

特集 最新検査法の小児頭部画像診断への応用

2. MRA

北島美香, 興梠征典, 高橋睦正

熊本大学医学部 放射線科

MR angiography for Evaluation of Pediatric Central Nervous System

Mika Kitajima, Yukunori Korogi, Mutsumasa Takahashi

Department of Radiology, Kumamoto University School of Medicine

Abstract

MR angiography (MRA) is a non-invasive means for evaluation of cerebrovascular diseases without contrast agents. In particular, MRA is also useful for screening and follow-up studies of cerebrovascular diseases in the pediatric group. Although advanced MRA techniques enable visualization of the precise vessel condition, MRA cannot replace catheter angiography currently. In this paper, we summarize the basic MRA techniques and recent advances. The limitations of MRA for stenotic lesions and intracranial aneurysms are also discussed. We present the MRA findings of several pediatric cerebrovascular diseases.

Keywords : MR angiography, Pediatric neuroimaging

はじめに

MR血管撮影(MR angiography: MRA)は脳動脈瘤, 閉塞性疾患, 脳動静脈奇形といった脳血管疾患のスクリーニングや経過観察に多用されているが, 非侵襲的にX線被曝を伴うことなく脳血管を描出できるという特徴により, 小児中枢神経領域においても有用性が高い。ここでは, MRAの基本的な撮像法とその特徴について述べ, 次に, 小児中枢神経疾患の中で特にMRAが有用であると思われる疾患について, そのMRA所見を中心に述べる。

MRAの撮像法

頭部MRAの撮像法には, 磁場の影響を受けないプロトンの流入効果を利用したtime-of-flight(TOF)法と, 傾斜磁場を印加して得られ

る血流磁化ベクトルの位相変化を利用して血流を描出するPhase-contrast(PC)法がある。各々に, 2次元(2DFT)または3次元フーリエ変換(3DFT)法がある。

1. Time-of-flight(TOF)法

TOF法では, 撮像範囲内に新たに流入してきたスピン(血流)は撮像範囲内にとどまっているスピン(脳組織など)より高信号に描出される。また, この信号は撮像範囲流入側で最も強く, 撮像範囲内を血流が移動するにつれ, 血流内のスピンは飽和し, 撮像範囲流出側では信号が低下する。2Dと3D-TOF法を比較すると, 2D-TOFは, motion artifactに強く, 遅い流れに感度が高く, 静脈系の描出に優れ, また, 撮像時間が短く広範囲が撮像できる。そのため, 頸動脈のスクリーニングや, 静脈洞血栓症などの静

脈疾患に用いられることが多い。一方、スライス面内を流れる血流には敏感でないため、複雑な走行をする血管の描出は難しい。3D-TOFは空間分解能が高く、速い流れに感度が高い、高い信号雑音比を得ることができるなどの利点があり、一般に頭蓋内動脈系の診断に用いられる。一方、撮像時間がやや長く体動の影響を受け易い、静脈系の描出が難しい、scan範囲が限定される、という欠点がある。得られた画像は、最大輝度投影法(maximum intensity projection: MIP)を行うことにより、血管のみが描出される。

2. Phase-contrast(PC)法

PC法の利点は強度画像と位相画像が得られる、バックグラウンドの抑制がよい、ボクセル内の位相の分散や飽和効果の影響が少ないことであり、血流の向きや血流速度を知るためにはよい方法である。しかし、撮像時間が長い、適切なvelocity encoding (VENC)の設定が必要である、などの制約があり、ルーチン検査に用いられることは少ない。

3. 応用的な撮像技術

先に述べたように、頭蓋内動脈の診断には一般に3D-TOF MRAが用いられるが、さらに末梢血管の描出を改善するために、Magnetization Transfer Saturation (MTS)法や、Tilted Optimized Non-saturating Excitation (TONE)法が併用される。MTSは、自由水を多く含む血管の信号には影響が少なく、結合水を多く含む脳組織の信号のみを選択的に抑制し、バックグラウンドの信号を抑える方法である。TONEはスラブ内の流出側で、spinの飽和を抑制するために、フリップ角を段階的に変化させる方法である。また、最近では画質の向上と撮像時間の短縮を目的に、zero-fillingが用いられるようになった。zero-fillingは、k-spaceの高周波成分のデータに近似値としてゼロを入力(zero-filling)した後で再構成を行う方法である。これをスライス方向に用いると、結果的に実際の撮像枚数より多くの枚数が得られ、MIP像での血管の階段状のartifactが軽減する(Fig.1)。この

他、造影剤を用いることにより、静脈系の描出が可能となる他、T1短縮効果により末梢側の血管の描出が良くなる。

我々の施設では小児に対しても成人と同じ撮像パラメータを用い、頭部MRA画像を7分弱で得ている。小児では、血流が速く、動脈硬化性変化が少ないことなどより、高齢者に比べると末梢側まで描出される¹⁾。

最近、造影剤をボラスで注入し、高速の撮像を用いて造影剤が動脈に到達した時点で撮像を行う造影MRAが臨床の場で広く使われている。頸部の血管性動脈病変などに極めて有用である(Fig. 2)が、やや侵襲的になることなどより、小児における臨床的応用はまだ確立してない。

4. MRAの限界と問題点

MRAの診断にあたっては、その限界や問題点をよく理解しておく必要がある。

狭窄性病変ではMRAは一般に狭窄の程度を強調して描出することは広く知られている。成人例を中心に頭蓋内病変の検出能を検討した我々のデータでは、正常あるいは50%以下の軽度の狭窄例では、MRAは狭窄の状態を良好に描出したが、50%以上の狭窄に対する感度は内頸動脈で26.3%、中大脳動脈で60.4%、閉塞では内頸動脈で72.2%、中大脳動脈で62.1%であった³⁾。内頸動脈のサイフォン部付近では磁場の不均一や層流による信号低下が正常でもみられるため、病変とアーチファクトの区別が困難な場合があるが³⁾、原画像を併せて読影することにより診断率は向上する⁴⁾。Ganesanら²⁾は、脳虚血性疾患を持つ小児例でMRAと血管造影を比較している。それによると約90%の症例ではMRAで診断できたが、4例では血管造影上は異常があるにもかかわらず、MRA上異常が指摘できなかったと報告している。動脈瘤については、MRAの感度は約63%であり⁵⁾、特に5mm未満の動脈瘤の検出能が低いと報告されていたが、最近のMRA技術の向上に伴い検出能は著明に向上している。動脈瘤においても、原画像を併せて読影することにより検出感度が高くなる⁶⁾。また、selective MIP(target MIP)

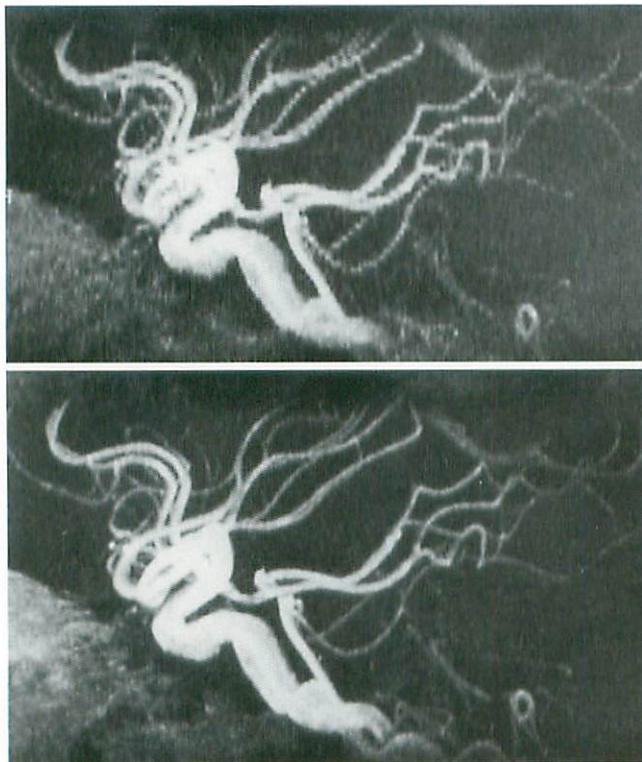


Fig.1 MRA of a 31-year-old normal volunteer
a : MRA without zero-filling technique shows step ladder artifacts of arteries.
b : Zero-filling technique can reduce the artifacts.

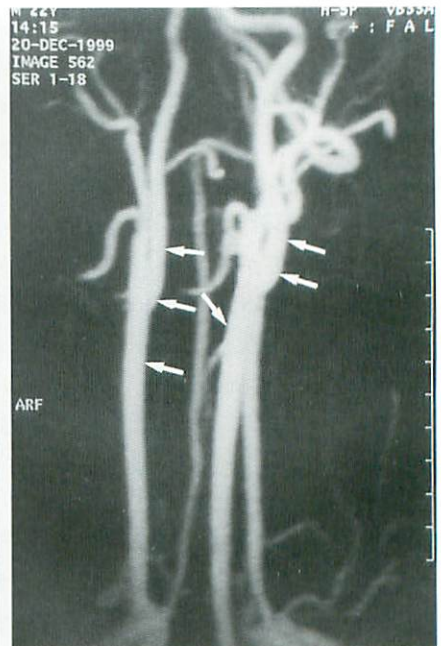


Fig.2
Contrast-enhanced MRA of a 22-year-old normal volunteer using fast 3D gradient recalled acquisition technique with contrast bolus injection. Coronal MIP image shows normal carotid arteries (arrows) without venous enhancement or flow-related signal loss.

と言われる、必要な部位に絞ったMIP像や、MIP像を回転させた像をfilm上でステレオ視することなどにより、血管の重なりを避け、より正確な診断が得られる。

ただし、現時点では、狭窄性病変の程度、動脈瘤の形態や大きさ、血流動態を正確に評価するためにはX線血管撮影が必須である。

小児中枢神経領域の血管性病変に対するMRAの応用

1. 動脈疾患

1) モヤモヤ病

モヤモヤ病は、両側性に内頸動脈のsupraclinoid portionから前大脳動脈、中大脳動脈起始部に閉塞性病変を生じ、レンズ核線状体動脈、視床穿通動脈あるいは、脳軟膜、硬膜などを介

した側副血行路が出現する原因不明の進行性疾患である。小児では、泣いた時など、過換気の状態で虚血症状で発症することが多い。MRAは、モヤモヤ病のスクリーニングに優れており、画像上脳梗塞を認めない初期においても、内頸動脈の狭窄の状態、範囲、側副血行路の状態を知ることができる(Fig.3)。MRAとMRIを同時に読影することにより閉塞性病変が60～88%、モヤモヤ血管が67～92%の感度で検出され、両者合わせての正診率が73～92%程度と報告されている⁷⁾。脳軟膜を介した微細な側副血行路は通常のMRAでの描出は難しいが、造影T1強調像にて脳表に沿った線状のenhanceとして認められる。代表的な治療として、浅側頭動脈と中大脳動脈の吻合(STA-MCA bypass)や、硬膜や筋肉を介したencephalo-duro-arterio-

synangiosis, encephalo-myo-synangiosis, encephalo-myo-arterio-synangiosisなどのバイパス術が行われる。治療後の血流動態の評価は、presaturation pulseを併用したMRAにより、吻合した動脈から中大脳動脈への血流を確認できる(Fig.4)。

2) モヤモヤ病と類似した所見を呈する疾患

モヤモヤ病と似た病態を示す疾患においてもMRAが有用である。

neurofibromatosis type-Iは神経皮膚症候群のなかで最も血管異常を伴うことが多く、その90%は狭窄、閉塞性病変である、intimal hyperplasiaにより、進行するとモヤモヤ病と同様の所見を呈する(Fig.5)。また、頭部放射線治療後に一定の期間において、動脈に狭窄性病変が出現し、

モヤモヤ病に類似する所見を呈することがある(Fig.6)。原疾患として視神経膠腫、下垂体腺腫、頭蓋咽頭腫といった傍鞍部の腫瘍が多く、治療の時期は0～10歳代までがほとんどであり、発症までの期間は半数以上が10年以内である⁸⁾。これらの症例ではMRAによるスクリーニングを積極的に施行し、初期に病変を発見することが重要である。

この他、日本では稀な疾患であるが、sickle cell diseaseにおいても内頸動脈や、中大脳動脈、前大脳動脈近位側の狭窄がみられ、側副血行路の形成によりモヤモヤ病と類似した状態を示す。MRAの有用性については、狭窄性病変の正診率が85%、感度80.5%、特異度は94%との報告がある⁹⁾。

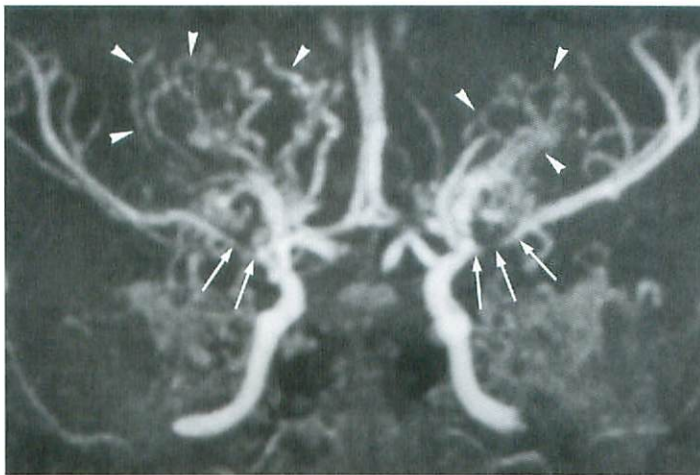


Fig.3

A 3-year-old girl with moyamoya disease; MRA (coronal selective MIP image) depicts stenocclusive changes of bilateral internal carotid arteries (ICA) and middle cerebral arteries (MCA) (arrows), and moyamoya vessels at the bilateral basal ganglia regions (arrowheads).



Fig.4

An 8-year-old boy with moyamoya disease treated by superficial temporal artery (STA)-MCA anastomosis; MRA with mid-sagittal presaturation pulse shows selective flow signal caused by extracranial to intracranial flow through STA-MCA anastomosis. Patency of anastomoses can be more specifically confirmed with this image.

3) その他の全身疾患に伴う vasculopathy

Ehlers-Danlos症候群, Menkes kinky hair disease, tuberous sclerosis, fibromuscular dysplasiaなどの疾患において頭蓋内動脈の異常を伴うことが報告されており, スクリーニングとしてMRAの適応がある¹⁰⁾. Ehlers-Danlos症候群でみられる血管異常は, 特発性の動脈破裂や動脈解離, 大・中動脈の動脈瘤などである. 動脈瘤は海綿静脈洞に発生することが多く, 頸動脈-海綿静脈洞瘻となることもある(Fig.7). Menkes kinky hair diseaseでは, 脳動脈の延長, 蛇行がみられ, fibromuscular dysplasiaでは脳動脈の狭窄や解離の報告がある^{10,11)}.

その他, 先天性心疾患やホモシスチン尿症, 血液過凝固状態を呈する疾患(プロテインC欠損症など)なども動脈の閉塞, 狭窄を来すことがある¹²⁾.

4) angitis

angitisには, 中枢神経系に限って起こる primary angitis of the CNS(PACNS)と, 髄膜炎, polyarteritis nodosaやWegener肉芽腫症, systemic lupus erythematosus(SLE)に伴う2次的なものがある¹⁰⁾. 血管造影では, 種々のサイズの動脈の不整, 狭小化や, その遠位の拡張といった所見がみられるが, 病変が軽微な場合を除きMRAによる初期診断は可能と思われる.

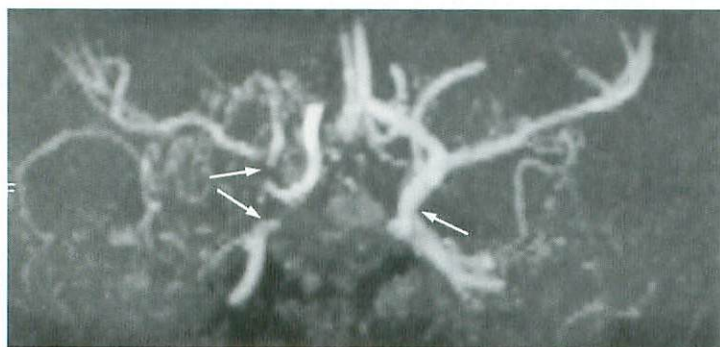


Fig.5

A 15-year-old girl with neurofibromatosis type I without neurological abnormalities; MRA (coronal selective MIP image) depicts stenotic changes of bilateral ICAs and MCAs (arrows).

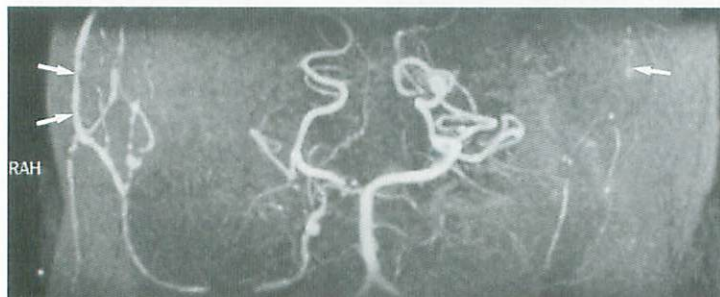


Fig.6

An 18-year-old woman who had received operation and radiation therapy for hypothalamic glioma 11 years before; MRA (coronal MIP image) shows occlusion of left ICA, stenosis of right ICA and bilateral MCA. Right PCA stenosis and bilateral bypass are also observed (arrows).

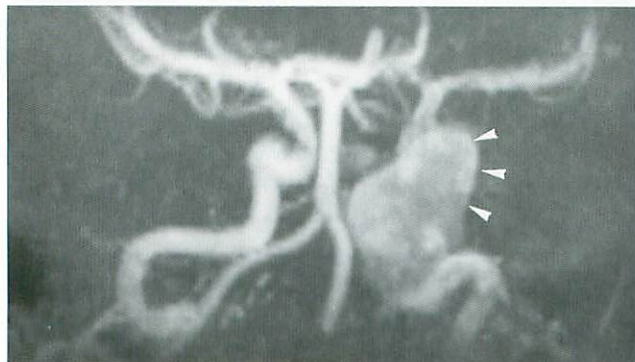


Fig.7

A 6-year-old boy with a giant aneurysm; MRA (coronal MIP image) shows a giant aneurysm of left ICA at the cavernous portion (arrowheads).

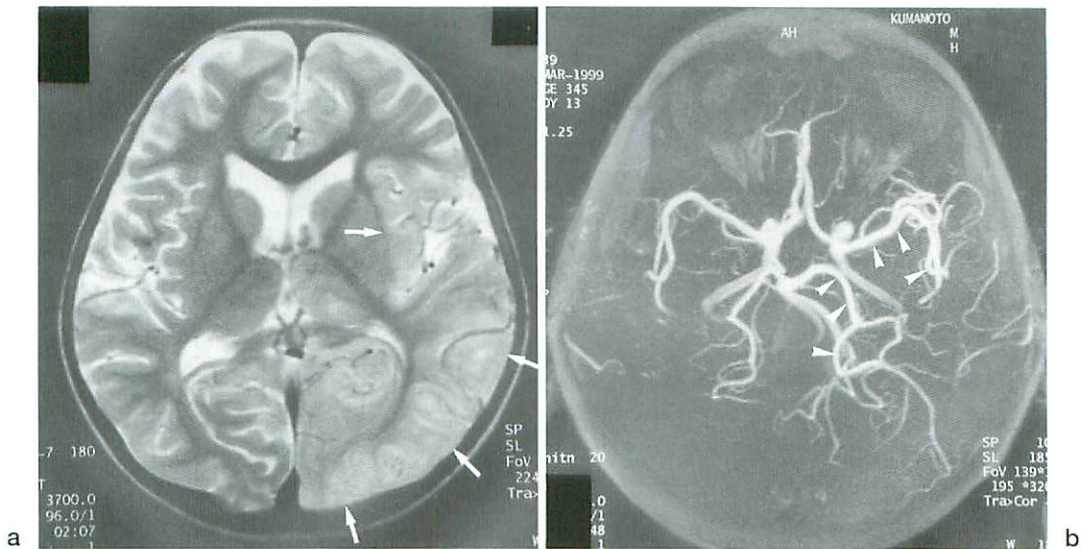


Fig.8 A 4-year-old girl with post ictal brain swelling. She had received hemodialysis for nephrotic syndrome and seizure had lasted for four days.

a : An axial T2-weighted image shows swelling and increased signal of left occipital and temporal lobe (arrows).

b : MRA (axial MIP image) shows dilatation of left MCA and PCA (arrowheads).

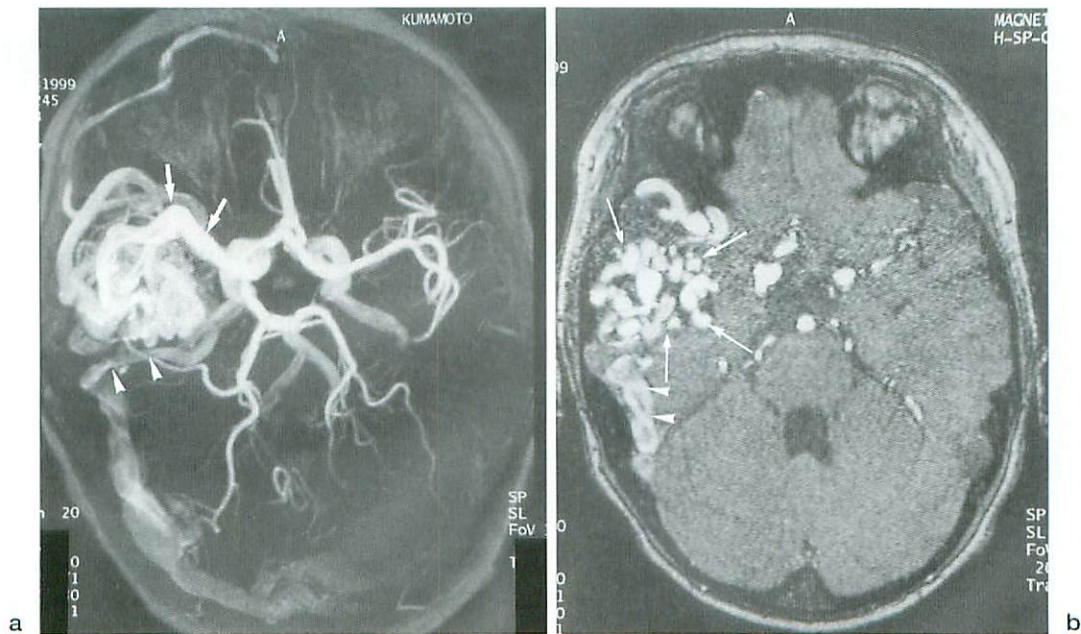


Fig.9 A 7-year-old girl with arteriovenous malformation of right temporal lobe without neurological abnormalities;

a : MRA (axial MIP image) shows a giant nidus of right temporal lobe with dilated left MCA as a feeding artery (arrows), and draining vein (arrowheads).

b : Nidus (arrows), feeding arteries (not shown on this image) and draining veins (arrowheads) can be accurately depicted on source image.

5) 動脈瘤

小児の脳動脈瘤は成人に比べ稀である。小児では、一般に大きな動脈瘤が多く、成人に比べ、ウイルス輪以外、特に中大脳動脈末梢側にみられることが多い。また、進行したモヤモヤ病や、AVMに合併することもある。先に述べたMRAの動脈瘤の検出率の限界などを理解し、読影することが重要である。

6) その他

小児に特有ではないが、痙攣後の脳腫脹などhyperperfusionによる血管拡張の診断にもMRAは有用である(Fig.8)。

2. 血管奇形

脳動静脈奇形(AVM)においてMRAは流入動脈やnidus、導出静脈を描出することができる(Fig.9a)。しかし、詳細な血管構築やshunt量、shunt速度などの血行動態を把握するには通常のX線血管撮影が必須である。AVMにおけるMRAの役割の一つは、定位放射線治療による治療計画やnidusの大きさの治療前後の経過観察にある。また、造影剤を用いたり、元画像を読影することにより、nidus、流入動脈、導出静脈などがより詳細に評価できる(Fig.9b)。

頭頸部、顔面の皮膚血管腫には中枢神経系の

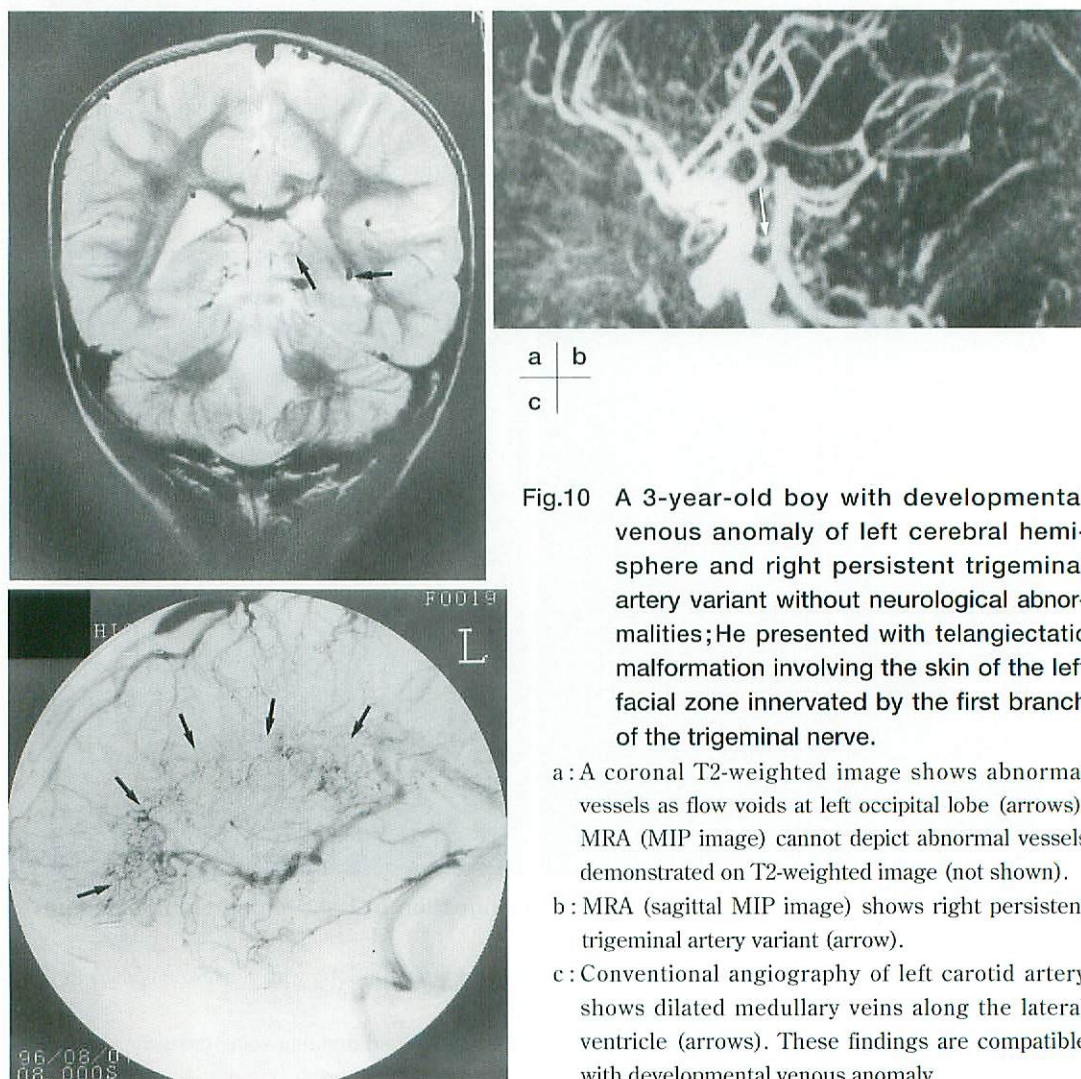


Fig.10 A 3-year-old boy with developmental venous anomaly of left cerebral hemisphere and right persistent trigeminal artery variant without neurological abnormalities; He presented with telangiectatic malformation involving the skin of the left facial zone innervated by the first branch of the trigeminal nerve.

- a: A coronal T2-weighted image shows abnormal vessels as flow voids at left occipital lobe (arrows). MRA (MIP image) cannot depict abnormal vessels demonstrated on T2-weighted image (not shown).
- b: MRA (sagittal MIP image) shows right persistent trigeminal artery variant (arrow).
- c: Conventional angiography of left carotid artery shows dilated medullary veins along the lateral ventricle (arrows). These findings are compatible with developmental venous anomaly.

異常を高頻度に伴うことが多く、特に小児例において報告が多い。血管腫と同側の遺残動脈、内頸動脈や椎骨動脈など主幹動脈の無形成、内頸動脈の拡張や異常な分枝、主幹動脈の狭窄、閉塞性病変といった血管性病変のほか、小脳低形成や大脳皮質形成異常を伴うこともある^{13,14)} (Fig.10)。頭頸部、顔面に血管腫のある小児ではスクリーニングとして非侵襲的なMRAをまず施行することが望ましい。

Developmental venous anomalyは静脈が発達する過程での変異と考えられている。一般的には、拡張した静脈より成り、放射状に配列する髄質静脈と1本の太い流出静脈を持つ。この特徴は、血管造影にて“umbrella sign”としてみられる。Developmental venous anomalyは流速や血流が一定しないため、3D-TOF-MRAでの描出は難しい。しかし、造影剤を投与することにより、細かい髄質静脈が描出され、血管造影と同様に“umbrella sign”が認められる。

3. 静脈性疾患

小児では先天性心疾患、脱水などが原因とな

り、静脈洞血栓症を来すことがある^{10,11)}。静脈洞血栓の診断には、2D-MRAが簡便で有用である (Fig.11a)。しかし、2D-MRAは分解能が低いという欠点があるため、我々は造影MP-RAGE (magnetization prepared rapid gradient echo)法を用いている。この撮像法では、血栓は、造影剤で満たされた正常の静脈洞の内部に欠損像として認められる。撮像時間は10分弱と長くなるものの、静脈洞内血栓の描出には優れている (Fig.11b)。

おわりに

MRAの技術は急速に進歩しており、短時間で、高分解能の画像が得られるようになってきた。小児中枢神経疾患においてもMRAが重要な検査となる場合が多く、特にスクリーニング、経過観察に有用である。しかし、MRAの限界と問題点、特徴を十分に理解した上で、適切な撮像法を選択し読影することが必要である。

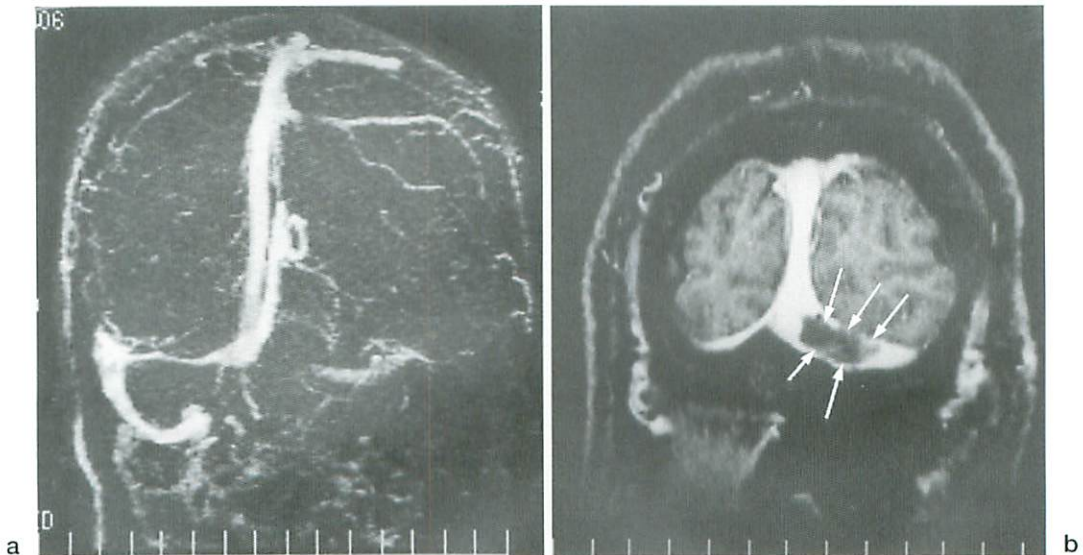


Fig.11 A 62-year-old man with dural sinus thrombosis

- a: 2D-TOF-MRA (coronal MIP image) shows obstruction of left transverse sinus and sigmoid sinus.
- b: Thrombus is demonstrated as a filling defect in the left transverse sinus (arrows) and sigmoid sinus (not shown on this image).

●文献

- 1) Kajiya Y, Kajiya Y, Nakajo M: Age-related changes in cerebral MR angiography. *Journal of the Neurological Sciences* 1997 ; 145 : 195-203.
- 2) 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* 1994 ; 193 : 187-193.
- 3) Korogi Y, Takahashi M, Nakagawa T, et al : Intracranial vascular stenosis and occlusion: MR angiographic findings. *AJNR* 1997 ; 18 : 135-143.
- 4) Ganesan V, Savvy L, Chong K.W, et al : Conventional cerebral angiography in children with ischemic stroke. *Pediatric Neurology* 1998 ; 20 : 38-42.
- 5) Korogi Y, Takahashi M, Mabuchi N, et al: Intracranial aneurysms : diagnostic accuracy of three-dimensional, Fourier transform, time-of-flight MR angiography. *Radiology* 1994 ; 193 : 181-186.
- 6) 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* 1996 ; 199 : 199-207.
- 7) Hasuo K, Mihara F, Matsushima T : MRI and MR angiography In Moyamoya disease. *JMRI* 1998 ; 8 : 762-766.
- 8) Bitzer M, Topka H: Progressive cerebral occlusive disease after radiation therapy. *Stroke* 1995 ; 26 : 131-136.
- 9) Kandel A Y, Zimmerman R A, Ohene-Frempong K : Comparison of magnetic resonance angiography and conventional angiography in sickle cell disease: clinical significance and reliability. *Neuroradiology* 1996 ; 38 : 409-416.
- 10) Osborn A G: Nonatheromatous vasculopathy In: Osborn A.G. edt. *Diagnostic angiography*. 2nd ed. Lippincott Williams & Wilkins 1999 ; 341-358.
- 11) Chiu Nan-Chang, Long GR, Heinz ER : Intracranial fibromuscular dysplasia in a 5-year-old child. *Pediatric Neurology* 1996 ; 14 : 262-264.
- 12) Halbach VV, Barkovich JA : Anomalies of cerebral vasculature. *Pediatric neuroimaging* (2nd ed), Ed by Barkovich JA. New York, Lippincott-Raven, 1996, p619-354.
- 13) Pascual-Castroviejo I, Viano J, Moreno F, et al : Hemangiomas of the head, neck, and chest with associated vascular and brain anomalies: a complex neurocutaneous syndrome. *AJNR* 1996 ; 17 : 461-471.
- 14) Burrows PE, Robertson R, Mulliken JB, et al : Cerebral vasculopathy and neurologic sequelae in infants with cervicofacial hemangioma : report of eight patients. *Radiology* 1998 ; 207 : 601-607.