MRA による頭蓋内血管狭窄性病変の評価

久保田基夫, 小野 純一, 山浦 晶, 日下 忠文*

MR Angiography for Evaluation of Atherosclerotic Narrowing of Intracranial Arteries

Motoo KUBOTA M.D., Jun-ichi ONO M.D., Akira YAMAURA M.D., and Tadahumi KUSAKA M.D.*

Department of Neurosurgery, School of Medicine, Chiba University and

*Kusaka Clinic, Chiba, Japan

Summary : Recent advances in Magnetic Resonance (MR) imaging technique have offered remarkable noninvasive diagnostic tool, MR angiography (MRA), to evaluate intracranial vascular lesion. MR angiography showed a good correlation with conventional angiography in diagnosing arteriosclerotic narrowing of intracranial arteries.

In this paper, we review 3D time-of-flight MRA of the intracranial stenotic lesion and discuss potential pitfalls in flow evaluation by MRA. Because the contrast of the vessels comes from blood motion, artifactual signal loss can be caused by slight changes in normal blood streams such as eddy flow or decrease in flow velocity. Another signal loss can occur in a Maximum Intensity Projection (MIP) process. These effects lead to an apparent reduction in vessel diameter, an overestimation of stenosis and a loss of visualization of small or slow-flowing vessels. Arterial flow void on MRI, phase contrast MRA with low velocity encoding and original data before the MIP process may be useful for accurate diagnosis.

Key words :

- MR angiography
- time-of-flight
- stenosis
- maximum intensity projection

はじめに

Magnetic resonance angiography (MRA) の画質の向上に伴い, MRA による頭蓋内主要血管の狭窄性病変の診断が可能となってきた。現在のところまだいくつかの問題点は残されているが, 従来の脳血管撮影との一致率も高く, スクリーニングのレベルでは十分信頼しうる検査法である²⁾⁵⁾。

今回は, MRA により診断された頭蓋内血管狭窄性病変の症例を提示し, 読影上の留意点および現段階での精度と限界に関して解説を加えた。

撮像方法

使用機種は GE 社製 Signa Advantage (1.5T) で, スクリーニングには time-of-flight (TOF)-MRA (repetition time : TR 30.0 msec, echo time : TE 6.9 msec, flip angle : FA 15°) を用い, 必要に応じて phase-contrast (PC) 法 (TR 24.0 msec, TE 9.4 msec, FA 20°, velocity encoding : VENC 30 cm/sec) を追加している。すべての症例で maximum intensity projection (MIP) 法により画像処理を行っている。

読影方法

MRA は血流を視覚化したものであり、解剖学的な血管腔を捉えている contrast angiography とは本質的に異なっている。血流のわずかな変化を敏感に反映するため、狭窄性病変の診断に優れていると同時に、contrast angiography に比べ狭窄は強調されて描出される傾向があり、しばしば誤診の原因となる¹⁾²⁾⁷⁾。

そこで筆者らは、

- 1) MRA および同時に撮像された thin slice MRI により狭窄を認め、かつ
- 2) MRA で狭窄部より末梢の血流が低下しているか、明らかな左右差を認める場合に狭窄と診断した。なお正確な診断が困難なときには、
- 3) MIP 処理前の original data や PC-MRA を参考にして

いる。

症 例

左内頸動脈閉塞：血管の完全な閉塞では、一般に診断は容易であり、ウィルス輪を介する側副血行も比較的良好に描出されている (Fig. 1)。

両側中大脳動脈・右後大脳動脈軽度狭窄：脳血管撮影でも見落としてしまいそうな両側中大脳動脈および右後大脳動脈のわずかな狭窄を TOF-MRA collapse image は見事に捉えている。狭窄は脳血管撮影より強調されている (Fig. 2)。

Fig. 1 Complete occlusion of left internal carotid artery with collateral flow via anterior communicating artery (arrow).

右中大脳動脈狭窄(偽陽性)：MRA により右中大脳動脈狭窄と診断されている。しかし狭窄部より末梢の血流は低下してはいない。MRI ではごく軽度の狭窄を認める。MRI の flow void の方が conventional angiography 所見と一致している (Fig. 3)。

両側中大脳動脈高度狭窄：さらに高度な狭窄では、しばしば偽閉塞像を示すことが知られている。一般に狭窄部より末梢に現われる rephased flow により鑑別が可能であるといわれているが²⁾、本例のように鑑別の難しい症例も存在する。このような症例では PC-MRA が有用である。この症例は TOF-MRA では両側中大脳動脈閉塞と鑑別が難しいが、PC-MRA (VENC 30 cm/sec) で、rephased flow

Fig. 2 Mild stenosis of bilateral middle cerebral arteries and left posterior cerebral artery. These stenosis are exaggerated on MRA (arrows). a) TOF-MRA, b) right vertebral, c) right carotid and d) left carotid angiograms.

Fig. 3 Pseudo (or minimal) stenosis of right middle cerebral artery. TOF-MRA shows mild segmental stenosis of the right middle cerebral artery. Only minimal stenosis and slight increase in intensity of the arterial flow void are observed on proton density weighted image. Arterial flow void has better correlation with conventional angiograms than MRA.
a) TOF-MRA, b) MRI (proton density image), c) right carotid angiogram.

が出現しており、狭窄と診断された (Fig. 4)。

右中大脳動脈高度狭窄：MIP 処理前の original data も有用である。本例は MRA では閉塞しているように見えるが、original data により高度狭窄であることがわかる (Fig. 5)。

読影上の留意点

MRA により狭窄性病変を診断するにあたり、誤診を避けるための留意点を述べてみたい。

血流の影響：TOF-MRA は、中等度以上の血流に対して感受性が高く、正常血管の描出能は優れているが、低速の血流を描出することはできない。逆に血流が速くなりすぎても乱流が生じやすく、信号強度は低下する。また狭窄部位より末梢では、渦流や乱流を生じやすく (Fig. 6)、血流速度の低下とともに過大評価の原因となる²⁾⁷⁾。また血管分岐部では、flow separation による信号強度の低下がしばしば見られ (Fig. 7)、狭窄と間違いやすく注意が必要である²⁾。

周囲組織の影響：メトヘモグロ빈は T_1 が短いため飽和されにくく、MRA では high intensity を示す⁶⁾⁸⁾。狭窄性病変診断の場合、アテローム内の出血が high intensity を示し誤診の原因となる。逆にアテロームに沈着したカルシウムは局所磁場を乱し、信号強度を低下させることが知

られている⁶⁾。

MIP 処理の影響：一般に MRA 画像を構成する際 MIP 処理が行われている。層流は血管壁付近が最も遅く、さらに partial volume effect の影響も加わり、血管壁付近の信号強度は低下する。このため血管は一般に細く描出され、狭窄部位は強調される¹⁾²⁾⁶⁾。MIP 処理の過程で情報が失われていることがあり、original data を参考にしてはじめて診断が可能となることもある。

TOF-MRA vs PC-MRA

撮像原理は他稿ですでに詳しく述べられているため、ここでは狭窄性病変の診断に関し両者の違いを述べてみたい。

TOF-MRA は比較的早い血流に対し感受性が高い。頭蓋内主要血管の速度は 40~60 cm/sec であり³⁾、TOF 法は正常の血流に対し高い感受性を持っている。静止組織からのノイズを抑えるため、TR は 40 msec 程度に設定されているが、この条件下では、遅い血流からの信号は低下し描出することができない。

一方 PC 法では VENC を選択することにより遅い血流も描出することができる。高度狭窄のみならず血管壁付近の病変の描出も比較的良好である。また乱流や渦流などは偽陽性の原因となりやすいが、このような複合流の影響に対しても VENC を低く設定することによりある程度鑑別

Fig. 4 TOF- and PC-MRAs of severe stenosis of bilateral middle cerebral arteries. No rephased-flow is visualised on TOF-MRA (*arrows*) whereas PC-MRA shows rephased-flow (*arrow heads*) which enabled us correct diagnosis.

4-1 **a)** TOF-MRA, **b)** PC-MRA (VENC 10 cm/sec), **c)** PC-MRA (VENC 30 cm/sec) and **d)** PC-MRA (VENC 60 cm/sec)

4-2 **a)** right and **b)** left carotid angiograms

Fig. 5 Severe stenosis of right middle cerebral artery. The artery was diagnosed as occluded on PC-MRA, but the original data demonstrates severe stenosis. This misdiagnosis may be due to turbulent signal loss, which is amplified by MIP. **a)** PC-MRA, **b)** original data before MIP process.

Fig. 6 Eddy flow and turbulence. Sudden decrease in flow velocity often causes poststenotic eddy flow. At more distal region, turbulent flow is often observed. These complex flow causes over-estimation of the stenotic lesion.

が可能である。しかし VENC を低く設定すると折り返し現象により正常の血流の描出が低下するため、一次スクリーニングには好ましくない。著者らは一次スクリーニングには TOF 法を、さらに偽陽性の鑑別狭窄程度の評価など二次スクリーニングには PC 法を用いている。

MRA vs MRI

狭窄性病変は多くの場合 MRA により診断可能であるが MRA の TR は 30~40msec と短いため、遅い血流は飽和し、狭窄像の強調や偽閉塞の原因となることは指摘した。一方 MRI の proton density image や T₂ weighted image では、TR は 3,000 msec と長く、遅い血流や複合流もこの間に wash out され flow void として描出されている可能性がある。著者らは、狭窄の診断に際し必ず thin slice proton density image を参考に行っている。

精度と限界

内頸動脈や脳底動脈・中大脳動脈水平部などの頭蓋内主要血管の狭窄性病変は、MRA で十分診断可能である。特に高度の狭窄性病変が見逃されることはまずない。

診断の精度に際して MRA スクリーニング検討委員会(頭部 MRA の診断精度の研究に関する小委員会)より興味深い研究結果が報告されている⁵⁾。狭窄性病変 27 例を含む 131 症例の MRA を 5 名の読影者により blind にて読影試験を行い、脳血管撮影と診断結果を比較した。この結果症例毎の sensitivity が 77~96% (平均 84%)、specificity が 89~97% (平均 92%)、動脈毎の sensitivity は 74~86% (平均 78%)、specificity は 97~99% (平均 98%) とかなり良好なものであった。今回の検討結果からは、MRA による狭窄性病変の診断はかなり信頼性の高いものといえるが 5 名の読影者はみな MRA に精通したメンバーであることを考慮する必要があるかもしれない。Litt ら⁶⁾も読影者の経験により診断率が異なることを指摘している。著者らも

Fig. 7 Flow separation. In the arterial bifurcation, flow separation is often observed and the stagnant blood flow becomes saturated and appears dark.

Fig. 8 Aliasing. a) normal laminar flow, b) MIP causes the apparent reduction in vessel caliber. c) On PC-MRA with low VENC, signal intensity of the central portion decreases due to aliasing phenomenon.

正確な診断のためにはある程度トレーニングが必要であろうと考えている。

狭窄性病変の過大評価に関して、青樹らは内頸動脈・中大脳動脈狭窄 131 病変を脳血管撮影と比較検討している²⁾。50%以下の mild stenosis では 24%が過大評価されていたのに対し、50~75%の moderate stenosis では 40%、75%以上の severe stenosis では 73%が過大評価されていた。

主幹動脈閉塞後の側副血行に関しても MRA の有用性が報告されている。Furst ら⁴⁾は内頸動脈の高度狭窄または閉塞例 45 例 (58 病変) に関し、側副血行の有無を脳血管撮影、MRA, transcranial doppler (TCD) により検討している。MRA では脳血管撮影で診断された側副血行の 95%以上が描出されており、TCD より良好であった。しかし眼動脈を介する側副血行に関しては、TCD の方が診断率が高く、ウィルス輪を介するものには MRA が、外頸動脈からのものには TCD が優れていると述べている。

ま と め

MRA による頭蓋内主要血管狭窄性病変の症例を提示し読影上の留意点および現段階での精度と限界に関して解説を加えた。

MRA は血流のわずかな変化を敏感に反映するため、狭窄性病変の診断に優れていると同時に、血流や周囲組織・MIP 処理などの影響を受けやすく、従来の脳血管撮影に比べ狭窄は強調されて描出される傾向がある。正確な診断のためには、MRA の特徴を理解するとともに TOF-MRA のみならず PC-MRA・MRI 上の flow void・MIP 処理前の original data などが有用である。

MRA スクリーニング検討委員会 (頭部 MRA の診断精度に関する小委員会) の検討結果を熊本大学放射線科 興梠征典先生よりお借りいたしました。この場を借りて感謝いたします。また本研究に協力いただいた日下医院 新倉幸夫氏に、心より感謝いたします。

文 献

- 1) Anderson CM, Saloner D, Tsuruda JS, *et al*: Artifacts in maximum-intensity-projection display of MR angiograms. *AJR* **154**: 623-629, 1990
- 2) 青樹 毅, 宝金清博, 上山博康, ほか: MR angiography による頭蓋内閉塞性血管病変の検討および EC/IC バイパス術後の評価. *脳と神経* **45**: 57-62, 1993
- 3) DeWitt LD, Weschler LR: Transcranial doppler. *Stroke* **19**: 915-921, 1988
- 4) Furst G, Steinmetz H, Fischer H, *et al*: Selective MR angiography and intracranial collateral blood flow. *J Comput Assist Tomogr* **17**: 178-183, 1993
- 5) 興梠征典, 高橋睦正, 古瀬和寛, ほか: 脳動脈瘤と閉塞性脳血管病変のスクリーニングにおける頭部 MRA における有用性の検討. *日磁医誌* **13**: 67, 1993 (suppl.)
- 6) Litt AW, Eidelman EM, Pinto RS, *et al*: Diagnosis of carotid artery stenosis: Comparison of 2DFT Time-of-flight MR angiography with contrast angiography in 50 patients. *AJNR* **12**: 149-154, 1991
- 7) Pernicone JR, Siebert JE, Potchen EJ, *et al*: Three-dimensional phase-contrast MR angiography in the head and neck: Preliminary report. *AJNR* **11**: 475-466, 1990
- 8) Yousem DM, Balakrishnan J, Debrun GM, *et al*: Hyperintense thrombus on GRASS MR images: Potential pitfall in flow evaluation. *AJNR* **11**: 51-58, 1990