



Title	MRAによる頭蓋内動脈の狭窄性病変の評価-turbo MRAとconventional MRAの比較-
Author(s)	小南, 公人; 山田, 直明; 今北, 哲 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1999, 59(11), p. 504-509
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17470
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

MRAによる頭蓋内動脈の狭窄性病変の評価 - turbo MRAとconventional MRAの比較 -

小南 公人* 山田 直明 今北 哲 内田 礼子
栗林 幸夫 木村 晃二 高宮 誠

国立循環器病センター放射線診療部

*現 慶應義塾大学病院放射線診断科

MR Angiography of Steno-occlusive Lesions of Intracranial Arteries: A comparative study between turbo MRA and conventional MRA

Masato Kominami, Naoaki Yamada,
Satoshi Imakita, Reiko Uchida,
Sachio Kuribayashi, Kohji Kimura
and Makoto Takamiya

【Purpose】To compare the quality and diagnostic accuracy of images of intracranial steno-occlusive lesions obtained by conventional MRA and turbo MRA reconstructed using the zero-filled interpolation technique in the slice-select direction.

【Materials and Methods】Eighteen patients with suspected steno-occlusive lesions of the intracranial arteries were studied with two types of three-dimensional time-of-flight angiography and conventional digital subtraction angiography. In total, 45 steno-occlusive lesions were quantitatively measured using calipers and correlated with DSA stenosis. A phantom that simulated vessels with stenosis was also imaged using the two types of MRA under the same conditions as those employed in the clinical study.

【Results】Compared with conventional MRA, turbo MRA reduced the jaggedness of vessels and offered appearances more similar to those of DSA in the antero-posterior and lateral views. The severity of stenosis was classified into five grades based on the percentage of occlusion: not significant (0-24%), mild (25-49%), moderate (50-74%), severe (75-99%), and occlusive (100%). Neither turbo MRA nor conventional MRA showed any discrepancy from DSA above grade-1 stenosis.

【Conclusion】The advantage of turbo MRA is its ability to reduce the jaggedness of vessels on conventional MRA, and to simplify the recognition of vessel contours without prolonging acquisition time. Turbo MRA and conventional MRA have equally high diagnostic accuracy for steno-occlusive lesions.

Research Code No. : 209.2

Key words : MR angiography, Interpolation, Brain, Stenosis, Ischemia

Received Dec. 16, 1998; revision accepted May 24, 1999

Department of Radiology, National Cardiovascular Center

Present address: Department of Diagnostic Radiology, School of Medicine, Keio University Hospital

はじめに

脳動脈のTOF-MRA (time of flight magnetic resonance angiography)の臨床的有用性は確立されつつある。特に最近では部分フーリエ法による画質の向上が図られている。部分フーリエ法はZFI (zero-filled inter-polation)とも呼ばれ、k空間の中心付近のデータを収集し残りを0で埋める方法である。

これによって空間分解能をある程度犠牲にしつつ撮像時間を短縮することが可能であるが、一方、この方法により撮像時間を延長せずにコントラストを向上させることも可能である¹⁾。しかし、部分フーリエ法の臨床的有用性を検討した文献はほとんどない。最近われわれは、部分フーリエ法を応用した撮像法: turbo MRA (以下、t-MRA)を臨床使用する機会を得たので、ファントム実験を行うとともに、血管造影(DSA)を基準にして従来法MRA: conventional MRA (以下、c-MRA)とt-MRAの画質および狭窄度評価能を比較検討した。

対象と方法

対象

ファントムはアクリル板に5本の狭窄血管を模した空洞を作成し、Gd-DTPA水溶液(2.5mmole/l)を充填したものをを用いた。空洞の直径(血管径)は4mmであり、それぞれ中央部に狭窄(直径2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.5mm)を有した。臨床例は1997年10月から1998年8月の間に頭蓋内動脈の狭窄、または閉塞が疑われ当センターで頭部のt-MRAとc-MRAが行われた患者のうちDSAと比較し得た18症例である。DSAはすべての患者で両側頸動脈および椎骨脳底動脈撮影が行われた。DSAとMRAの施行日の間隔は6カ月以内で、平均22.1±43.1日であった。患者の年齢は50歳から72歳(平均58.1歳)で、男性14例、女性4例であった。

方法

使用機種はシーメンス社製MAGNETOM Vision (1.5T)で、用いたシークエンスは3D FISP (fast imaging with steady state precession)であり、t-MRA・c-MRAともにMTC

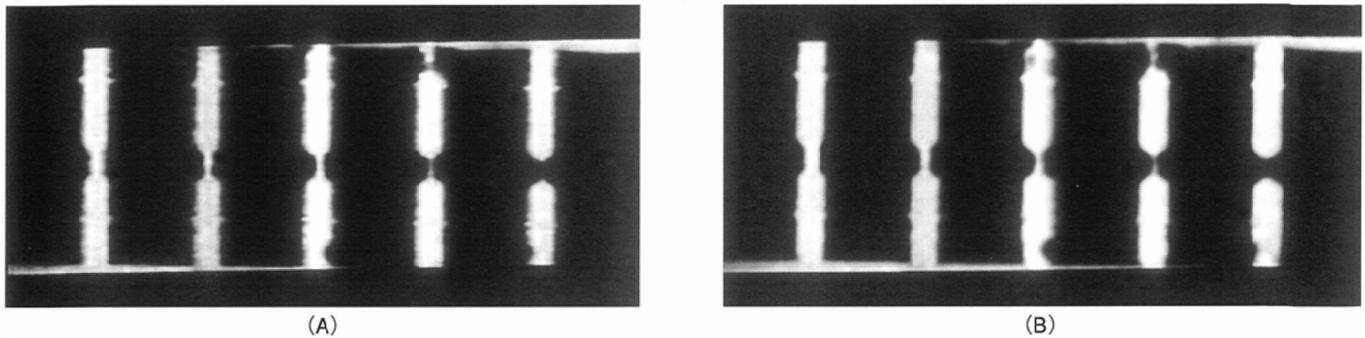


Fig. 1 Phantom images.

A: c-MRA, B: t-MRA. Diameters of the five vessels were 4 mm with segmental stenosis of 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, and 0.5 mm at each central portion. Slice-selective orientation was horizontal; readout orientation was vertical. The vessels had a smooth appearance on t-MRA, and a jagged, heterogeneous appearance on c-MRA.

(magnetization transfer contrast)^{2),3)}とTONE (tilted optimized nonsaturating ex-citation)³⁾およびMOTSA (multiple overlapping thin slab acquisition)^{4),5)}を併用した。撮像パラメータのうちflip angle (25°), スラブ数(3), スラブ厚(32mm), partition(32), FOV(150mm×200mm)はt-MRAとc-MRAで同じにした。データ収集点数(位相エンコード×周波数エンコード)はt-MRAが160×320, c-MRAが192×512で、スライス厚はt-MRA・c-MRAとも1.0mmであった。データ収集点数やFOVから計算されたボクセルサイズはt-MRAが0.94mm×0.63mm×1.0mm, c-MRAは0.78mm×0.39mm×1.0mmであった。ただし、t-MRAにおいては部分フーリエ法を用い、周波数エンコード方向のマトリックスを512に補完するとともに、スライス方向に0.5mmごとに画像補完を行った。したがって、再構成された画像の見かけのボクセルサイズはt-MRAについては、0.94mm×0.39mm×0.5mmとなった。またTR(ms)/TE(ms)/excitationはt-MRAで35/7.6/1, c-MRAで39/7.0/1であった。撮像時間はt-MRAが8分59秒, c-MRAが12分0秒であった。得られた画像はt-MRAとc-MRAとで同じVOI(volume of interest)を用い、MIP(maximum intensity projection)で処理した。

ファントム実験ではt-MRAおよびc-MRAそれぞれにおいて、血管(空洞)に平行な方向と垂直な方向にそれぞれ位相エンコード、周波数エンコード方向、スライス方向のいずれか2方向を割り当て、計6通りの撮像を行った。MIPによる投影は正面(5本の血管が並んでみえる方向)で行った。

臨床例では、スラブはOM(orbito-meatal)lineに平行で、左右が位相エンコード、前後が周波数エンコード方向とした。MIPの投影方向は左右方向の軸および上下方向の軸の周りにそれぞれ30°おきとした。必要に応じてtarget MIP(着目する動脈の周囲にVOIを局限したMIP)を作成した。

検討項目

臨床例では狭窄病変の狭窄度、狭窄病変のDSAとの視覚的類似性、および末梢血管の描出能について放射線科医2名(Y.N, K.M)の合意のもとに検討した。DSAおよび2種類のMRAから全例で、主幹動脈(内頸動脈, 中大脳動脈水平

部, 椎骨脳底動脈)の狭窄部位を視覚的に拾い上げ、狭窄度を評価した。狭窄度は病変部より中枢側の正常血管を基準として実測で評価した。計測はDSAとMRAとで同じ投影方向(正面または側面)かつ同じ部位で行った。DSAとMRAにおける血管境界は通常の診断に用いるウィンドウで表示して視覚的に判定した。病変部のDSAとの視覚的類似性については、DSAと2種類のMRAを並べて血管壁が平滑かつ明瞭であることを基準として「t-MRAの方が優れる」「c-MRAの方が優れる」「両者同等」の3種で視覚的に評価した。末梢血管の描出能については、前・中・後大脳動脈に関してどちらがより末梢まで血管の存在を認識できるかどうかという観点から、前後・側面方向および上下方向で2種類のMRAを並べて比較し、1本でもより末梢まで認識できる血管があるほうを優れているとした。

結果

ファントム実験において、スライス方向が血管の走行に対して垂直な場合は、t-MRAの方がc-MRAより境界が明瞭かつ平滑であり、ファントムに近い形状であった(Fig. 1)。周波数エンコードまたは位相エンコード方向が血管の走行に対して垂直な場合は著差がなかった。いずれのシーケンスでも1mm以上の径の狭窄部はほぼ正しく描出されたが、0.5mm径の狭窄部位は描出されなかった。

臨床例においてDSAまたはMRAで1症例に最低1カ所、合計45カ所に狭窄あるいは閉塞が疑われた。内訳は内頸動脈28カ所, 中大脳動脈12カ所, 椎骨脳底動脈5カ所であった。これらを実測した結果DSAと2種類のMRAの狭窄度はよく相関した。有意差はないもののt-MRAの方がc-MRAよりも、少し高い相関を得た(Fig. 2)。狭窄度を0~24%(not significant), 25~49%(mild), 50~74%(moderate), 75~99%(severe), 100%(occlusive)の5群にわけ、MRAにおいて血管腔が切れてみえるものの、下流が描出されることから閉塞していないと考えられる部分は99%狭窄として分類すると、Table 1のような結果となり、DSAとMRAの差が2段階以上になる(たとえば、mildをsevereと判定する)ことは-

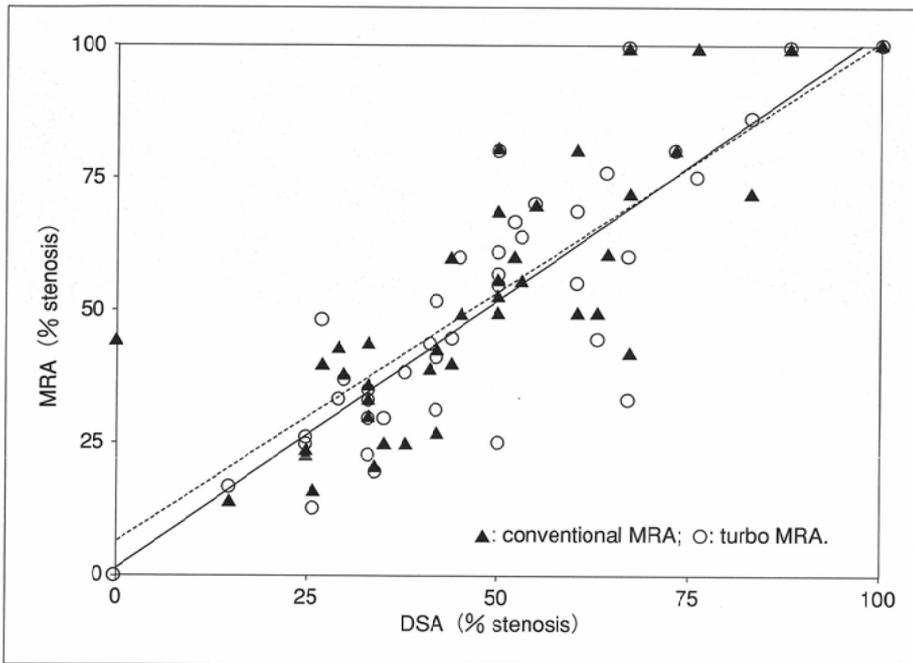


Fig. 2 Correlation of % stenosis between MRA and DSA. The linear regression equation and correlation coefficients were similar between the two kinds of MRA. $y = 1.02x + 1.07$ ($R^2 = 0.79$) for turbo MRA (solid line) $y = 0.94x + 6.70$ ($R^2 = 0.73$) for conventional MRA (dashed line)

Table 1 Correlation of stenosis between DSA and MRA

Severity of stenosis	NS 0-24%	Mild 25-49%	Moderate 50-74%	Severe 75-99%	Occlusive 100%
DSA	2	20	16	3	4
Turbo MRA					
NS	2	3	0	0	0
Mild	0	15	3	0	0
Moderate	0	2	9	0	0
Severe	0	0	4	3	0
Occlusive	0	0	0	0	4
Conventional MRA					
NS	1	4	0	0	0
Mild	1	14	1	0	0
Moderate	0	2	11	1	0
Severe	0	0	4	2	0
Occlusive	0	0	0	0	4

NS (not significant): 0-24% stenosis, mild: 25-49%, moderate: 50-74%, severe: 75-99%, occlusive: 100% stenosis with no visualization of the downstream artery.

MRA, c-MRAともなかった(Table 1). MRAにおける狭窄度がDSAと同じ群にあれば正診, 異なる群にあれば誤診とすると, t-MRAの正診率は73%, c-MRAの正診率は71%であった. また, 狭窄度50%以上を有意, 50%未満を非有意とすると, sensitivity, specificityはt-MRAでそれぞれ87.0%, 91%であり, c-MRAで95.7%, 91%であった. ただしC3-4の狭窄によりその末梢(C2-3)まで狭窄してみえたものが2例あった(Fig. 3). MRAとDSAの視覚的類似性は, 全例でt-MRAの方がc-MRAよりも血管の境界が平滑かつ明瞭で, DSAに近い画像であった(Fig. 3, 4A).

末梢血管の描出能は対象18例中, 前後・側面方向の像においては, t-MRAの方が優れていたのは2例, c-MRAと同等であったのが16例であった(Fig. 4, 5). 上下方向の像では

全例同等であった(Fig. 6).

考 察

頭蓋内動脈の狭窄または閉塞を診断する目的での血管撮影は, できるだけ非侵襲的に行うことが望まれている. 実際, 既に当センターにおける診断目的のDSAは大幅に減少しており, 今後もこの傾向は続くものと思われる. このことからMRAによる狭窄度の信頼性を評価することは臨床的に大きな意義がある.

従来MRAでは狭窄を過大評価するといわれてきた⁶⁾⁻⁹⁾. Yamadaら⁹⁾は, 狭窄性病変に対するMRAのsensitivityは高いものの, 空間分解能が血管造影より低いために狭窄を過大

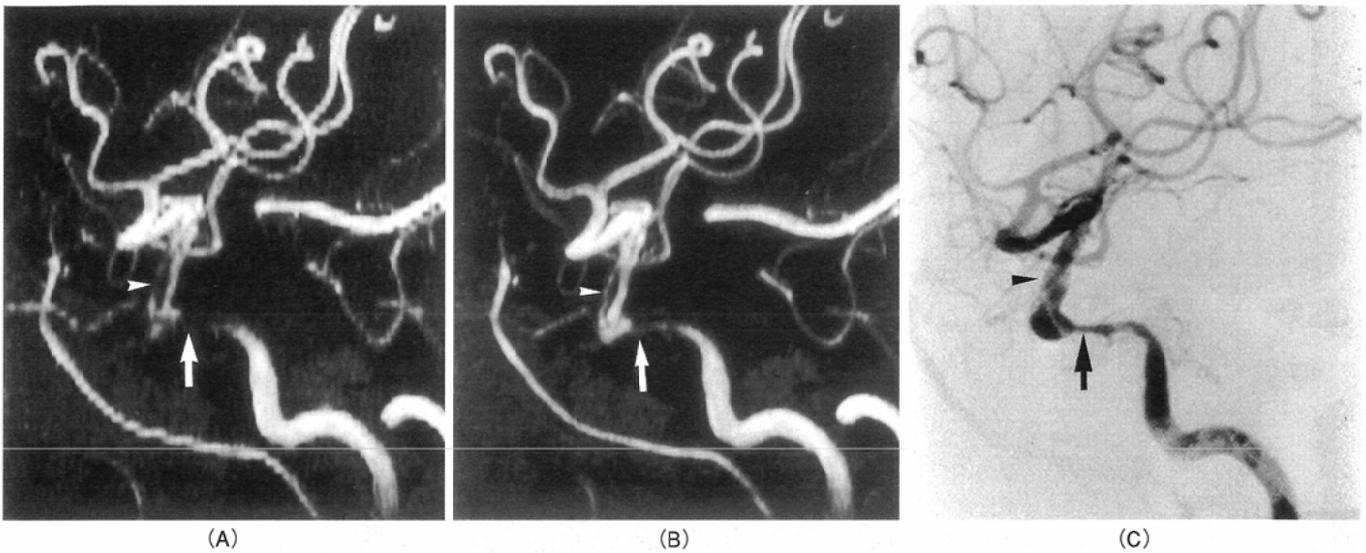


Fig. 3 Lateral images of severe stenosis at C4. A 50-year-old female. A: conventional MRA, B: turbo MRA, C: DSA. t-MRA presented a more similar appearance to DSA than c-MRA. Measured stenosis at C4 (arrow) was 76% (DSA), 75% (t-MRA), and 99% (c-MRA). With both types of MRA, C3-4 had a double-barrel appearance, while DSA presented an almost normal appearance (arrowhead).

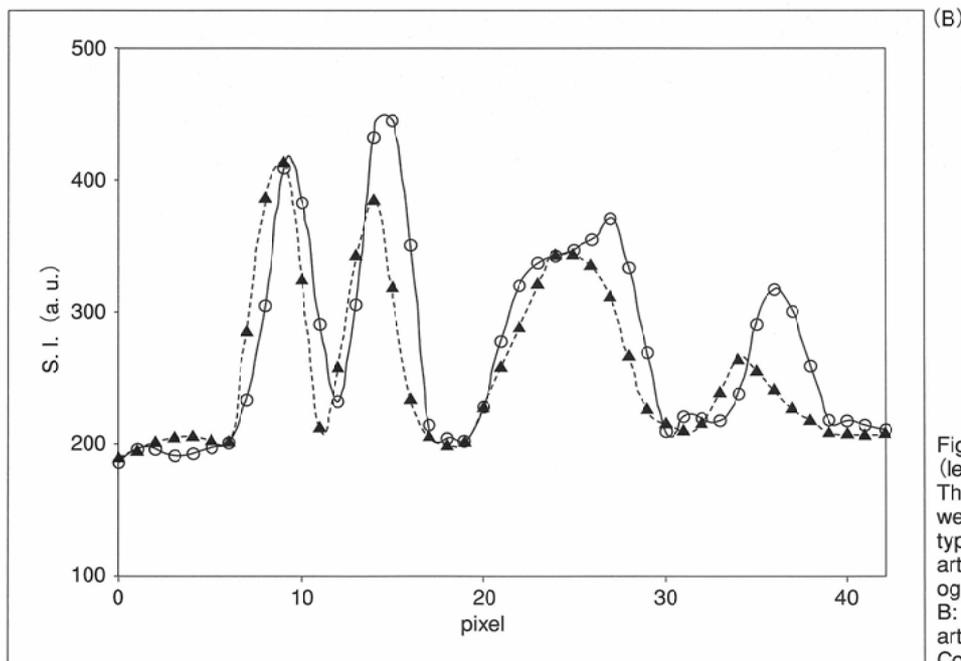
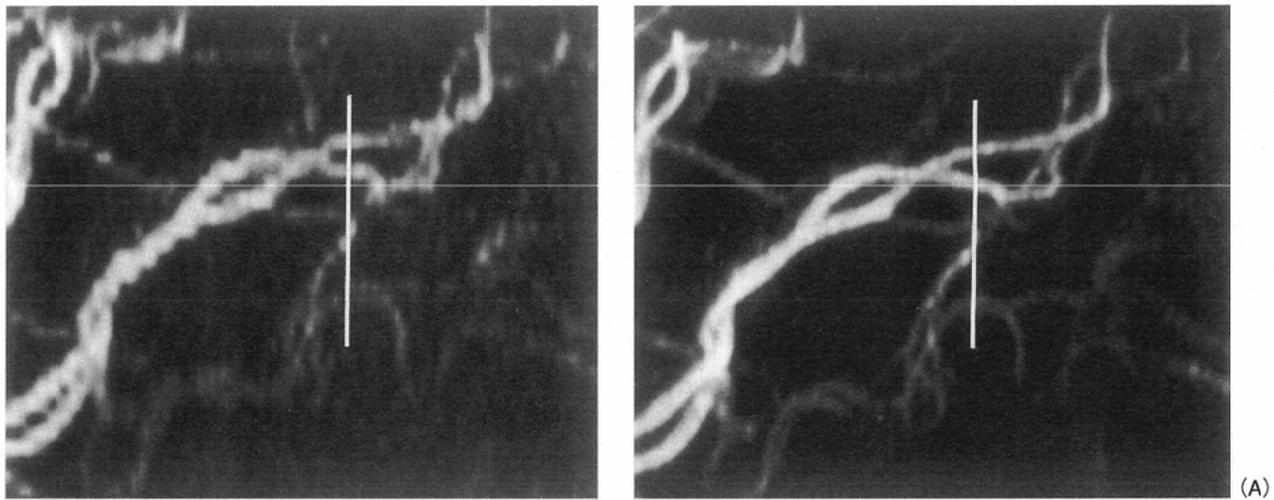


Fig. 4 A: Typical lateral images of c-MRA (left) and t-MRA (right). A 72-year-old male. The peripheral branches of PCA and SCA were visualized almost equally with the two types of MRA, but in t-MRA, the borders of arteries were smoother and more easily recognizable. B: Profiles of signal intensity of peripheral arteries along the indicated line (white bar). Contrast was greater with t-MRA than c-MRA.

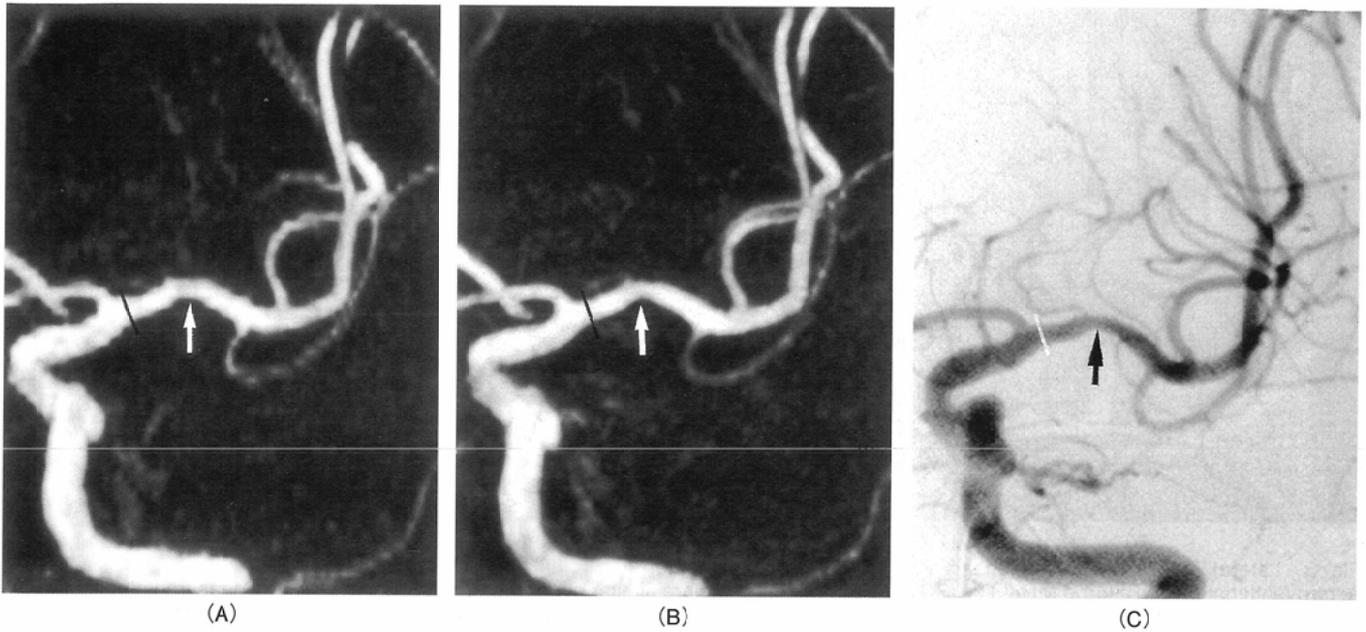


Fig. 5 Antero-posterior images of left M1 stenosis. A 57-year-old male. A: c-MRA; B: t-MRA; C: DSA. Stenosis (arrow) was revealed as 44% (c-MRA), 23% (t-MRA), and 33% (DSA) compared with the normal caliber (line).

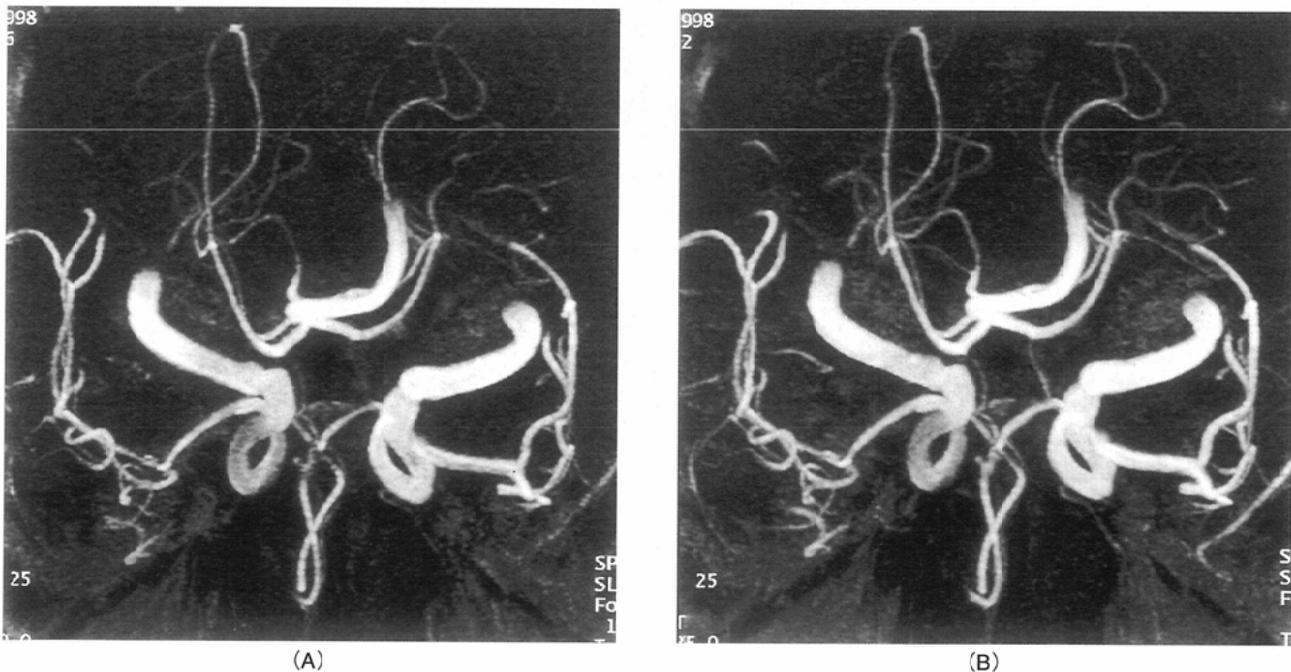


Fig. 6 Caudo-cranial images of c-MRA (A) and t-MRA (B). A 67-year-old male. The two images have almost the same quality. In t-MRA, peripheral arteries in the antero-posterior direction appear slightly thicker than on c-MRA, because the phase encoding matrix was 160 with t-MRA and 192 with c-MRA.

評価してしまうとしている。また、Korogiら⁶⁻⁷⁾はMRA (conventional) と血管造影とをROC (receiver operating analysis) により定性的に比較して、MRAの診断精度は狭窄度50%未満の病変には高いものの、50%以上の病変に対しては信頼性は低いとしている。その原因は、狭窄部や血管辺縁などの信号が弱い部分が関心領域内での最大の背景信号により隠されてしまうことにあり、元画像を参照することで隠された血液信号をとらえ、狭窄の過大評価を減少させ得ると報告している。

一方、今回の研究結果では狭窄度の評価においてt-MRAはc-MRAと同等以上であり、また両者ともDSAに対して著しく過大評価する傾向はなかった (Table 1)。MIP処理において関心領域の背景信号を落とすことは、小さな関心領域を用いたMIP (target MIP) でも可能であり、今回われわれの研究では必要に応じてtarget MIPを用いた。また、元画像の血流信号と背景のコントラストが十分大きければ、MIP処理しても血流信号が隠されることはないはずである。コントラストにはボクセルサイズ、TE (脂肪成分と水成分がop-

posed phase)になっているか否か), 信号雑音比, その他多くのパラメータが関与しているため単純な比較はできないものの, 今回の研究では以前の論文で用いられたMRAより元画像のコントラストが向上していたと考えられる. ただし, 今回のわれわれの研究でも内頸動脈のC3-4部分の狭窄病変に続くC2の正常部分が細くみえた例が2例あった(Fig. 3). これはC3-4部分の狭窄のためにそれより末梢の流速に差が生じ, C2部分のin-flow効果が部分的に低下して狭窄様にみえたものと思われる. 今回はこれらを擬陽性としては数えなかったが, 強い狭窄部の末梢は狭窄してみえる場合があり, 読影に注意を要する.

頭部TOF-MRAはMTC^{2),3)}, TONE³⁾, MOTSA^{4),5)}を用いることで画質が向上した. 最近では部分フーリエ法により撮像時間の短縮または画質の向上が図られている. 部分フーリエ法は, k空間において画像のコントラストに影響する中心付近の成分, すなわち低周波数成分のデータを収集し, 周囲の高周波数成分を0で埋める方法である¹⁰⁾. これによってデータ収集時間を短縮するか, あるいはコントラストの向上が期待できる¹⁾. 今回われわれが用いたt-MRAの撮像パラメータでは, 撮像時間を少し短縮するとともに血管を平滑に描出し認識しやすくなることができた. 主幹部血管の狭窄度の評価や末梢血管の描出においてt-MRAとc-MRAの間で大差はなかったが, 画質はt-MRAの方が優れていた.

たとえば, Fig. 4に示したように, 後大脳動脈末梢において, 正面像や側面像でc-MRAよりt-MRAの方がコントラストが明瞭で血管の認識が容易であった. 一方, in planeのマトリックスサイズは今回用いたt-MRAではc-MRAより小さく, 空間分解能は理論上若干低下するが, 診断上支障はなかった(Fig. 6). 今回用いたc-MRAにおいても周波数エンコード方向のデータ収集は非対称に行われており, 同方向の

分解能はFOV(200mm)を単純に512で割った数字より劣る. よって周波数エンコード方向の分解能において, t-MRAはc-MRAより必ずしも劣るものではないと思われる. 50%狭窄を境界としたときのsensitivityは, t-MRAの方がc-MRAよりやや低い数字であったが, DSAとの相関はt-MRAの方がむしろ高かった(Fig. 2)ので, t-MRAの狭窄度評価能はc-MRAとほぼ同等以上と考えられる. いずれにせよ, t-MRAではスライス方向に補完を行ったことで末梢血管のコントラスト分解能が向上して認識しやすくなったといえる. ただし, 今回設定した撮像条件のうち, TR/TEはt-MRAとc-MRAでは異なっており, 厳密な意味での比較研究ではない点に留意する必要がある. またt-MRAにおけるフロー補正の改良もコントラストの向上に寄与している可能性がある.

本研究ではDSAと同じ投影方向で定量的な評価を行ったが, MRAの多方向からの投影像によりDSAでは分からない狭窄をとらえる場合があり, 近い将来MRAがDSAに置き換わる可能性がある. 実際今回の症例の中で狭窄度評価の対象にしなかったが, MRA上狭窄が認められたもののDSAでは血管影の重なりのため判定できなかった例が1例あった.

結 論

t-MRAとc-MRAのMIP像を比較検討した. t-MRAはc-MRAより短い撮像時間で血管の境界が平滑かつ明瞭に描出され, 狭窄部および末梢血管の視覚的な認識が容易となった. t-MRAは撮像時間を延長せず画質が向上し, かつ狭窄度評価においてもc-MRAと同等以上の精度を有するので, 臨床的に有用である.

(本文の要旨は第258回関西地方会で発表した.)

文 献

- 1) Du YP, Parker DL, Davis WL, et al: Reduction of partial-volume artifacts with zero-filled interpolation in three-dimensional MR angiography. *J Magn Reson Imaging* 4: 733-741, 1994
- 2) Edelman RR, Ahn SS, Chien D, et al: Improved time-of-flight MR angiography of the brain with magnetization transfer contrast. *Radiology* 184: 395-399, 1992
- 3) Atkinson D, Zawadzki MB, Gillan G, et al: Improved MR angiography: Magnetization transfer suppression with variable flip angle excitation and increased resolution. *Radiology* 190: 890-894, 1994
- 4) Blatter DD, Parker DL, Ahn SS, et al: Cerebral MR angiography with multiple overlapping thin slab acquisition. *Radiology* 183: 379-389, 1992
- 5) Davis WL, Blatter DD, Harnsberger HR, et al: Intracranial MR angiography: Comparison of single-volume three dimensional time-of-flight and multiple overlapping thin slab acquisition techniques. *AJR* 163: 915-919, 1994
- 6) Korogi Y, Takahashi M, Mabuchi N, et al: Intracranial vascular stenosis and occlusion: Diagnostic accuracy of three-dimensional, fourier transform, time-of-flight MR angiography. *Radiology* 193: 187-193, 1994
- 7) Korogi Y, Takahashi M, Nakagawa T, et al: Intracranial vascular stenosis and occlusion: MR angiographic findings. *AJNR* 18: 135-143, 1997
- 8) Anderson CM, Lee RE, Levin DL, et al: Measurement of internal carotid artery stenosis from source MR angiograms. *Radiology* 193: 219-226, 1994
- 9) Yamada I, Suzuki S, Matsushima Y: Moyamoya disease: Comparison of angiography and MR imaging versus conventional angiography. *Radiology* 196: 211-218, 1995
- 10) Koresec FR, Frayne R, Grist TM, et al: Time-resolved contrast-enhanced 3D MR angiography. *Magn Reson Med* 36: 345-351, 1996