

MR angiography による脳動脈瘤診断精度の検討

三木 均

愛媛大学医学部放射線医学教室

はじめに

磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging, 以下 MRI) における血流原理^{1)~3)}を応用することで選択的に血流成分のみを描出する磁気共鳴血管撮影法 (MR angiography, 以下 MRA) は非侵襲的に脳動脈瘤を描出することが可能である。臨床的に使用可能な撮像方法は、血流の流入効果^{1)~3)}を利用した inflow 法^{3),4)}、および血流の位相情報を利用した位相法^{3),5),6)}に大別でき、それぞれの撮像方法には、2次元 (2D) フーリエ変換法と3次元 (3D) フーリエ変換法の2方法が導入されている。これらの MRA 法は各々異なった血流情報を画像化する手法であり、異なった撮像パラメータ、撮像条件を持つため、脳動脈瘤診断の点で単純には優劣を決め難い。現在、3D time-of-flight (TOF) MRA^{3),4)}が脳動脈瘤検出の中心的撮像法^{7)~17)}として使用されているが、各々の撮像法の動脈瘤検出能が総合的に十分には比較検討されていない。また、施設により撮像方法や撮像条件が異なり¹⁸⁾、一定の診断精度を持って MRA が行われているとはいええない。診断精度を向上させるためには技術的進歩も不可欠であるが、現在の技術で脳動脈瘤検出に最適と考え

られる撮像方法や読影方法、診断基準、問題点を検討することが重要な課題として考えられる。今回、高磁場 MRI を用いた MRA による脳動脈瘤検出の診断精度を retrospective、および prospective に検討したので報告する。

対象と方法

1) retrospective study

今回検討した撮像方法は一般的に普及している4方法とした。撮像方法は血流の time-of-flight 効果¹⁾のなかの inflow 法を利用した 2D TOF 法と 3D TOF 法、および phase shift 効果^{2),3)}を利用した位相法の 2D phase contrast (PC) 法と 3D PC 法である。TOF 法に使用した基本パルス系列は SPGR¹⁹⁾法で、PC 法は GRASS 法²⁰⁾である。使用した装置は、1.5T MRI 装置 (Signa, GE 社) である。MRA 画像の再構成は maximum intensity projection (MIP) 法²¹⁾を使用した。MIP 処理は撮像終了後自動的に行われ、撮像方向に重ねあわせた1枚の collapse 画像がすべての方法で得られ、スライス選択方向に直交する方向で、90° から -90° まで 10° 毎に 19 枚の projection 画像を 2D および 3D TOF 法、3D PC 法で得た。さらに 2D および 3D TOF 法、3D PC 法では脳血

キーワード MR angiography, MRI, intracranial aneurysm, vascular studies

管造影検査 (以下, CAG) で確認された脳動脈瘤を支配する親動脈をほぼ中心に, 直径約 20 ~ 30 mm の正円形の関心領域を全病変に設定し, 選択的 MIP 処理を行った。選択的 MIP

処理はすべて MRA の読影に熟練した放射線科医が施行した。

Retrospective study においては以下の 3 項目について検討した。

a) 各撮像方法の脳動脈瘤の検出率 MRA 4 方法における各々の脳動脈瘤診断のなかで検出率について検討した。対象は CAG にて脳動脈瘤の確認された 57 症例 69 病変 (Tab.1) である。その内訳は, 男性 20 例, 女性 37 例, 年齢は 35 歳から 80 歳, 平均 58.6 歳である。各々の MRA における対象脳動脈瘤は, 2D TOF 法は 25 病変, 3D TOF 法は 69 病変, 2D PC 法は 32 病変, 3D PC 法は 20 病変である。各撮像法の撮像条件を Table 2 に示す。3D PC 法は 2 種類の条件設定を行ない, 撮像マトリックス (Tab.2, 3D PC.1) と撮像時間 (Tab.2, 3D PC.2) とのいずれかが 3D TOF 法と同等になるように設定した。3D TOF 法と撮像時間が同等になる 3D PC 法は 9 病変に, 撮像マトリックスが同等になる 3D PC 法は 11 病変に施行した。全 MRA 法で自動 MIP 画像を読影し, 2D TOF 法, 3D TOF 法, 3D PC 法では病変部の選択的 MIP 画像を, さらに 2D TOF 法と 3D TOF 法では元画像も追加して読影した。脳動

Table1. Materials for Retrospective Study

| Site | Size(mm) | | | |
|-------|----------|------|-----|----|
| | ≤5 | 5-10 | 10< | |
| ICA | | | | |
| CP | 0 | 0 | 7 | 7 |
| Oph | 5 | 0 | 0 | 5 |
| PCA | 7 | 3 | 1 | 11 |
| Other | 4 | 1 | 0 | 5 |
| MCA | 3 | 7 | 4 | 14 |
| A-com | 9 | 2 | 0 | 11 |
| ACA | 3 | 1 | 0 | 4 |
| VA-BA | 2 | 3 | 7 | 12 |
| Total | 33 | 17 | 19 | 69 |

ACA = anterior cerebral artery, A-com = anterior communicating artery, CP = cavernous portion, ICA = internal cerebral artery, MCA = middle cerebral artery, Oph = ophthalmic artery, PCA = posterior communicating artery, VA-BA = vertebral-basilar artery

Table2. Pulse Sequences for Each MRA in Retrospective Study

| | 2D TOF | 3D TOF | 2D PC | 3D PC. 1 | 3D PC. 2 |
|---------------------|---------|----------|---------|----------|----------|
| TR(ms) | 45 | 40 | 33 | 25 | 25 |
| TE(ms) | 8.7 | 6.9 | 8.9 | 8.1 | 8.9 |
| F.A.(deg.) | 60 | 25 | 20 | 15 | 20 |
| Slice thickness(mm) | 1.5 | 0.8 | 60 | 0.8 | 1.5 |
| Slab(mm) | 1.5×32 | 0.8×64 | — | 0.8×64 | 1.5×32 |
| Matrix | 256×192 | 256×256 | 256×192 | 256×192 | 256×192 |
| Partitions | — | 64 | — | 64 | 32 |
| NEX | 1 | 1 | 6 | 1 | 1 |
| FOV(cm) | 20 | 20 | 18 | 20 | 20 |
| VENC(cm/s) | — | — | 40 | 40 | 40 |
| Scan time | 4min36s | 10min55s | 2min32s | 20min29s | 10min14s |

Table 3. Pulse Sequences for 3D TOF MRA with Small Voxel Size in Retrospective Study

| | small voxel-1 | small voxel-2 | small voxel-3 |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| TR(ms) | 30 | 40 | 40 |
| TE(ms) | 5,9 | 6,9 | 6,9 |
| F.A.(deg.) | 20 | 25 | 25 |
| Slab(mm) | 0,8×64 | 0,8×64 | 0,8×64 |
| Matrix | 256×192 | 256×256 | 512×256 |
| Partitions | 64 | 64 | 64 |
| NEX | 2 | 1 | 1 |
| FOV(cm) | 12 | 14 | 20 |
| Voxel size(mm ³) | 0,49×0,63×0,8 | 0,55×0,55×0,8 | 0,39×0,78×0,8 |
| Scan time | 12min17s | 10min55s | 10min55s |

脈瘤の判定はMRAの読影に熟練した2名の放射線科医が別々にCAGの結果を参考にして行い、判定結果が異なる病変は合議にて判定した。また、自動MIP画像で動脈瘤が指摘できなくても、選択的MIP画像または元画像にて抽出できている場合は指摘可能例と判定した。

b) 3D TOF MRAの空間分解能 3D TOF法にて脳動脈瘤を検出するために必要な空間分解能について検討した。対象は、CAGにて確認された脳動脈瘤69病変で、前項の対象と同じである。Small voxel sizeが得られるように3種類の撮像条件(Tab.3, small voxel-1, 2, 3)を3D TOF法に設定し、前項で検討した通常voxel size (0.78×0.78×0.8 mm³)の3D TOF法と比較検討した。ここで使用するsmall voxel sizeとは、通常voxel sizeと比較して、matrixが同等でfield of view (FOV)を小さくするか(small FOV)、FOVが同じでmatrixを上げる(512×256 matrix使用)ことで単位voxel sizeを小さくするもので、結果として空間分解能が向上し高分解能MRA画像が得られる。通常voxel sizeの3D TOF法は69病変に、small voxel sizeの3D TOF法は40病変に施行した。後者の40病変中、small FOV(12 cm)による3D TOF法(small voxel-1)は35病変に、small FOV(14cm)による3D TOF法(small voxel-2)は5病変に、512×256 matrixを用いた3D TOF法(small voxel-3)は19病変に

施行した。なお、small voxel-1とsmall voxel-2は同じ病変では施行されていないが、small voxel-1が施行された35病変中18病変にsmall voxel-3が、small voxel-2が施行された5病変中1病変にsmall voxel-3が施行された。MRAの読影はMIP画像と元画像、および病変部の選択的MIP画像にておこなった。脳動脈瘤の判定は前項と同様に行った。

c) 小動脈瘤を対象とした読影実験 MRAにて脳動脈瘤を検出する際には5 mm以下の小動脈瘤をいかに正確に指摘できるかが問題となる¹³⁾。そこで読影実験を行って、小動脈瘤の検出能と偽陽性について検討した。読影者は症例のすべてに脳動脈瘤が存在することは知らされているが、部位、大きさ、個数、読影実験の目的は知らされていない。対象はCAGで確認された5 mm以下の脳動脈瘤11症例12病変である。その内訳は、内頸動脈後交通動脈瘤2病変、眼動脈瘤3病変、内頸動脈分岐部動脈瘤1病変、中大脳動脈瘤1病変、前交通動脈瘤5病変である。MRAは前項で検討したsmall voxel-1の3D TOF法で、検討した画像はMIP画像と元画像である。最初に自動的にMIP処理が行われる20枚のMIP画像のみで判定し、次いでMIP画像に元画像を追加して脳動脈瘤の判定を行った。元画像は眼動脈分岐部から中大脳動脈分岐部(M1-M2)、前交通動脈が含まれるようにした。脳動脈瘤の判定は確診、疑診、無

し、の3段階で評価し、その判定基準は個々の読影者に依存した。脳動脈瘤の検出率は、真陽性数を全病変数で除した値とし、確診、疑診の両者を含む判定の場合と、確診のみの判定の場合に分けて算出した。読影は脳血管撮影とMRAの読影に従事している放射線科医4名と脳神経外科医4名にて行った。

2) prospective study

MRAの判定基準を検討するためにprospective studyを行った。対象は、1992年10月から1995年4月までに愛媛大学で頭部スクリーニングを目的として3D TOF MRAが施行された25歳以上の症例で男性109例、女性91例の計200例である。既知の血管性病変を有する症例や他の画像診断で血管性病変が疑われた症例は除外した。また、small voxel sizeの3D TOF法 (Tab.3, small voxel-1, 2, 3のいずれかを使用)によりWillis動脈輪が十分評価できるように撮像範囲が設定された症例とした。MRAの読影はMIP画像と元画像、および病変が疑われる部位の選択的MIP画像にて行った。脳動脈瘤の判定は2名の放射線科医が行い、その内1名はMRAの読影に熟練した放射線科医である。検討対象の脳動脈瘤はMRAにて計測した大きさが5mm以下とし、MRAでの存在判定は、確診、疑診、判定困難、無し、の4段階に分類した。確診はMRAで存在が確定可能な場合とし、疑診は存在を強く疑う場合とし、判定困難は存在を疑うがMRAでは判定が困難な場合とした。MRAで脳動脈瘤を指摘、または疑われた症例はCAGまたはヘリ

カルスキャン (Xvigor, 東芝)によるCT angiography (CTA)²²⁾が施行された。CTAの撮像条件は、電圧135kV、電流150mAs、寝台移動速度1mm/秒、スライス厚1mmである。造影剤は非イオン性造影剤 (300mgI/ml)を2-2.5ml/秒で100ml注入した。画像再構成は0.5mm間隔で行い、3次元画像をワークステーション (Xtension, 東芝)で作製した。

結 果

1) retrospective study

a) 各撮像方法の脳動脈瘤の検出率 各撮像方法における脳動脈瘤検出は2D TOF法では25動脈瘤中17動脈瘤 (68%)が、3D TOF法では69動脈瘤中65動脈瘤 (94.2%)が、2D PC法では32動脈瘤中19動脈 (59.4%)が、3D PC法では20動脈瘤中15動脈瘤 (75%)がそれぞれ指摘可能であった (Tab.4)。脳動脈瘤の大きさを5mm以下とした場合、2D TOF法では8動脈瘤中全動脈瘤が指摘困難で (Fig.1)、3D TOF法では33動脈瘤中4動脈瘤が、2D PC法では14動脈瘤中12動脈瘤が (Fig.1)、3D PC法では7動脈瘤中4動脈瘤が指摘困難であった (Fig.2)。撮像時間が3D TOF法と同等になるように設定した3D PC法では9病変中7病変が描出された。撮像マトリックスを同等にした場合では11病変中8病変が描出された。3D PC法にて描出が困難だった5病変中4病変は長径が5mm以下であっ

Table4. Detection Rate of Each MRA in Retrospective Study

| Size | 3D TOF (n=69) | 3D PC (n=20) | 2D TOF (n=25) | 2D PC (n=32) |
|-------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 5 ≥ | 29/33 (87.9) | 3/7 (42.9) | 0/8 (0) | 2/14 (14.3) |
| 5 < | 36/36 (100) | 12/13 (92.3) | 17/17 (100) | 17/18 (94.4) |
| Total | 65/69 (94.2) | 15/20 (75.0) | 17/25 (68.0) | 19/32 (59.4) |

Values in parentheses are percentages.

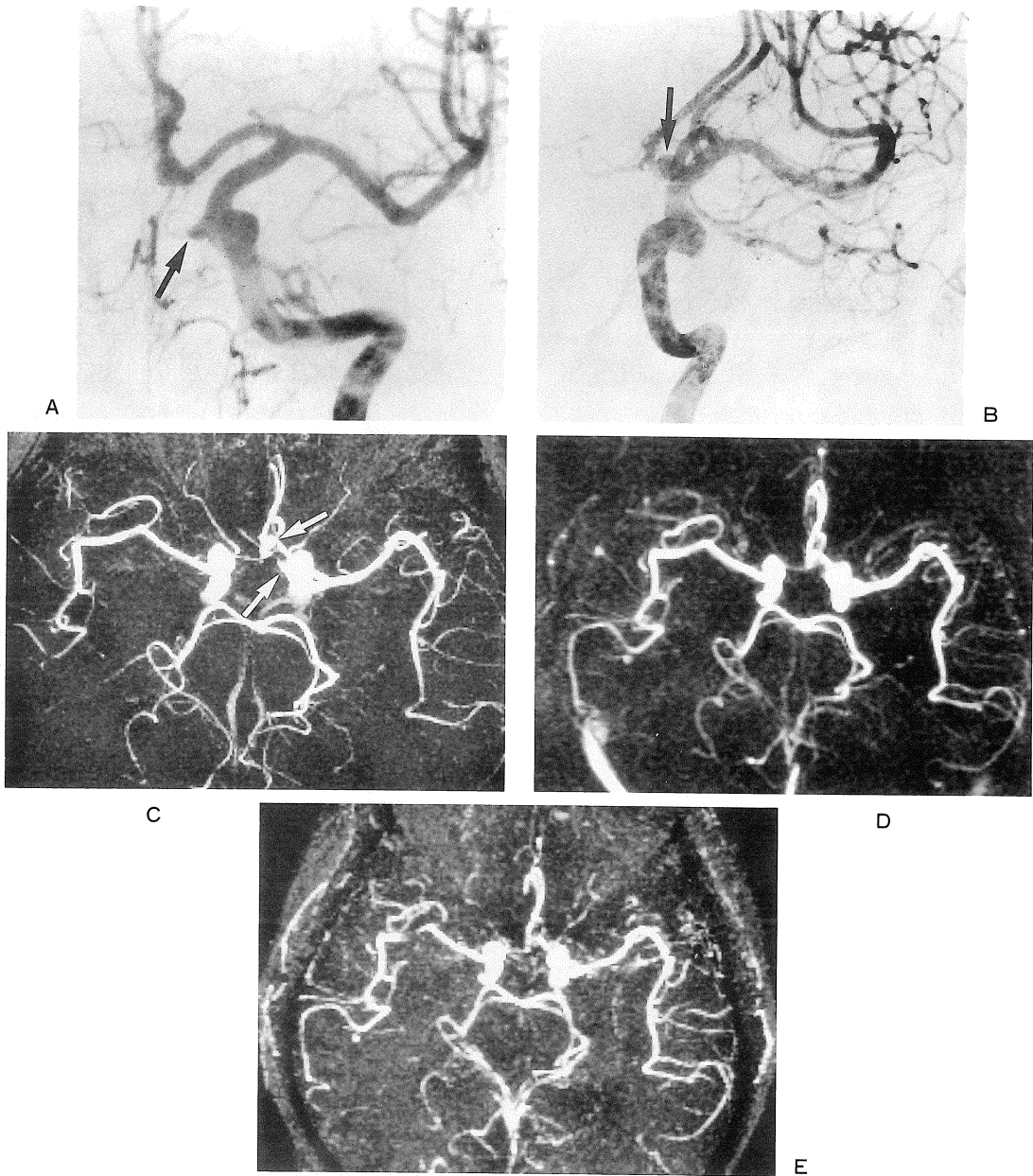


Fig. 1. Aneurysms of anterior communicating and left ophthalmic arteries.
(A) Anteroposterior view from left carotid arteriogram shows the left ophthalmic artery aneurysm (arrow).
(B) Right anterior oblique view from left carotid arteriogram shows the anterior communicating artery aneurysm (arrow).
(C) 3D TOF MR angiogram demonstrates both aneurysms (arrows).
(D) 2D PC MR angiogram shows the anterior communicating artery aneurysm, but does not depict the left ophthalmic artery aneurysm.
(E) 2D TOF MR angiogram does not detect both aneurysms.

た (Fig. 2).

b) 3D TOF MRAの空間分解能 通常voxel sizeの3D TOF法では69病変中65病変が指摘可能であったが、4病変は指摘困難であった。指摘困難であった4動脈瘤の大きさはCAG上2-3mmであった。small voxel sizeが得られる3D TOF法では、いずれの撮像条件においても病変はすべて指摘できた。通常 voxel sizeの3D TOF法で指摘困難であった4病変は、small voxel-1とsmall voxel-3が施行されており4病変すべて両者にて指摘可能であった (Fig. 3).

c) 小動脈瘤を対象とした読影実験 確診または疑診を陽性とした場合の検出率は、MIP画像だけで58.3%から83.3% (平均71.8%)であったが、元画像を追加することで83.3%から100% (平均93.5%)となった (Tab.5)。検出能の改善率は7.9%から32.9% (平均21.7%)であった。12病変中、大きさがCAG上3mmよりも小さい脳動脈瘤が2病変認められたが、この場合の検出率はMIP画像だけでは12.5%で、元画像を追加することで75%となった。3mm以上の10病変の検出率は、

MIP画像だけでは86.3%で、元画像を追加することで96.3%となった。一方、確診のみを陽性とした場合の検出率はMIP画像だけでは16.7%から66.7% (平均50%)で、元画像を追加することで66.7%から100% (平均88.3%)となった (Tab.5)。検出能の改善率は25%から57.9% (平均38.3%)であった。確診と疑診で正確に指摘できた病変中確診例の比率はMIP画像だけでは28.6%から88.9% (平均68.0%)で、元画像を追加することで73.1%から100% (平均94.5%)となった。偽陽性と判読されたものはMIP画像のみでは全読影者で23部位33個 (平均4.1個)であった (Tab.6, 8)。しかし、33個中確診と判定したのは6個である。元画像を追加することで偽陽性は8部位8個 (平均1個)となった。この8個中確診と判定したのは6個である (Tab.6)。部位別の全読影者の検出結果を合計すると、MIP画像のみでは後交通動脈瘤の検出率は43.8%と低く、前交通動脈瘤の検出率は92.5%と高かった (Tab.7)。後交通動脈瘤は元画像を追加することで検出率は著明に改善した

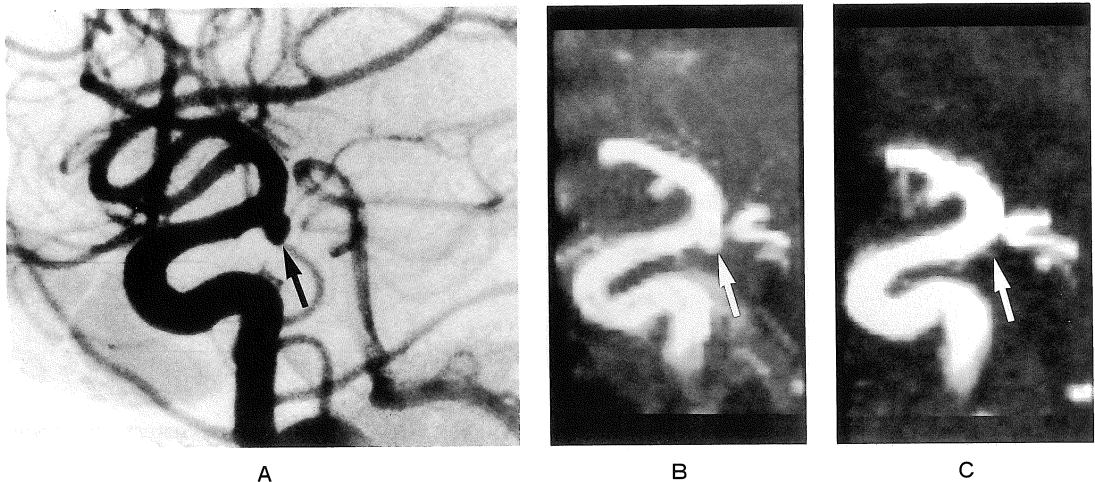


Fig. 2. Righth anterior choroidal artery aneurysm.

- (A) Lateral view from right carotid arteriogram shows a 4-mm aneurysm (arrow).
- (B) Selective MIP image of 3D TOF MR angiogram demonstrates the aneurysm (arrow).
- (C) Selective MIP image of 3D PC MR angiogram does not detect the aneurysm (arrow).

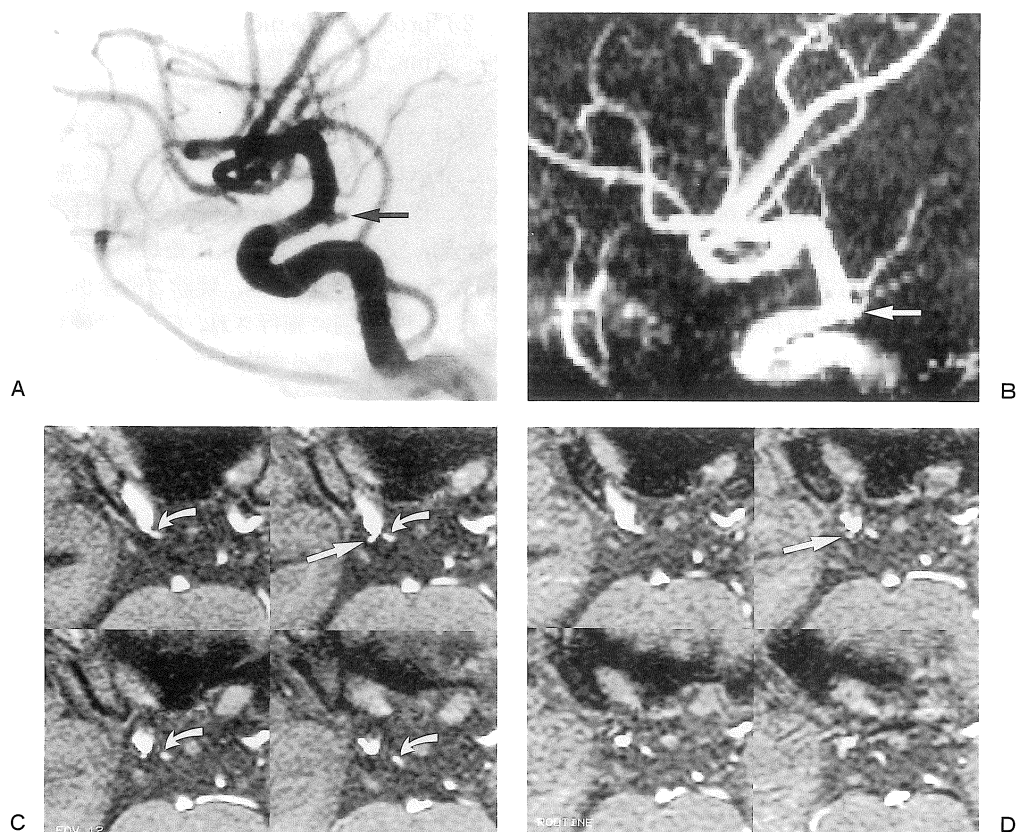


Fig. 3. Right posterior communicating artery aneurysm.

(A) Lateral view from right carotid arteriogram shows a 3-mm aneurysm (arrow).

(B) 3D TOF MR angiogram with a small voxel size demonstrates the aneurysm (arrow).

(C) Source images of 3D TOF MRA with a small voxel size detect the relation between the aneurysm (arrow) and the right posterior communicating artery (curved arrows). Careful reading of source images should be necessary for the detection of posterior communicating artery aneurysms.

(D) Source images of 3D TOF MRA with a standard voxel size do not clearly detect the aneurysm (arrow).

Table 5. Detection Rate (%) of Aneurysms in Blinded Retrospective Study

| Diagnosis | Observer | | | | | | | |
|---------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| MIP | | | | | | | | |
| Definite+Suspicious | 75.0 | 66.7 | 58.3 | 83.3 | 75.0 | 83.3 | 66.7 | 66.7 |
| Definite | 66.7 | 41.7 | 16.7 | 66.7 | 66.7 | 58.3 | 50.0 | 33.3 |
| MIP+Source | | | | | | | | |
| Definite+Suspicious | 100 | 91.2 | 91.2 | 91.2 | 100 | 100 | 83.3 | 91.2 |
| Definite | 91.7 | 91.2 | 66.7 | 91.2 | 100 | 91.2 | 83.3 | 91.2 |

(Tab.7). MIP 画像だけでは後交通動脈部 (8例11個) と中大脳動脈部 (7例11個) に偽陽性例を多く認めしたが, 眼動脈部には認めなかった (Tab.8). 後交通動脈部と内頸動脈分岐部には元画像を追加しても偽陽性例を多く認めた. 放射線科医 (Tab.5, observer A-D) と脳神経外科医 (Tab.5, observer E-H) の間に検出能の明かな差は認めなかったが, MIP 画像のみでの読影では脳神経外科医に偽陽性が多く見られた (Tab.6).

2) prospective study

5 mm 以下の脳動脈瘤を指摘, または疑った症例は12症例12病変であった (Tab.9). 12症例全例に CAG または CTA が施行された. CAG は9症例に, CTA は7症例に施行された. 12例の MRA による存在判定は, 確診が5例, 疑診が2例, 判定困難が5例であった. CAG は確診5例全例, 疑診2例全例, 判定困難5例中2例に施行され, CTA は確診5例中3例, 判定困難5例中4例に施行された. 確診

Table6. False Positive Detection of Aneurysms in Blinded Retrospective Study

| Diagnosis | Observer | | | | | | | |
|--------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| MIP | | | | | | | | |
| Suspicious | 4 | 0 | 1 | 3 | 5 | 8 | 3 | 3 |
| Definite | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| (Total) | (4) | (1) | (1) | (3) | (5) | (8) | (5) | (6) |
| MIP + Source | | | | | | | | |
| Suspicious | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Definite | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| (Total) | (1) | (1) | (0) | (1) | (0) | (0) | (4) | (1) |

Table7. Detection Rate (%) of Aneurysms in Blinded Retrospective Study ; Results of Relation to their Sites

| | PCA | Oph | IC-bif | A-com | MCA |
|--------------|------|------|--------|-------|-----|
| MIP | 43.8 | 62.5 | 75 | 92.5 | 75 |
| MIP + Source | 100 | 75 | 100 | 97.5 | 100 |

A-com=anterior communicating artery, IC-bif=bifurcation of internal carotid artery, MCA=middle cerebral artery, Oph=ophthalmic artery, PCA=posterior communicating artery

Table8. Sites of Aneurysms with False Positive Detection in Blinded Retrospective Study

| | PCA | Oph | IC-bif | A-com | MCA |
|--------------|-------|-----|--------|-------|-------|
| MIP | 8(11) | 0 | 3(4) | 5(7) | 7(11) |
| MIP + Source | 4(4) | 0 | 3(3) | 1(1) | 0 |

A-com=anterior communicating artery, IC-bif=bifurcation of internal carotid artery, MCA=middle cerebral artery, Oph=ophthalmic artery, PCA=posterior communicating artery, Values in parentheses are total false positive lesions of each site.

および疑診と判定した7症例すべてに脳動脈瘤を認めた。CAG上、脳動脈瘤の大きさは3-6mmであった。判定困難5例ではすべて脳動脈瘤は認められなかった。これらの症例ではMRA上計測できる大きさは2mm以下であった。部位は後交通動脈部2例 (Fig.4), 前交通動脈部3例 (Fig.5) であった。なお今回の検討対象外であるが,5mm以上の脳動脈瘤は2

症例発見された。脳動脈瘤は200例中9例に発見されたこととなり、発見率は4.5%となった。なお、9例中5例に手術が施行され、4例は経過観察中である。

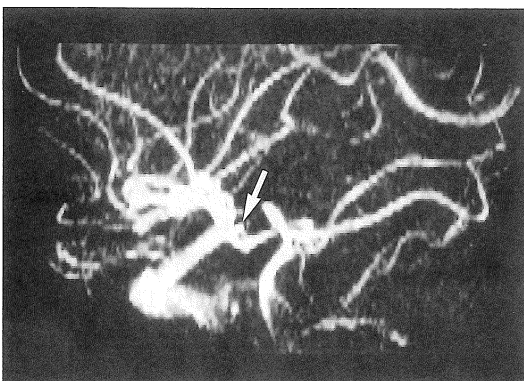
考 察

MRAは非侵襲的に頭蓋内血管病変を描出することが可能であり、なかでも脳動脈瘤は破裂

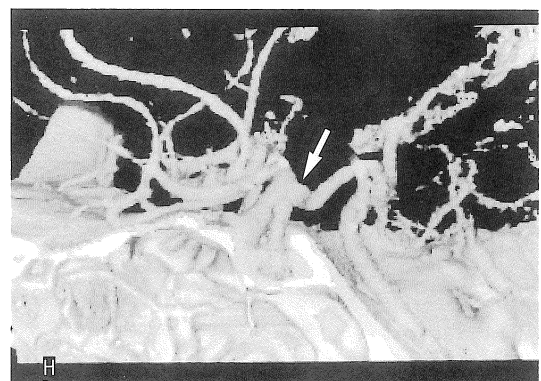
Table9. Summary of Data in Patients with Aneurysms on Prospective MRA Study

| Patient | Age/Sex | Site | MRA | | Angiography | CTA |
|---------|---------|-------|------------|----------|-------------|-----|
| | | | Diagnosis | Size(mm) | | |
| 1 | 35/M | PCA | Suspicious | < 2 | - | NA |
| 2 | 69/F | A-com | Probable | 2.5 | + | NA |
| 3 | 66/M | PCA | Definite | 4 | + | + |
| 4 | 73/F | A-com | Suspicious | < 2 | NA | - |
| 5 | 41/F | PCA | Suspicious | < 2 | - | - |
| 6 | 55/F | A-com | Suspicious | < 2 | NA | - |
| 7 | 62/F | Oph | Definite | 4 | + | NA |
| 8 | 57/F | Oph | Definite | 3 | + | NA |
| 9 | 63/M | Oph | Probable | 4 | + | NA |
| 10 | 59/M | A-com | Suspicious | < 2 | NA | - |
| 11 | 68/F | Oph | Definite | 3 | + | + |
| 12 | 69/F | Oph | Definite | 5 | + | + |

A-com=anterior communicating artery, CTA=CT angiography, MRA=MR angiography, NA=not applicable, Oph=ophthalmic artery, PCA=posterior communicating artery



A



B

Fig.4. False positive case of right posterior communicating artery aneurysm.

(A) Lateral view from 3D TOF MR angiogram with a small voxel size shows an aneurysm-like protrusion at the origin of posterior communicating artery (arrow).

(B) Lateral view from 3D CT angiogram shows no definite aneurysm (arrow).

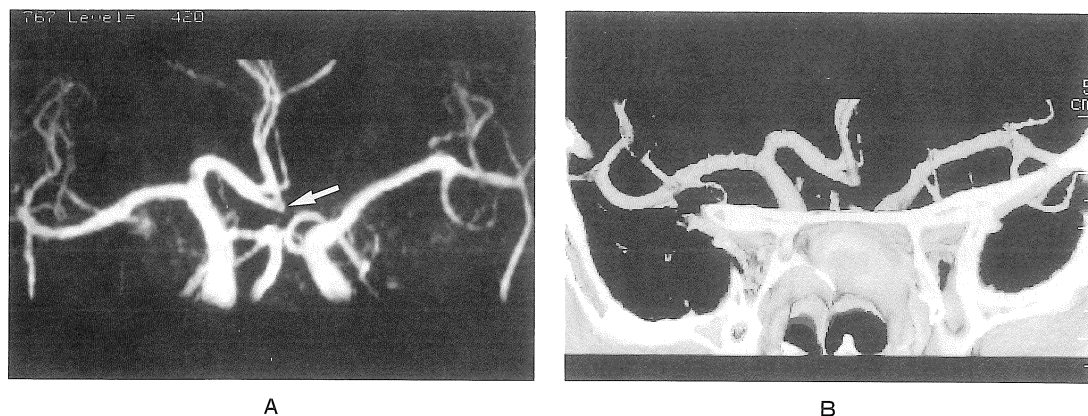


Fig. 5. False positive case of anterior communicating artery aneurysm.

(A) Anteroposterior view from 3D TOF MR angiogram with a small voxel size shows an aneurysm-like protrusion at the right A1-A2 portion (arrow).

(B) Anteroposterior view from 3D CT angiogram shows no definite aneurysm.

した場合、不幸な転帰をとることが多いため^{23),24)}、破裂前にMRAで発見することが期待され、すでにスクリーニング法として使用が検討されている^{10),11),15)}。しかし、施設によりMRAの撮像方法、撮像条件などが異なり、実際の診断精度も十分には明らかにされておらず、またCAGに比べてまだ診断能力が劣っていることも否定できない。しかし、すでにMRAの臨床応用が行われている現状を考えると現在の装置および技術水準での診断精度の評価は必須である。そこで今回、現在臨床的に使用可能な磁場強度で脳動脈瘤検出の精度が最も高いと考えられる高磁場MRA¹³⁾による診断精度を、脳動脈瘤検出能の点に着目してretrospectiveおよびprospectiveに検討した。

現在、一般的に臨床的に使用可能な撮像方法は、2D TOF法、3D TOF法、2D PC法および3D PC法である。今回、撮像方法により対象数が異なるため単純には比較できないが、この4方法について、各々の脳動脈瘤検出能を総合的に検討して、3D TOF法が最も優れているとの結果が得られた。動脈瘤の大きさが5 mm以上の場合は、その検出率に差は認めないが、5 mm以下の場合に明らかな差を認めた。3D TOF法は遅い血流に対する感度は低い

ものの、速い血流の描出には優れた手法であり、また3D法であるため優れたsignal-to-noise ratio (SNR) と高い空間分解能が期待でき、小さな脳動脈瘤の描出に適した手法と考えられる。各MRAの比較に使用した3D TOF法の空間分解能でも5 mm以下の動脈瘤の87.9%が指摘可能であった。一方、同じ3D法でありながら3D PC法では5 mm以下の動脈瘤の検出率は42.9%と低かった。5 mm以下の動脈瘤で指摘できなかった4病変中3病変は3D TOF法と同等の空間分解能で撮像されており、検出率の差は後述するように空間分解能以外にあるものと考えられた。脳動脈瘤の検出で3D TOF法と3D PC法が比較^{25),26)}されているが、3D TOF法と3D PC法が同等の空間分解能で比較されていない。今回検討した比較的に高い分解能での比較では明らかに3D TOF法が優れており、5 mm以下の小動脈瘤の検出を目的とする際には3D PC法よりも3D TOF法が有用と考えられた。

PC法は、流れによって起るphase shift効果画像化するもので血流感度を任意に設定できる。実際にはvelocity encode (VENC) 量を予測血流速度に合わせて設定するが、今回設定した血流感度 (VENC 40 cm/秒) では鮮明

な脳動脈血流が描出された。しかし動脈瘤内血流が設定 VENC 量から大きく離れると動脈瘤が描出されないことが予測される。今回、5 mm 以下の動脈瘤に指摘困難な症例を認めたのは、動脈血流描出目的で設定した血流感度と動脈瘤内血流成分の主体が異なっていたためと推察される。あらかじめ動脈瘤内血流速度を予測することは困難であり、たとえ遅い動脈瘤内血流を予測できても、遅い血流速度に VENC 量を設定すると正常動脈血流の描出が不十分となる。これらの点から、3D PC 法は脳動脈瘤検出を目的とした検査法には適さないと考えられた。5 mm 以上の大きさの動脈瘤は、検討した 3D PC 法の 2 方法間に検出能の差は認めなかった。また 5 mm 以上の動脈瘤の検出には 3D TOF 法と 3D PC 法に有意差は認めなかった。

2D TOF 法と 2D PC 法では 5 mm 以下の動脈瘤の検出は困難と考えられた。2D TOF 法の撮像マトリックスから得られる空間分解能 (pixel size $0.78 \times 1.04 \text{ mm}^2$) を考えると 5 mm 程度の大きさであれば指摘可能なはずであるが、実際には指摘が困難であった。この原因として、3D TOF 法と比べ、スライス方向の分解能が劣ることや、SNR が劣ること、および乱流などの動脈瘤内の血流動態の影響を強く受けることが推定される。2D PC 法は短時間に血流画像を得ることができるが、スライス方向の分解能が他の MRA より劣り、5 mm 以下の動脈瘤は 14 例中僅かに 2 病変が指摘できたに過ぎず、形態診断には適さないと考えられた。

現在までに脳動脈瘤の MRA 診断に関する報告^{7)~17), 25), 26)}の多くは 3D TOF 法の単独使用^{7)~17)}である。3D PC 法との比較が報告されているが^{6), 25), 26)}、現在使用可能な MRA 法を総合的に十分比較した報告はない。空間分解能の差から、2D 法は余り用いられないが、実際には検出能の差を明確にすることには意義あることと考える。本検討で 2D TOF 法による動脈瘤の検出能は、空間分解能から期待できるよりも低く、脳動脈瘤検出を目的とする場合には

3D TOF 法が選択されるべきと考えられた。3D TOF 法には皮下脂肪などの脂肪組織からの高信号の処理が問題になるが、今回のように out-of-phase になるような TE (6.9 ms) の設定や small FOV の設定をすれば、脂肪からの信号は MIP 画像に影響を与えなかった。その他の問題として、slab 末梢部でのスピン飽和による血流信号低下¹⁾が考えられ、改善策として magnetization transfer contrast (MTC) pulse²⁷⁾ や tilted optimized nonsaturating excitation (TONE)²⁸⁾ が報告されている。しかし、これらの改善策により脳動脈瘤の検出能が明らかに改善されたとする報告はなく、今回の撮像に設定したように Willis 動脈輪が slab 内の中枢側に十分含まれれば、MTC や TONE を使用しなくとも Willis 動脈輪の動脈瘤検出には十分と考えられた。しかし、後頭蓋窩や前大脳動脈末梢の動脈瘤検出には、再度撮像を行ったり、multi-slab 法²⁹⁾を使用するなど工夫が必要と考えられた。

撮像方法の比較検討では撮像方法により対象数が異なり、部位別での撮像方法の比較は症例数が十分でないため検討されていない。部位によっては各撮像法の検出能に差がでることは否定できず、今後症例を重ねることで部位別の検討も行なう必要があると考えられる。ただ、動脈瘤の大きさが各撮像法の検出能の差を左右する重要な要素であることは明かであると考えられる。なお、撮像方法と空間分解能の検討においては脳動脈瘤の存在部位を理解した上で読影しているため、得られた検出率は一般診療における MRA の診断精度にそのまま適用できる値ではないことに留意する必要がある。

3D TOF 法による脳動脈瘤診断の報告は多いが、使用機種、磁場強度、撮像条件などの違いのため、検出能に関しては各報告間で差が認められる^{7)~17)}。Ross⁷⁾らは彼らの使用している voxel size で 3~4 mm 大の動脈瘤が指摘可能と予測しているが、その voxel size は今回検討した標準 voxel size よりも大きい。今回の

検討では標準 voxel size では 5 mm 以下の動脈瘤 4 例が検出困難で、小動脈瘤の検出には空間分解能の改善が必要と考えられた。さらに小さな voxel size の 3D TOF 法の条件設定により 4 例全例が指摘可能となった。小さな voxel size の設定によって空間分解能の改善と同時に voxel 内の phase disversion³⁰⁾ の影響が軽減されたためと考えられる。高分解能マトリックスを使用した脳動脈瘤検出の報告^{16), 17), 26)} も見られるようになったが、3D TOF 法の空間分解能を同一対象で検討した報告はなく、小動脈瘤の検出には small voxel を選択すべきことが明らかになったことは意義あることと考える。今回、small voxel size を得るために 3 種類の撮像条件を設定した。19 動脈瘤において small FOV と 512×256 matrix の 3D TOF 法が比較できたが検出能に差は認めなかった。Small FOV の 2 方法は比較できていないが、分解能から考えて同等の検出能を有すると考えられる。検出能の観点からはどの条件を選択しても問題はないが、SNR や撮像時間を考慮すると、スクリーニング検査法として選択するには small voxel -2 の撮像条件が適していると考えられる。今後、SNR を低下させることなく、512×256 matrix と small FOV を併用して、更に空間分解能を高めることが期待される。

脳動脈瘤の検出に際し、重要な要素として磁場強度が考えられる。今回検討した装置は高磁場強度であり、現時点で脳動脈瘤検出の精度が最も高いと考えられる¹³⁾。しかし、他の磁場強度の装置でも MRA は可能であり、各磁場強度装置における診断精度も今後明確にする必要があるものと考えられる。

MRA の画像精度を高くすると小動脈瘤の検出能の向上の反面、偽陽性の増加が懸念される。MRA の診断精度を高め、不必要な検査を避けるためには偽陽性を減らすことが大切である。小動脈瘤の検出能と偽陽性についての読影実験では、動脈瘤の検出率は MIP 画像のみでは平均で 71.8% で、MIP 画像に元画像を追加する

と 93.5% となり、改善率は 21.7% で有意に改善した。確診例だけの検出率も平均で 50% から 88.3% に有意に改善し、改善率 38.3% である。確診と疑診で指摘できた病変中確診例の比率は MIP 画像だけでは平均で 68.0% で、元画像を追加することで 94.5% となった。元画像を追加することで検出率だけでなく、より強い確信を持って指摘できる確信度も改善することが明かとなった。今回の読影実験では MIP 画像の読影直後に元画像を追加して読影しているため、両者を独立した読影法として比較はできない。ただ読影者全員が元画像を参考にすることで検出率や確信度が改善しており、5 mm 以下の動脈瘤を指摘する際には MIP 画像に元画像を追加して読影することは有用と考えられた。興枘ら¹³⁾ は MIP 画像に元画像を追加しても有意な改善は認めていない。本研究における改善は、第 1 に、読影症例数が少なく、丁寧に観察することが可能であったこと、第 2 に全症例に動脈瘤の存在することが知らされていたこと、第 3 に読影者が MIP 画像に元画像を追加して最終評価を下す傾向が強かったことによると考えられる。過去の報告^{12), 13)} と比べて、対象が 5 mm 以下の動脈瘤であったにも拘わらず検出率が高かったことも上記の理由によるものと考えられる。5 mm 以下でも 3~5 mm の大きさと 3 mm 以下の大きさでは検出率に差を認めた。MRA 画像を丁寧に観察しても 3 mm 以下の動脈瘤は指摘困難となる危険性が高いと考えられた。偽陽性は MIP 画像のみでは読影者間で、1~8 個と大きな差を認めた。読影者 1 名につき平均で 4.1 個が指摘され、検討対象数を考えると高い比率と考えられた。しかし指摘された偽陽性 33 個中確診と判定したのは 8 個であり、各読影者間で疑診の診断基準に大きな差があることが推測された。放射線科医と脳神経外科医の偽陽性の差は、判定基準や未破裂脳動脈瘤に対する姿勢の違い³¹⁾ を反映するものと推察される。MIP 画像に元画像を加えることで、平均の偽陽性は 1 個となった。この偽陽性例の減

少は、読影者が MIP 画像に元画像を追加して最終評価を下す傾向が強かったことと、その際に検討対象数などを考慮して MIP 画像での偽陽性例を削除した可能性が原因の一端であることが推察される。

部位による検出能の差を比較するには今回の検討対象数では不十分であるため部位別に考察を加える。後交通動脈瘤に関しては MIP 画像のみでの検出率は低く、偽陽性も多く見られた。偽陽性の原因は後交通動脈起始部信号と考えられた。元画像を追加することで検出率は改善し、偽陽性も減少することから、5 mm 以下の動脈瘤を検出する場合には MIP 画像に元画像を併せて観察する必要があると考えられた。しかし、なお偽陽性例が残存し、本検査の限界と考えられた。前交通動脈瘤は、MIP 画像だけでも高い検出率が得られ、元画像を追加しても検出率は向上しない。しかし、元画像の併用で偽陽性例は減少することから、前交通動脈部の読影に元画像は有用であると考えられた。中大脳動脈分岐部の屈曲部信号が原因と考えられる偽陽性例が中大脳動脈部に多く認められたが、元画像を追加することで消失し、今回の検討では元画像は有用と考えられた。内頸動脈分岐部では元画像を追加しても偽陽性例が残り、本法での診断限界が示唆された。眼動脈部は偽陽性がなく、元画像を追加しても検出率の改善が少ないことから、MIP 画像のみでも比較的の高い診断精度が得られる部位と考えられた。

以上の読影実験の結果から、3～5 mm の小さな動脈瘤は MRA 画像を丁寧に読影すれば指摘可能で、さらに元画像を MIP 画像に加えて読影すれば検出率の向上および偽陽性の減少が期待できると考えられた。一方、動脈瘤の大きさや部位によっては MRA 診断に限界があることも明かとなった。今回の検討は動脈瘤の存在を知った上で、大きさおよび部位による検出能を評価したが、今後更に正常例を含めた多数例で MRA 診断の sensitivity および specificity を検討する必要もあると考えられる。また、そ

れらを踏まえて診断能の向上を試みることも肝要である。

MRA を脳動脈瘤のスクリーニング法⁷⁾として利用する試みが行われているが、まだその判定基準は明確にされていない。MRA だけでは動脈瘤の存在を確定できない症例に日常遭遇することは、現在の MRA の分解能を考えれば当然と考えられる。そこで 3D TOF 法を prospective に検討し、脳動脈瘤検出の判定基準と偽陽性例について検討した。その結果 7 例に脳動脈瘤を発見し、5 例が偽陽性であった。動脈瘤存在の判定が確定、疑診の 7 例にすべて脳動脈瘤を認め、CAG 上の大きさは 3～6 mm であった。この 7 例は MRA で計測される大きさは 2.5～5 mm であり、MRA 上の大きさが 2.5～3 mm 以上であれば動脈瘤の指摘は可能と考えられた。一方、MRA で動脈瘤存在の判定が判定不能とした 5 例はすべて偽陽性であり、MRA で計測される大きさは 2 mm 以下であった。MRA で 2 mm 以下の小動脈瘤を指摘する場合には偽陽性の危険性が高まることが示唆された。今回の検討にて、MRA 上で計測される大きさが動脈瘤判定の一つの基準となり得ることが考えられた。しかし、既知の動脈瘤で MRA を施行し、MRA 上の大きさが 2 mm 以下の症例も存在することから、大きさだけが判定基準とはならないと考えられる。偽陽性は前交通動脈部と後交通動脈部に認められた。中大動脈に偽陽性を認めなかったのは、診断時に積極的に元画像をモニター上で観察したり、選択的 MIP 画像を読影したためと考えられる。しかし、慎重に観察しても偽陽性を認めたのは大きさ以外にも原因が推察できる。前交通動脈部の偽陽性は、前大脳動脈 A1-A2 の屈曲部の一部が乱流により信号欠損を起こしたため、また前交通動脈の前大脳動脈との連続性が描出できなかったことが原因と考えられる。後交通動脈部の偽陽性は後交通動脈の大きさが関与していると考えられた。偽陽性 2 例とも比較的太い内径の後交通動脈が確認され、起始部直上に動脈

瘤様所見が認められた。これは後交通動脈分岐部に太い後交通動脈が原因となる血行動態により発生した乱流が、起始部頭側に信号欠損を起こしたためと推察される。後交通動脈瘤を検出する際には、後交通動脈の大きさや動脈瘤の後交通動脈との位置関係なども考慮に入れるべきと考えられる。

今回、偽陽性と判定された5例中3例がCTAのみで判定できた。CTAはMRAで見られる乱流による信号欠損は発生しない。MRAにて2mm以下の動脈瘤を疑った場合に、信号欠損による偽陽性なのか判定が困難な時、CTAは有用な診断法であると考えられた。MRAとCTAの比較検討が行われており、CTAの有用性が報告^{32)~34)}されているが、今後はスクリーニング法としてのMRAで判定困難な脳動脈瘤の確定はCTAで行われるようになると思われる。以上の検討で、MRAによる脳動脈瘤の判定は、まず大きさで行い、3mm以上であれば陽性とし、3mm以下であれば、部位、方向などを加味して判定することで高い診断水準が得られると考えられた。しかし、MRA画像を詳細に読影し偽陰性を避けようとするほど偽陽性が増加することは否定できず、読影は常に慎重に行うべきと考えられた。

結 語

1. MRAによる脳動脈瘤検出の診断精度をretrospectiveおよびprospectiveに検討した。
2. 脳動脈瘤検出を目的とする場合、3D TOF MRAが第一選択と考えられた。
3. 小動脈瘤検出に際しては3D TOF法のvoxel sizeを小さくして高分解能画像を得ることが必要と考えられた。高分解能MRAを得ることで3mm以上の脳動脈瘤は検出可能と考えられた。
4. 高分解能MRAにても偽陽性や偽陰性の危険性は否定できず、現時点のMRAの限界を認識することが必要と考えられた。特にMRA上2mm以下の大きさの動脈瘤の診断は

慎重に行うべきと考えられた。

5. MRAの読影はMIP画像に、元画像を追加して観察することが必要と考えられ、また一定の診断基準を持つことが必要と考えられた。

謝辞 稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました愛媛大学医学部放射線医学教室濱本研教授に深甚なる謝意を表します。

なお、本論文の要旨については第21回日本磁気共鳴医学会(1993年9月、筑波)と第80回北米放射線学会(1994年11月、シカゴ)において発表した。

文 献

- 1) Wehrli FW : Time-of-flight effects in MR imaging of flow. *Magn Reson Med*, 14 : 187-193, 1990.
- 2) 原田貢士 : 流体のMRI. 画像診断別冊, 10 : 36-45, 1991.
- 3) 三木 均, 濱本 研 : MR angiography. 画像診断, 14 : 7-15, 1994.
- 4) Ruggieri PM, Laub GA, Masaryk TJ, et al. : Intracranial circulation; Pulse-sequence considerations in three-dimensional (volume) MR angiography. *Radiology*, 171 : 785-791, 1989.
- 5) Dumoulin CL, Hart Jr. HW : Magnetic resonance angiography. *Radiology*, 161 : 717-720, 1986.
- 6) Pernicone JR, Siebert JE, Potchen EJ, et al. : Three-dimensional phase contrast MR angiography in the head and neck; Preliminary report. *AJR*, 155 : 167-176, 1990.
- 7) Ross JS, Masaryk TJ, Modic MT, et al. : Intracranial aneurysms; Evaluation by MR angiography. *AJR*, 155 : 159-165, 1990.
- 8) Sevic RJ, Tsuruda JS and Schmalbrock P : Three-dimensional time-of-flight MR angiography evaluation of cerebral aneurysms. *J Comput Assist Tomogr*, 14 : 874-881, 1991.
- 9) Schuierer G, Huk WJ, Laub G : Magnetic resonance angiography of intracranial aneurysms; Comparison with intra-arterial digital subtraction angiography. *Neuroradiology*, 35 : 50-54, 1992.
- 10) 馬淵順久, 津田永明, 福山秀直, 他 : MR アンジオグラフィによる脳動脈瘤のスクリーニング. 日

- 磁医誌, 12 : 1-7, 1992.
- 11) Ruggieri PM, Poulos N, Masaryk TJ, et al. : Occult intracranial aneurysms in polycystic kidney disease ; Screenind with MR angiography. *Radiology*, 191 : 33-39, 1994.
 - 12) 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.
 - 13) 興梠征典, 高橋睦正, 大内敏広, 他 : 日本磁気共鳴医学会・頭部 MRA スクリーニング検討委員会報告 (4) 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 の有用性の検討 : 第二次読影実験結果. *日磁医誌*, 14 : 415-421, 1994.
 - 14) Horikoshi T, Fukamachi A, Nishi H, et al. : Detection of intracranial aneurysms by three-dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography. *Neuroradiology*, 36:203-207, 1994.
 - 15) Ronkainen A, Puranen MI, Hernesiemi JA, et al. : Intracranial aneurysms ; MR angiographic screening in 400 asymptomatic individuals with increased familial risk. *Radiology*, 195 : 35-40, 1995.
 - 16) Stock KW, Radue EW, Jacob AL, et al. : Intracranial arteries; Prospective blinded comparative study of MR angiography and DSA in 50 patients. *Radiology*, 195 : 451-456, 1995.
 - 17) Anzalone N, Triulzi F and Scotti G: Acute subarachnoid haemorrhage ; 3D time-of-flight MR angiography versus intra-arterial digital angiography. *Neuroradiology*, 37:257-261, 1995.
 - 18) 古瀬和寛, 飯沼 武, 遠藤真広, 他 : 日本磁気共鳴医学会・頭部 MRA スクリーニング検討委員会報告 (2) 脳ドック実施医療機関アンケートとその集計結果について. *日磁医誌*, 13:187-195, 1993.
 - 19) Wehrli FW : Steady-state and non-steady-state pulse sequences, in *Fast-scan magnetic resonance : Principles and applications*, ed. by Wehrli FW, Raven Press, New York, 1991, pp26-40.
 - 20) 湯浅祐二 : GRASS 法. *画像診断別冊*, 10 : 115-122, 1991.
 - 21) Siebert JE, Rosenbaum TL: Image presentation and post-processing, in *Magnetic Resonance Angiography*, ed. by Potchen EJ, Haacke EM, Siebert JE, Alexander Gottschalk, Mosby, St. Louis, 1993, pp220-245.
 - 22) Aoki S, Sasaki Y, Machida T, et al. : Cerebral aneurysms ; Detection and delineation using 3D-CT angiography. *AJNR*, 13 : 1115-1120, 1992.
 - 23) Drake CG : Management of cerebral aneurysm. *Stroke*, 12 : 273-283, 1981.
 - 24) Jane JA, Kassell NF, Torner JC, et al. : The natural history of aneurysms and arteriovenous malformations. *J Neurosurg*, 62 : 321-323, 1985.
 - 25) Huston J, Rufenacht DA, Ehman RL, et al. : Intracranial aneurysms and vascular malformations ; Comparison of time-of-flight and phasecontrast angiography. *Radiology*, 181 : 721-730, 1991.
 - 26) Huston J, Nichols DA, Luetmer PH, et al. : Blinded prospective evaluation of sensitivity of MR angiography to known intracranial aneurysms ; Importance of aneurysm size. *AJNR*, 15 : 1607-1614, 1994.
 - 27) Edelman RR, Ahn SS, Chien D, et al. : Improved time-of-flight MR angiography of the brain with magnetization transfer contrast. *Radiology*, 184 : 395-400, 1992.
 - 28) Atkins D, Brantz-Zawadzki M, Gillan G. et al. : Improved MR Angiography; Magetization transfer suppression with variable flip angle excitation and increased resolution. *Radiology*, 190 : 890-894, 1994.
 - 29) Parker DL, Yuan C, Blatter DD, et al. : MR Angiography by multiple thin slab 3D acquisition. *Magn Reson Med*, 17 : 434-451, 1991.
 - 30) Parker DL, Haacke EM: Signal-to-noise, contrast-to-noise, and resolution. in *Magnetic Resonance Angiography*, ed. by Potchen EJ, Haacke EM, Siebert JE, Alexander Gottschalk, Mosby, St.Louis, 1993, pp56-79.
 - 31) 古瀬和寛, 飯沼 武, 遠藤真広, 他 : 日本磁気共鳴医学会・頭部 MRA スクリーニング検討委員会報告 (1) MRA ならびに脳ドックについての全国大学宛アンケート集計結果. *日磁医誌*, 13 : 86-92, 1993.
 - 32) Katz DA, Marks MP, Napel SA, et al. : Circle of Willis; Evaluation with spiral CT angiography, MR angiography, and conventional angiography. *Radiology*, 195 : 445-449, 1995.
 - 33) Schwartz RB, Tice HM, Hooten SM, et al. : Evaluation of cerebral aneurysms with helical CT; Correlation with conventional angiography and MR angiography. *Radiology*, 192 : 717-722, 1994.
 - 34) 小倉祐子, 片田和廣, 佐野公俊, 他 : Helical scanning CT (HES-CT) を用いた脳動脈瘤及び周囲血管の描出能の検討. *日医放誌*, 54 : 965-974, 1993.

Evaluation of Diagnostic Accuracy of Cerebral Aneurysms on MR Angiography

Hitoshi MIKI

*Department of Radiology, Ehime University School of Medicine
Shigenobu-cho, Onsen-gun, Ehime 791-02*

The purpose of this study was to evaluate the diagnostic accuracy of MR angiography (MRA) for detection of intracranial aneurysms (IAs) by prospective and retrospective examinations. The detection rates for MRA were : 3D time-of-flight (TOF), 94.2% (n=69) ; 3D phase contrast (PC), 75% (n=20) ; 2D TOF, 68% (n=25) ; and 2D PC, 59.4% (n=32). In aneurysms smaller than 5-mm, the detection rates were : 3D TOF, 87.9% (n=33) ; 3D PC, 42.9% (n=7) ; 2D TOF, 0% (n=8) ; and 2D PC, 14.3% (n=14). In the detection of IAs smaller than 5-mm, 3D TOF was superior to other MRA methods. Four IAs could not be detected by 3D TOF with a standard voxel size. These four IAs smaller than 3-mm were detected by 3D TOF with a small voxel size. In the blinded examination, the detection rate of IAs using MIP images was 71.8%, however, it using MIP and source images was 93.5%. False positive cases were reduced by using source images. In prospective study including 200 cases, IAs smaller than 5-mm were detected in 12 individuals underwent conventional angiography or CT angiography. Seven of them were true positive, however, 5 smaller than 2-mm on MRA were false positive. In conclusions, IAs 3-mm or larger can be identified by 3D TOF MRA with a small voxel size ; however, IAs smaller than 2-mm on MRA are difficult to detect without false positive.