



Title	未破裂脳動脈瘤-Magnetization Transfer Contrast (MTC) およびTilted Optimized Nonsaturating Excitation (TONE) を併用した高分解能 MR Angiography による評価-
Author(s)	門田, 強; 細見, 尚弘; 黒田, 知純 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1997, 57(13), p. 853-859
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16406
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

未破裂脳動脈瘤

- Magnetization Transfer Contrast (MTC) および Tilted Optimized Nonsaturating Excitation (TONE) を併用した高分解能 MR Angiography による評価 -

門田 強¹⁾ 細見 尚弘¹⁾ 黒田 知純¹⁾ 中川 秀光²⁾

1) 大阪府立成人病センター放射線診断科 2) 同脳神経外科

Unruptured Intracranial Aneurysms: Evaluation with high-resolution MR angiography with magnetization transfer contrast (MTC) and tilted optimized nonsaturating excitation (TONE)

Tsuyoshi Kadota¹⁾, Naohiro Hosomi¹⁾,
Chikazumi Kuroda¹⁾ and Hidemitsu Nakagawa²⁾

Forty-one patients with suspected intracranial aneurysms were evaluated by conventional three-dimensional (3D) time-of-flight (TOF) MR angiography (MRA) or high-resolution 3D TOF MRA with magnetization transfer contrast (MTC) and tilted optimized nonsaturating excitation (TONE). Correlative study was done with conventional angiography in all patients. 3D TOF MRA detected 30 of 36 aneurysms depicted at conventional angiography. The overall rate of sensitivity for the detection of aneurysms was 83%. Unruptured aneurysms were unlikely to occur in the anterior communicating artery (3%), but were frequently found at the bifurcation of the middle cerebral artery (33%). Conventional MRA showed 7 of 9 aneurysms demonstrated at catheter angiography. The rate of sensitivity of conventional MRA for aneurysms smaller than 5 mm and greater than or equal to 5 mm were 0% and 100%, respectively. High resolution MRA with MTC and TONE demonstrated 23 of 27 aneurysms detected by catheter angiography. Sensitivities of high resolution MRA with MTC and TONE for aneurysms smaller than 5 mm and greater than or equal to 5 mm were 71% and 100%, respectively. Our results indicate that high-resolution 3D TOF MRA with MTC and TONE can provide precise, accurate depiction of intracranial aneurysms larger than or equal to 5 mm.

Research Code No. : 503.9

Key words : MR angiography, Cerebral aneurysm

Received Jul. 4, 1997; revision accepted Aug. 29, 1997

- 1) Department of Diagnostic Radiology, Osaka Medical Center for Cancer and Cardiovascular Diseases
- 2) Department of Neurosurgery, Osaka Medical Center for Cancer and Cardiovascular Diseases

はじめに

脳動脈瘤の診断は従来脳血管撮影により行われてきたが、カテーテル操作が困難であったり、時には致命的な合併症を引き起こすこともあり、未破裂脳動脈瘤のscreening検査としては適したものではない。最近のMagnetic Resonance (MR)の技術的な進歩がもたらした侵襲のないMR Angiography (MRA)により脳動脈瘤が見つかる頻度が高くなってきた。未破裂脳動脈瘤は破裂するとくも膜下出血を引き起こし、成人での高率な突然死の原因となっている。脳動脈瘤を破裂する前に非侵襲的に診断できれば、致死率の高い大部分のくも膜下出血の発症を予防することが可能となり、その臨床的な意義は大きい。MRAは未破裂脳動脈瘤の非侵襲的な検査法として最も優れていると考えられるが、従来の報告では小脳動脈瘤の診断の精度はかならずしも高くはなかった¹⁾⁻⁵⁾。今回、われわれはMTC (Magnetization Transfer Contrast) およびTONE (Tilted Optimized Nonsaturating Excitation) を併用した高分解能MRAを従来のMRAと対比しながら未破裂脳動脈瘤に対する診断能を検討した。

対象および方法

対象は未破裂脳動脈瘤が疑われ、当施設にてMRAを施行した41症例(男性18例, 女性23例, 年齢25-82歳, 平均59.8歳)で、39例にMRA施行後10日以内に、また2例にMRA施行前1週間以内に通常の脳血管撮影が施行され、32例にMRA施行後2週間以内に手術が行われている。MRAを施行した症例に関しては、MRIにて動脈瘤が疑われたもの11例、CTにて動脈瘤が疑われたもの10例、他院MRAにて動脈瘤が疑われたもの8例、脳血管撮影で動脈瘤が疑われたもの1例、残りの11例は眼症状(眼瞼下垂7例, 複視1例, 視力障害1例, 視野障害1例, 眼球運動障害1例)から動脈瘤が疑われたものである。使用機種はMagnetom H15で、頭部用CP型コイルを使用した。MRAの施行にあたっては、まず全脳をスピンエコー(SE)法のT1強調(500/15/2 (TR/TE/excitations)), およびT2強調(3000/90/1, 5000/103/2)横断像

Table 1 Unruptured intracranial aneurysms detected by conventional MR angiography

Patient	Age (y) /Sex	Modality for Study Entry	Site of Aneurysm	Size (mm)	Surgery
1.	67/M	MRI	R MCA bifurcation	7	clipping
2.	59/M	MRI	R MCA bifurcation	8	clipping
3.	51/F	CT	L MCA bifurcation	11	clipping
4.	70/M	MRI	R IC C1	12	(-)
5.	72/F	CT	Basilar tip	8	coating
6.	68/F	CT	L IC-PC	5	clipping
7.	64/F	MRI	R MCA bifurcation	10	clipping, coating

MCA = middle cerebral artery, IC = internal carotid artery, IC-PC = internal carotid-posterior communicating bifurcation

で撮像し、これらにより脳底部主幹動脈と疑われる病巣部との位置関係を把握し、MRAで脳底部ウィルス動脈輪近傍を28mmないし56mm厚の横断スラブを用いて32ないし64partitionで撮像した。パルス系列としてFISP (Fast Imaging with Steady-state Precession)法を用い、1990年6月から1992年11月の間にMRAを施行した11症例はTR = 35-38 msec, TE = 6.8msec, Flip angle = 20°, FOV = 224mm, matrix size = 256 × 256 (voxel size = 0.875 × 0.875 × 0.875 mm³)の従来のMRAにより、1993年1月から1995年9月の間にMRAを施行した30症例はTR = 40-43msec, FOV = 224mm, matrix size = 512 × 256 (voxel size = 0.875 × 0.875 × 0.4375mm³)で、Gauss型 off-resonance パルスを用いたMTCおよびFlip angleの中央値が20°で、流入側の13.3°から流出側の26.7°に直線的に変化するTONEを併用した高分解能MRAによった。MRAの撮像時間は28mm厚スラブに対して4.8-5.9分、56mm厚スラブに対して9.6-11.7分である。

得られた3次元画像データをMaximum Intensity Projection (MIP)処理により7.5°間隔で前後軸の回りに回転した15画像および左右軸の回りに回転した10画像の投影像を再構成した。これらのMIP処理画像を平行立体視により、通常の脳血管撮影を対照としてMRAが先行した39例はprospectiveかつblindに、通常の脳血管撮影が先行した2例はretrospectiveかつnonblindに著者の一人(T.K.)が画像評価を行なった。

結 果

脳血管撮影で41症例中32症例に36個の動脈瘤が描出され、単発性動脈瘤29例、多発性3例7動脈瘤であった。脳血管撮影をgolden standardとして、MRAでは有病正診28例30動脈瘤、無病正診8例8動脈瘤、偽陽性1例1動脈瘤、偽陰性6例6動脈瘤(動脈瘤の検出に対するaccuracy 84%, sensitivity 83%, specificity 89%)であった。多発性2例においてそれぞれ1動脈瘤が偽陰性であった。MRAでの検索範囲から外れ、脳血管撮影にて検出された動脈瘤はなかった。有病正診30動脈瘤の直径は、4mm以下の小動脈瘤が

10個、5-11mmの中動脈瘤が18個、12-24mmの大動脈瘤が2個であり、巨大動脈瘤はなく、その平均直径は6.6mmであった。脳動脈瘤の存在部位は内頸動脈13個{後交通動脈起始部9個(30%)、海綿静脈洞部2個(6%)、眼動脈起始部1個(3%)、分岐部1個(3%)}、中大脳動脈分岐部11個(37%)、前大脳動脈3個{前交通動脈1個(3%)、近位部2個(6%)}、後交通動脈2個(6%)、脳底動脈遠位端1個(3%)であった。偽陰性および偽陽性は7例あった。偽陰性6動脈瘤の存在部位は5個が内頸動脈(後交通動脈起始部4個、海綿静脈洞部1個)、1個が中大脳動脈水平部であり、直径は2mmが3個、3mmが3個であった。偽陽性の1例1動脈瘤は中大脳動脈分岐部で、直径は2mmであった。

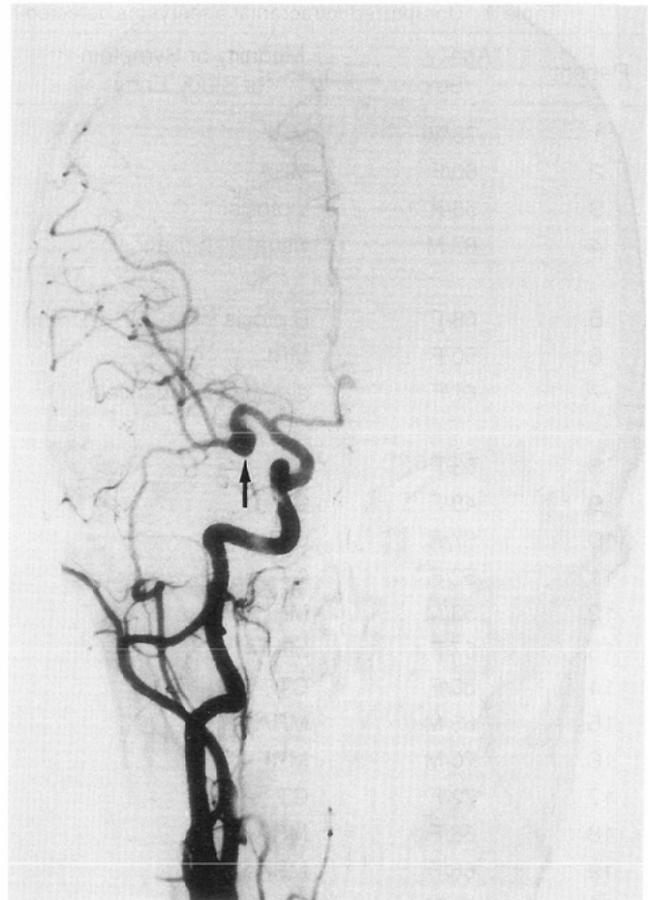
従来のMRAの施行された11例では、脳血管撮影にて認められた9動脈瘤のうち7動脈瘤がMRAにて検出され(Table 1)、その直径は5-12mm(平均8.7mm)で4mm以下の小動脈瘤はなく、5-11mmの中動脈瘤(Fig.1)が6個、12mm以上の大動脈瘤が1個であった。また無病正診2例、偽陰性が2例であった。sensitivityは全体としては78%(7/9)、4mm以下および5mm以上の脳動脈瘤に対してそれぞれ0%(0/2)および100%(7/7)であった。これに対し、MTCおよびTONEを併用した高分解能MRAでは30例中脳血管撮影にて認められた23例27動脈瘤のうち21例23動脈瘤が検出され(Table 2)、無病正診6例、偽陽性1例、偽陰性4例4動脈瘤であった。検出された脳動脈瘤の直径は2-20mm(平均6.0mm)であり、4mm以下の小動脈瘤(Fig.2)が10個、5-11mmの中動脈瘤が12個、12mm以上の大動脈瘤が1個であった。そのsensitivityは全体としては85%(23/27)であり、4mm以下および5mm以上の脳動脈瘤に対してsensitivityはそれぞれ71%(10/14)および100%(13/13)であった。

考 案

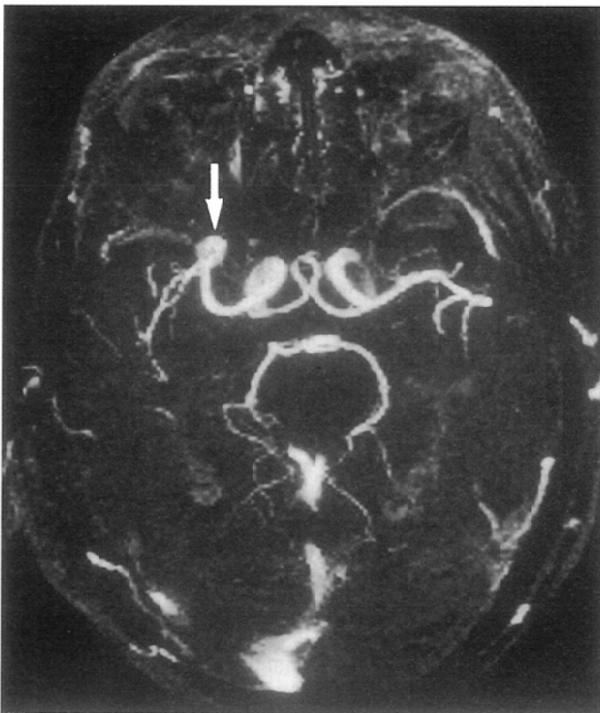
未破裂脳動脈瘤は剖検例では5%前後に見つかり、毎年そのおよそ1%が破裂するとされている⁶⁾。脳動脈瘤の破裂によりくも膜下出血を発症すると26%が死亡し、16%に重篤な後遺症を残すため⁷⁾、未破裂の段階での発見が重要であ



(A)



(C)



(B)

Fig.1 Images of a 59 year-old man with an aneurysm in the right MCA. (A) T2-weighted image, which was obtained for the screening of intracranial metastasis from a lung cancer, shows round flow void in the right sylvius fissure (arrow). (B) Stereoscopic axial view from below of the conventional MR angiogram in parallel perspective depicts a saccular aneurysm 7 mm in diameter protruding anteriorly at the bifurcation of the right MCA (arrow). (C) Anteroposterior view of conventional right carotid angiogram. Saccular aneurysm of MCA bifurcation (arrow).

Table 2 Unruptured intracranial aneurysms detected by high resolution MR angiography with MTC and TONE

Patient	Age (y) /Sex	Modality or Symptom for Study Entry	Site of Aneurysm	Size (mm)	Surgery
1.	73/M	MRI	R MCA bifurcation	4	clipping
2.	60/F	MRA	L MCA bifurcation	4	clipping
3.	56/F	L ptosis	L IC-PC	2	coating
4.	67/M	visual disturbance	L Pcom	10	clipping
			L IC C1	4	clipping
5.	68/F	R ptosis	R IC-PC	10	clipping
6.	50/F	MRI	R IC-ophthalmic	6	clipping
7.	67/F	defects of visual field	R ACA A1	3	clipping
			L IC-PC	4	(-)
8.	53/F	MRI	L MCA bifurcation	5	clipping
9.	48/F	CT	R IC-PC	4	clipping
10.	67/F	CT	R MCA bifurcation	5	clipping
11.	52/F	CT	L ACA A1	5	clipping, coating
12.	53/M	MRI	R Acom	6	(-)
13.	57/F	MRI	L IC-PC	5	trapping
14.	80/F	CT	R MCA bifurcation	7	clipping
15.	65/M	MRA	R IC-PC	2	clipping
16.	70/M	MRI	R MCA bifurcation	3	clipping
17.	72/F	CT	L Pcom	11	clipping
18.	66/F	MRA	R IC-PC	3	clipping
19.	66/F	MRA	R IC C4	20	coating
20.	60/M	MRA	R IC-PC	5	clipping
21.	48/M	MRA	L MCA bifurcation	10	clipping

MCA = middle cerebral artery, ACA = anterior cerebral artery, Pcom = posterior communicating artery, Acom = anterior communicating artery, IC = internal carotid artery, IC-PC = internal carotid-posterior communicating bifurcation.

る。MRAは放射線被曝がなく、造影剤も不要で、脳動脈瘤の非侵襲的な検査法として最も適しており、MRAが臨床の場に導入されてからは未破裂脳動脈瘤が検出される機会が増加してきている。しかし従来のMRAは空間分解能が低く、偽陽性・偽陰性が無視できず、診断精度は高くなかった。

MRAの撮像方法は大きく分けてTime-of-Flight (TOF)法とPhase Contrast (PC)法に分類され、それぞれに2次元法(2D)と3次元法(3D)がある。流入効果の強い軸位方向の空間分解能のよい3D TOF法が血管の連続性を比較的正確に描出するため、脳動脈瘤の検出能に優れている。しかし、3D TOF法にも血流の加速度による変化や乱流によるボクセル内のスピンの位相の乱れ—motion induced dephasing (MID)—と繰り返しRFパルスを受けることで信号強度が急激に減少する現象—progressive saturation effect (PSE)—などの問題点がある。このため従来より次のような工夫をしてきた。(1)先行するスピンエコー法の画像で検索の範囲を限定し、脳底部ウイリス動脈輪近傍をinflow効果の大きい28-56 mm厚の比較的薄い横断スラブで撮像し、progressive saturationの影響を少なくする。(2)短いエコー時間(TE = 6.8-7.7 msec)

と小さなボクセル(0.875 × 0.875 × 0.875-0.4375 mm³)を使うことでintravoxel dephasingを抑える。この場合、TEは小さければ小さいほどよいというわけではない。TEが増加するにつれて水と脂肪がin phaseの状態とout of phaseの状態を交互に繰り返す。TE = 6.8 msecは1.5 T領域で水と脂肪がout of phaseの状態にある2番目に小さいエコー時間であり、脳実質の脂質成分の信号が抑制され、MIP画像では相対的に血流の信号強度が増加する。水と脂肪がout of phaseの状態にある最小のTE = 2.3 msecが技術的に困難な現状ではTE = 6.8 msec前後の値が最も望ましいと考えられる⁸⁾。これらにより画質の一定の改善が見られるものの、臨床に必要とされるレベルの診断能という観点からみれば、不十分であった。

このためわれわれは512 × 256 matrixにMTCおよびTONEを併用した高分解能MRAを導入した。ここで高分解能とはFOVは従来法と変えずにmatrix sizeを512 × 256に細分化して空間分解能を上げることを意味する。また、MTC (Magnetization Transfer Contrast)は脳内の束縛水の信号のみを選択的に抑制し、自由水から成る血流の信号強度を相対的に増加させ⁹⁾、TONE (Tilted Optimized Nonsaturating

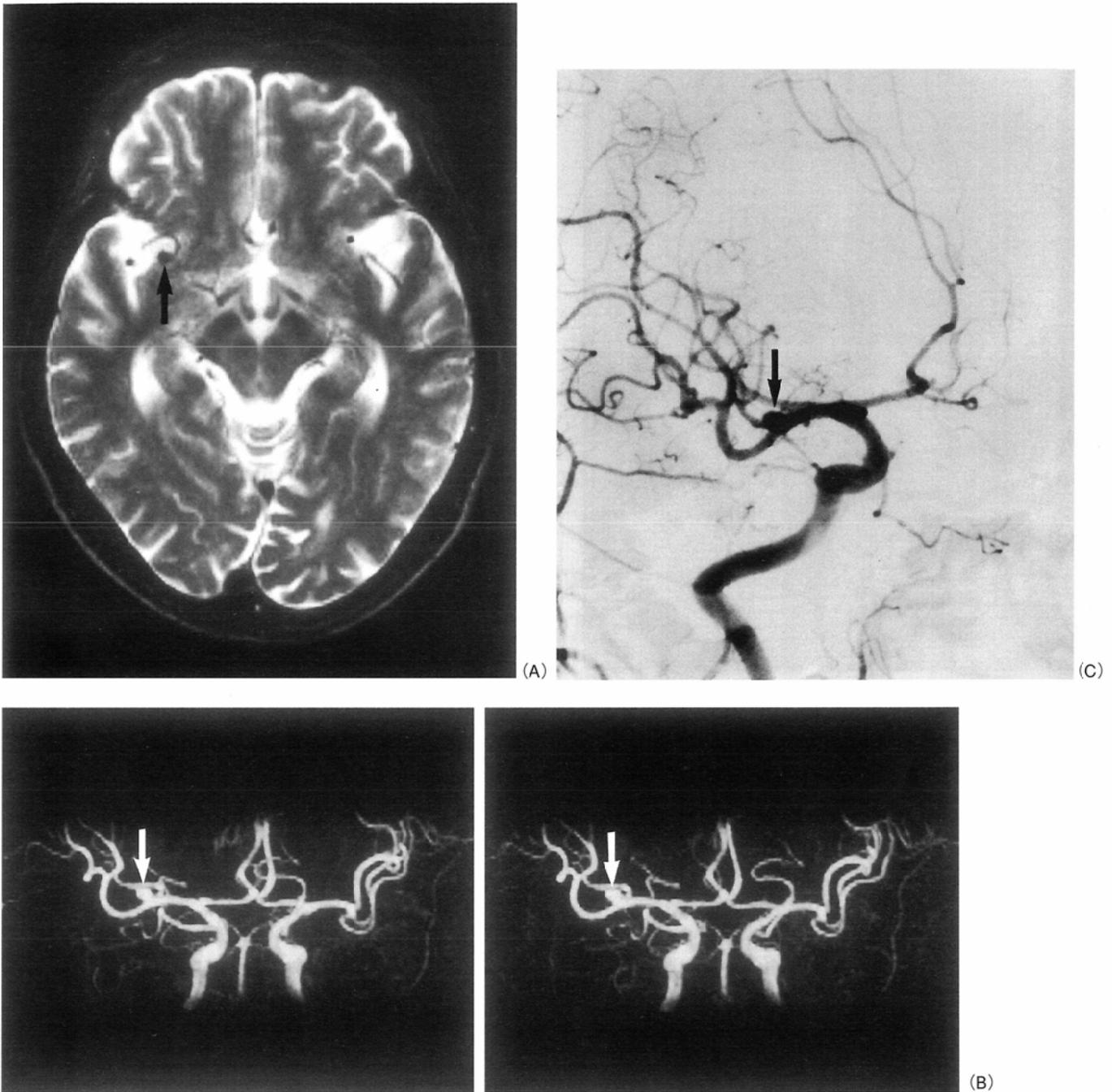


Fig.2 Images of a 73 year-old man with an aneurysm of right MCA. MR angiograms are obtained with the use of MTC, TONE and matrix size of 256 x 512. (A) T2-weighted image delineates small round flow void in the right Sylvian fissure (arrow). (B) Stereoscopic anteroposterior view of MR angiogram reconstructed from axial data set clearly demonstrates 4 mm aneurysm protruding laterally with neck at the bifurcation of the right MCA (arrow). (C) Operative view of conventional right carotid angiogram discloses an aneurysm of the right MCA bifurcation (arrow).

Excitation)は繰り返しパルスを受けることで信号強度が急激に減少する影響を抑えるため、Flip Angleを流入部では小さく、流出部では大きくなるように変化させて、末梢の血管系の描出能を上げる方法である¹⁰⁾。ただTE値はパルス系列の制約上7.7msecに延ばさざるを得なかった。しかし、このTE値は基本的にout of phaseに近い値であり、脂肪信号の強調などの画像劣化への影響は少ないと考えられた。MTCおよびTONEを組み入れたmatrix size 512 x 256のMRAは従

来のMRAと比較して画質が改善し、小脳動脈瘤の検出率の向上が見られ、優れていた。すなわち、従来のMRAでは検出された7動脈瘤のうち全7個が5mm以上であり、4mm以下の2個の動脈瘤は検出できず、小動脈瘤の診断は困難であった。これに対しMTCおよびTONEを併用した高分解能MRAでは4mm以下の小動脈瘤は14個のうち10個が検出されており、このうち2個が2mm、3個が3mmであり、小動脈瘤のsensitivityは従来のMRAの0% (0/2)から71% (10/14)

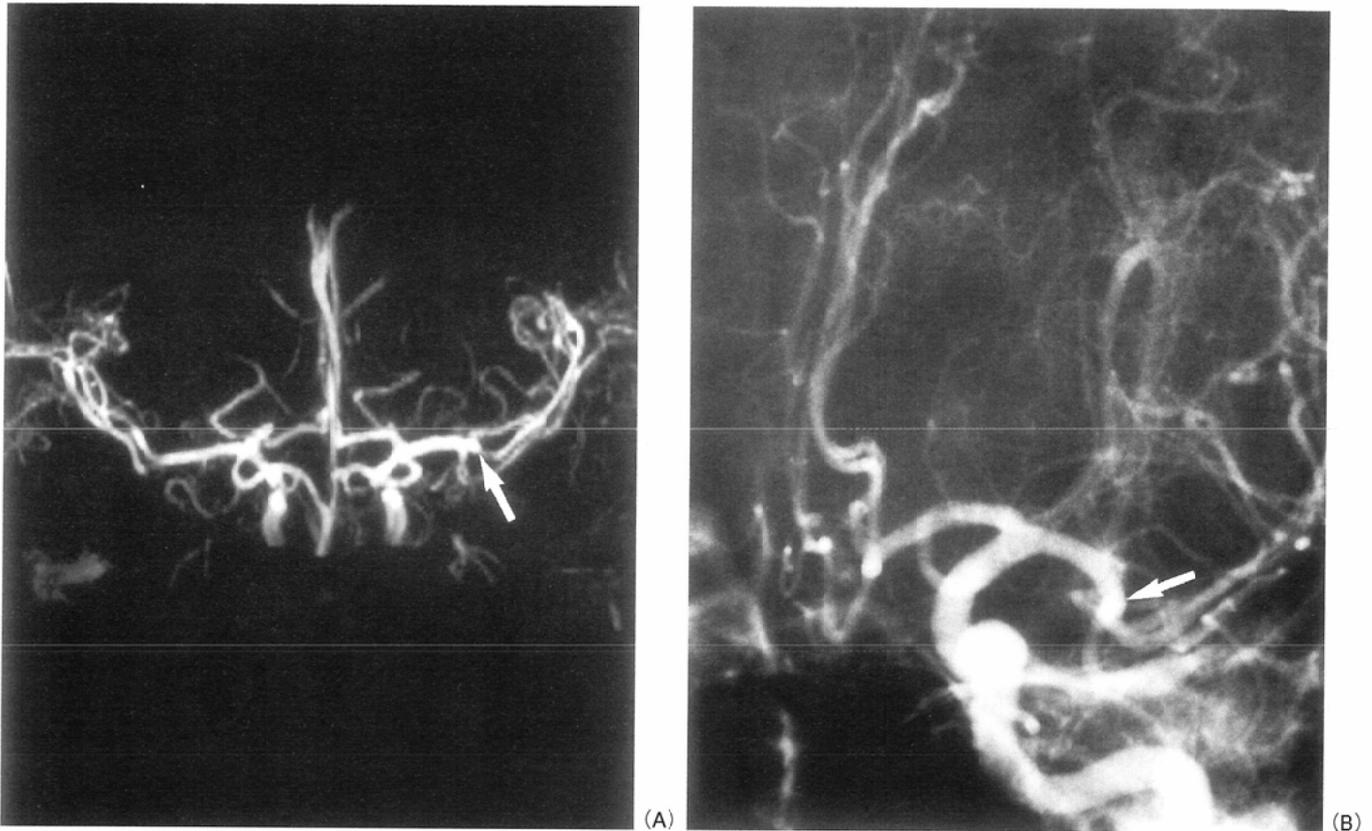


Fig.3 False-positive findings of left MCA. MR angiograms are obtained with the use of MTC, TONE and matrix size of 256x512. (A) MR angiogram shows a 2 mm aneurysm-like protrusion at the bifurcation of the left MCA (arrow), which was interpreted as an aneurysm. (B) Operative view of left carotid angiography shows no definite aneurysm at the site of left MCA (arrow). Overlapping of vessels was the cause of the misinterpretation.

と向上した。しかし、両者の間には症例数に片寄りがあり、正確な比較とは言えず、今後症例を重ねて検討を深めなければならない。

MTCは血液と脳実質の相対的な信号雑音比を改善する。信号雑音比の改善はvoxel sizeと比して大きな血管構造の描出能の向上に重要であるが、voxelと同程度の小さな血管構造の描出能の向上には寄与が小さいとされる¹¹⁾。したがって主にvoxel sizeの細分化による高分解能化とMTCによる相対的な信号雑音比の向上が小動脈瘤の検出率の向上に寄与したと考えられる。末梢血管の描出能の改善を図るTONEは本研究のように脳底主幹動脈とその近傍の検索を主眼とする比較的薄いスラブ厚を用いる場合、効果は大きくないと考えられる。

脳動脈瘤検出のsensitivityに対しては従来の報告ではTOF法によりRossらは86%、Schuiererらは86.4%、Hustonらは56%、Korogiらは62%、TOF法とPC法を併用したGouliamosらは92%と報告し¹¹⁻⁵⁾、差異が見られた。この差異は小脳動脈瘤の検出能に起因する。sensitivityの高いRossらの報告は90% (19/21)が、Gouliamosらの報告は82% (9/11)が5mm以上の脳動脈瘤を対象にしたものである。5mm以上の脳動脈瘤の検出率に対してはKorogiらやHustonらの報告も86-92%と大きな差異はないが、4mm以下の小脳動脈瘤に

対してはsensitivityはHustonらが9.1%、Korogiらが56%と検出能が低かった。これらの従来の報告に比較して本研究では512x256 matrixにMTCおよびTONEを併用した3D TOF MRAは4mm以下の小脳動脈瘤に対するsensitivityが71%と高く、また直径5mm以上の13個の脳動脈瘤の検出に対してはsensitivityは100%であった。脳動脈瘤の検出率は大きさに依存するが、MTCおよびTONEを併用した高分解能3D TOF MRAにおいて直径5mmの脳動脈瘤が信頼のおける検出のcritical sizeと考えられた。McCormicとAcosta-Rua¹²⁾およびKorogiら²⁾によると3mm以下の動脈瘤からの出血は稀とされるので、512x256 matrixにMTCおよびTONEを併用した3D TOF MRAは未破裂脳動脈瘤を破裂する前に発見することが可能な段階に到達したと考えられる。しかしながら4mm以下の動脈瘤の検出にはmotion artifactによる血管像の不明瞭化、親血管との重なりや血管の屈曲との鑑別が困難などの問題があり、本症例群においても偽陽性1例 (Fig.3)、および偽陰性4例の直径はすべて2-3mmであった。現時点ではなお4mm以下の小動脈瘤のMRA診断に慎重が必要と考えられる。

未破裂脳動脈瘤の存在部位については、今回の検討では動脈瘤は中大脳動脈分岐部に11例 (37%)と多く、前大脳動脈領域は3例で少なく、特に前交通動脈の動脈瘤は1例 (3

%)と少なかった。この結果は従来の破裂脳動脈瘤が前交通動脈に最も多いという結果とは異なる。MRAの主な投影が軸位方向であり、中大脳動脈分岐部から外側に突出する動脈瘤は血管との重なりが少なく診断が容易なことが影響している可能性はある。しかし、MRAが小さな未破裂脳動脈瘤をかなり正確に捉えるようになってきていることを考えると、本研究の結果は前交通動脈の動脈瘤は破裂しやすく中大脳動脈領域の動脈瘤は破裂しにくいことを示唆する。これは今後大規模な症例数に基づく研究により検討を深められる必要があるが、脳動脈瘤の存在部位も年齢や動脈瘤の大きさなどの形態とともに治療方針の決定の際に考慮されるべき要因と考えられる。

MRAは撮像時間の関係から撮像範囲を限定せざるを得ず、通常頭部全体を覆うことはできないという問題点があった。しかし、脳動脈瘤は大部分がウィリス動脈輪近傍の脳底部主幹動脈の血管分岐部に発生するため28-56mm厚の横断スラブを適切に設定することにより、限定された撮像範囲でもほとんど問題がないことがわかった。脳動脈末梢に動脈瘤がある可能性は少ないが、太い血管との重なりがほとんどないため、先行するT1およびT2強調画像で有無の判断が可能であり、必要ならばスラブ厚を増やすかスラブ数を増やすことによりMRAの検索範囲を広げることができると考えられる。

MRAで小さな脳動脈瘤が見つかるようになってきたが、その検出率は動脈瘤の大きさに依存する。このため元画像を参照してsensitivityの向上を期待したり¹³⁾、多方面からの投影によるtarget MIPなどの手法を駆使はしても、現時点では脳血管撮影に比較して空間分解能の点で劣り、手術適応のある患者の確定診断には通常の脳血管撮影を省けない。しかし、MRAは技術的に発展途上にあり、今後TEを最小のout of phaseの状態である2.3 msec程度にまで短くすることなどによる信号雑音比の改善が期待されるが、これは実現可能な射程距離内にあると考えられる。こうしたMR技術の向上による画質の改善と多様な手法を駆使することにより、未破裂脳動脈瘤の診断の大部分がMRAで行われるようになるものと考えられる。

結論として、MTCおよびTONEを併用した高分解能3D TOF MRAでは従来のMRAと比較して小動脈瘤の検出のsensitivityが向上し、突然死につながる5mm以上の脳動脈瘤を破裂する前に発見することが可能な段階に到達したと考えられる。しかし4mm以下の小動脈瘤のMRA診断には慎重さが必要である。

本稿の要旨は平成8年4月、第55回日本医学放射線学会総会(横浜)で発表した。

文 献

- Ross JS, Masaryk TJ, Modic MT, et al: Intracranial aneurysms: Evaluation by MR angiography. AJNR 11: 449-456, 1990
- Korogi Y, Takahashi M, Mabuchi N, et al: Intracranial aneurysms: Diagnostic accuracy of three-dimensional, Fourier transform, time-of-flight MR angiography. Radiology 193: 181-186, 1994
- Schuijter G, Huk WJ, Laub G: Magnetic resonance angiography of intracranial aneurysms: Comparison with intra-arterial digital subtraction angiography. Neuroradiology 35: 50-54, 1992
- Huston J III, Nichols DA, Leutimer PH, et al: Blinded prospective evaluation of sensitivity of MR angiography to known intracranial aneurysms: Importance of aneurysm size. AJNR 15: 1607-1614, 1994
- Gouliamos A, Gotis E, Vlahos L, et al: Magnetic resonance angiography compared to intra-arterial digital subtraction angiography in patients with subarachnoid hemorrhage. Neuroradiology 35: 46-49, 1992
- Kassell NF, Torner JC, Haley EC, et al: The international cooperative study on the timing of aneurysm surgery, part 1: overall management results. J Neurosurg 73: 18-36, 1990
- Kassell NF, Torner JC, Haley EC, et al: The international cooperative study on the timing of aneurysm surgery, part 2: surgical results. J Neurosurg 73: 37-47, 1990
- Keller PJ: Time-of-flight magnetic resonance angiography. Neuroimaging Clinics North Am 2: 639-656, 1992
- Pike GB, Hu BS, Glover GH, et al: Magnetization transfer time-of-flight magnetic resonance angiography. Magn Reson Med 25: 372-379, 1992
- Purdy D, Cadena G, Laub G: The design of tip angle slab selection (TONE) pulses for improved 3D MR angiography. Book of abstracts. SMRM: 882, 1992
- Edelman RR, Sungkee SS, Chien D, et al: Improved time-of-flight MR angiography of the brain with magnetization transfer contrast. Radiology 184: 395-399, 1992
- McCormic WF, Acosta-Rua GJ: The size of saccular aneurysms: An autopsy study. J Neurosurg 33: 422-427, 1970
- Korogi Y, Takahashi M, Mabuchi N, et al: Intracranial aneurysms: Diagnostic accuracy of MR angiography with evaluation of maximum intensity projection and source images. Radiology 199: 199-207, 1996