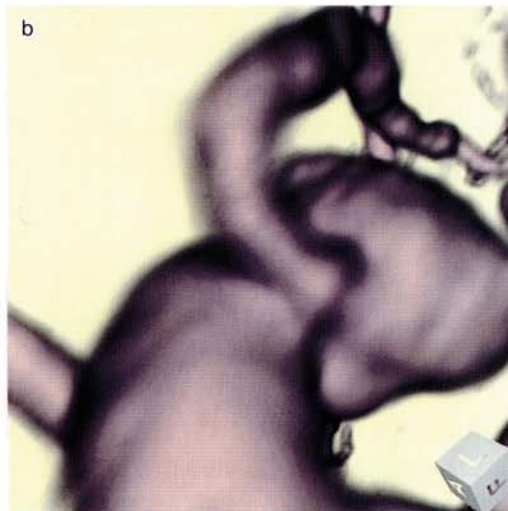
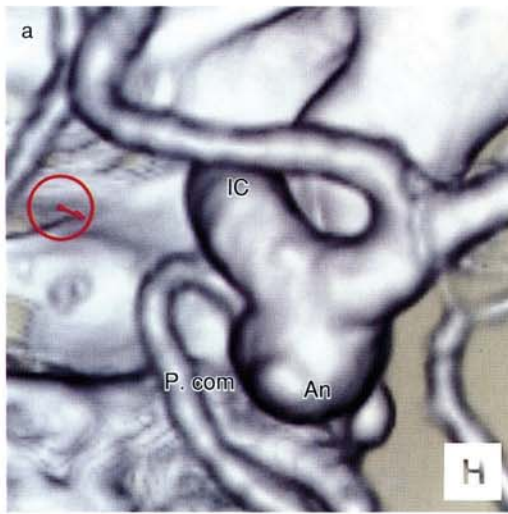
73歳，男性，一過性脳虚血発作で来院。MRAで右中大脳動脈瘤を認め，3-D CTAによる精査を実施した (Fig.2)。

VR画像上下像 (Fig.2 a) では右M₁-M₂分岐部に径5mmの動脈瘤を認めた。VR画像矢印のM₁血管内に視点を置いた仮想内視鏡，see-through観察 (Fig.2 b) では，M₁動脈壁を透視することでM₁内腔に連続する動脈瘤ネックと動脈瘤内腔および上下に分岐するM₂が描出される。親血管と動脈瘤の関係が遠近感のある画像として表示され，血管構築の立体的把握が容易となる。

C. 未破裂右内頸動脈-後交通動脈瘤

74歳，男性，左慢性硬膜下血腫で穿頭洗浄術を施行。術後CTで内頸動脈の石灰化と血管の拡張・蛇行が疑われ，3-D CTAを施行した (Fig.3)。

VR画像上下像 (Fig.3 a) では，右内頸動脈-後交通動脈分岐部に径6mmの後上方にblebを有する動脈瘤を認めた。VR画像矢印の位置で鞍上部正中に観察視点を置き，右上方を眺めた仮想内視鏡，fly-through観察 (Fig.3 b) では，血管・動脈瘤の外側からの視点で右内頸動脈-後交通動脈分岐部にネックを有する動脈瘤とこれを迂回



する後交通動脈が描出されている。同一視野を仮想内視鏡、see-through 観察 (Fig.3 c) で表示すると、親動脈である内頸動脈壁を透視し、動脈瘤ネック開口部とこれより分岐する後交通動脈が透視像として描出される。さらに、CT値による不透明度を微細に調整し、色付け (color rendering) することで、動脈瘤ネック近位側にある石灰化像が明瞭に描出される。

これら血管構築の立体的情報は、脳神経外科顕微鏡手術のみならず、血管内手術のシミュレーションにも有用と考えられる。

IV. 考 察

これまで3-D CTAの画像再構成には surface rendering (SR) 法や最大値投影法 (maximum intensity projection : MIP法) が主として用いられてきた^{2, 3)}。

SR法は、目的とする領域の閾値を設定し、その閾値の範囲内で観察する方向から見て最初に存在するボクセルのみを表示する三次元表面画像であり、観察方向に対して手前のものを明るく、遠くのを暗くするなどの影付け処理が行われ、立体感が得られるように工夫される。データ量が少ないため画像再構成時間が短く、高画質の表面画像が得られる反面、設定閾値以外のボクセル情報が失われるため、閾値に依存して辺縁情報が変化し、血管など管腔径が過小・過大に評価されたり動脈瘤形態が不整となることが指摘されている³⁾。

またMIP法では、観察する投影方向においてボクセルの持つCT値の最大値を対応する投影面に与えることで、DSAと同様な二次元の血管像が表示される。MIP法では投影線上の最大値以外の情報が消えるため、一画像のみでは奥行きが観察できず、角度を変えた複数

Fig.3 A case of the unruptured right internal carotid artery-posterior communicating artery (IC-PC) aneurysm: Volume-rendering 3-D CTA image viewed from above shows the aneurysm at the IC-PC bifurcation (Fig.3 a). Corresponding virtual endoscopic "fly-through" image viewed from below (arrow) delineates the outer contour of internal carotid artery, aneurysm and posterior communicating artery, similar image to the neuro-endoscopic observation (Fig.3 b). Virtual endoscopic "see-through" image of the same location showed the orifice of aneurysm (small arrowheads) and corresponding vascular structure through the parent internal artery wall (Fig.3 c). Note the nodule of calcification (red spot) attached to the neck of the aneurysm delineated clearly by the opacity adjustment (arrowhead).

枚の画像をシネ回転表示や立体視することで初めて肉眼的に三次元的な血管構築の観察が可能となる。

一方、ボリューム画像であるVR法では、ボクセル個々のボリュームデータを保持したまま直接三次元画像として血管構築を立体的に表示するため、質感のある柔軟性に富んだ三次元表示が可能となる¹⁾。VR法の最大の特徴は、すべてのボクセル情報のなかから目的とする関心領域のボクセルを選択し、その不透明度を連続して自由自在に重み付けすることが可能な点にある。物体表面に近いボクセルの不透明度を低く設定し、深部のボクセルの不透明度を高くすることで、表面を透視して物体の内部を観察することが可能となる。また、関心領域のボクセルの不透明度に相応した階調のある色付けをすることで物体を写實的にカラーで描写できる。

仮想内視鏡 (VE) は perspective rendering と呼ばれ、仮想的な視点を三次元ボリュームデータ内に想定し、仮想的なスクリーンに向かって放射状に投影することで、物体の内側から見た状況の遠近感ある三次元画像が作成される¹⁾。血管の内腔や動脈瘤の中に入り込んでいるかのような仮想的三次元画像を連続的に表示することで、物体の内視鏡的な観察が可能となる。また、血管や動脈瘤を飛び出し管腔の外側から見た仮想的三次元画像を表示し、物体を外側から観察する神経内視鏡に類似した仮想的三次元画像 (fly-through) や管腔壁を透視した管腔内・管腔外からの立体的観察画像 (see-through) の表示も可能である。

VR法を用いたVEの利点としては、以下の点が挙げられる。

①管腔臓器において血管内視鏡などの内視鏡検査に類似した順行性の内腔表面の形態観察が可能である。また管腔の閉塞・狭窄部位を越え、反対側から逆行性に仮想的に観察することも可能である。特に、頸部内頸動脈や脳底部大血管の閉塞・狭窄性病変、脳動脈瘤内腔の観察において有用性が高い (Fig.1 a, d, g)。

② fly-through により、神経内視鏡に相応する視点で管腔の外側より血管や動脈瘤など血管構造物の立体的構築を観察することが可能である (Fig.3 b)。

③管腔壁を透視することで、管腔の外壁や内腔の表面観察だけでなく、管腔内あるいは管腔外から目的とする血管・動脈瘤や周辺血管構造物を含めた広範囲な領域を仮想的に透視する see-through 観察が可能となる (Fig.2 b, 3 c)。また不透明度を微細に調整し、色付け階調を工夫することで、動脈壁の石灰化や内膜下粥腫などの動脈硬化性病変、動脈瘤内血栓や血管内異物など、区別されるべき異質なものを違いとして描出することも可能である (Fig.3 c)。

④遠近感のある三次元画像表示により、関心領域に対していろいろな視点から血管や脳動脈瘤の立体的構築の把握が可能である。特に、手術アプローチ方向に沿った動脈瘤、動脈瘤ネックとすべての親動脈の see-through 観察は動脈瘤開口部を含めた術野構造物の立体構成がよく把握され、仮想顕微鏡手術 (virtual microsurgery) など手術シミュレーションへの応用が期待される。

VR法は、三次元画像表示において、データ量が多く画像再構成に時間がかかり、不透明度の設定や関心領域の設定など画像作成に相当の熟練と労力を要することが指摘されてきた。しかし、各ボクセル情報をすべて保持するVR法は、選択された領域の不透明度を自在に調整することでボクセルの持つ微細な違いが描出可能なため、目的とする画像を作成するうえで他のどの方法にもない大きな自由度を有している。近年のボリューム画像処理の高速化や操作の簡素化・自動化など画像再構成技術の目覚ましい進歩に伴い、VR法による3-D CTAは今後脳神経外科臨床に広く普及するものと思われる。

文 献

- 1) 畦元将吾, 平松慶博, 松本和彦: virtual endoscopy の基本原理と臨床応用領域における有用性. 日本臨床 57: 223-231, 1999
- 2) 片田和廣: 三次元画像の臨床応用の手引き, 頭部. 臨床画像 15: 1050-1060, 1999
- 3) 田邊純嘉: 三次元CT angiography (CTA) による脳動脈瘤の診断, pp6-20 (森山紀之: 実践三次元CT診断, 医療科学社, 東京, 1999)

ABSTRACT

Usefulness of the Volume-rendering Virtual Endoscopy of 3-D CTA for Diagnosis of the Cerebral Aneurysms

by

Satoh T

