

大血管の MRI, MRA

吉岡 邦浩

岩手医科大学循環器医療センター放射線科

はじめに

大血管は解剖学的に頭尾方向に長く存在するという特徴があることから、矢状断や冠状断など自由な撮像断面を設定できる MRI, MR angiography (MRA) の有用性は高い。特に MRA は造影剤を使用する MRA (造影 MRA) が登場してからこれに適合したパルス系列の開発によって急速に発展した領域であり、大血管領域においてもその恩恵を強く受けている。一方、多列検出器を搭載した CT (multidetector-row CT, MDCT) を用いた CT angiography (CTA) も近年盛んになり、大血管領域においても MRA と競合する状態となっている。本稿ではこのような背景も踏まえて、大動脈瘤や大動脈解離など日常の臨床でしばしば遭遇する疾患を中心に、大血管疾患の診断や治療に役立つ実践的な MRI, MRA の応用について述べる。

撮 像 法

1. MRI

スピンエコー (SE) 法あるいは高速スピンエコー (FSE) 法が基本である。胸部大動脈や肺動静脈の評価においては心電図あるいは脈波同期法を使用する必要がある。造影剤を用いることなく血管壁と内腔の観察ができ、かつ任意断面での撮像が可能な利点をもつ。一方で撮像時間が長いことや遅延血流によるアーチファクトの出現、呼吸や不整脈に起因する画質の劣化

といった欠点も存在する。大動脈瘤などでは遅延血流によるアーチファクトがしばしば出現するが、そのような場合には血流信号を抑制する black blood 法が有用である。撮像は体軸横断像が基本である。必要に応じて冠状断や大動脈の長軸に沿った斜位矢状断像などを追加する。

2. シネ MRI

心電図又は脈波同期下にグラディエントエコー (GRE) 法を用いて同一断面で多時相の画像を得る方法である。大血管疾患では大動脈解離において入口部 (entry) の観察に用いる場合がある。造影剤を用いることなく血流動態の観察ができる利点があるが、撮像時間が長いことと、基本的にはシングルスライスでの撮像なので撮像範囲に限られる欠点がある。最近では true FISP 法が用いられることもある。冠動脈などの心電図同期が必要な部位の MRA の元画像としても利用が可能である。

3. MRA

大血管領域では造影 MRA が一般的である¹⁾。その理由は、大血管は屈曲や蛇行をしており、また大動脈瘤などの病変部ではしばしば乱流が起きているので TOF (time-of-flight) 法や PC (phase-contrast) 法では十分な血流信号を得ることができないためである。造影 MRA では造影剤による血液の T₁ 短縮効果を撮像原理としているため屈曲部や乱流部でも画像化に支障はない。この他にも造影 MRA は非造影 MRA と比較して、撮像時間が短い、空間分解能が高い、撮像面の設定の自由度が高いな

キーワード aorta, great vessel, aortic aneurysm, MRI, MRA

どの利点を有している。造影 MRA には様々な撮像方法があるが、ここでは造影剤の投与方法によって大きく二つに分けて述べる。その理由は大血管疾患に対して造影 MRA を行う場合に、これから述べる二つの方法を知っておけば実践的な造影 MRA が可能だからである。

1) Bolus injection 法

毎秒 1~3 ml 程度の速度で造影剤を急速注入し、造影剤のファーストパスの状態を撮像する方法。この方法が造影 MRA の撮像法として現在最も一般的である。本法では画像のコントラストを決定する k-space の低周波成分を撮像の始めに収集する centric view ordering を用いて撮像することが多い。したがって、この方法では目的とした血管に造影剤が到達したことを正しく知ることが重要である。到達を知る方法は大きく分けて三つある。一つは少量の造影剤を用いてテスト注入を本スキャンに先だてて行い、造影剤の到達時間を求める方法。もう一つはあらかじめ関心領域を設定しておき、装置が造影剤の到達を感知したら自動的に撮像を開始する方法 (Smart prep 法, GE 社)。最後の一つは MR 透視の機能を用いてリアルタイムで表示される画像を観察し、造影剤の到達を目視確認して撮像を開始する方法である (Fluoro prep 法, GE 社)。

Bolus injection 法での撮像時間はおおむね 30 秒程度であるので、呼吸停止下での撮像に最も適している。静脈の混入がなく、コントラストの高い画像が得られる利点がある。胸部大動脈瘤、腹部大動脈瘤や成人の大動脈弓部奇形などが本法の良い適応である。注意点として、大動脈瘤などで血流が遅延していて造影剤の通過に時間を要するような場合、瘤より下流の血管の描出が不良となる場合がある。

肺動脈などの撮像で静脈の混入をなるべく避けたいときには、k-space の低周波成分をより速く取得する elliptic centric view ordering

を用いることもある。また、ある程度時間分解能を犠牲にしても時間分解能を重視したい場合には time resolved MRA と呼ばれる方法もある。これは数秒から十数秒の撮像を連続的に繰り返し行い、造影剤の通過を観察するものである。具体的には肺のパーフュージョンや大動脈解離で真腔や偽腔の血流動態を観察したい場合に使用する。

2) Slow infusion 法

毎秒 0.2~0.3 ml 程度のゆっくりとした注入速度で造影剤を投与しながら、1分~5分程度の時間をかけて撮像する方法である。造影 MRA が最初に報告された際に用いられた撮像方法である²⁾。コントラスト決定時間を撮像時間の中央部分に設定した sequential view ordering を用いる。したがって撮像時間の半分の時間に目的とする血管に造影剤が到達しているように注入する。しかし、本法では撮像時間が数分と長いので、その分コントラスト決定時間も長くタイミングをとるのは比較的容易であり、bolus injection 法の項で述べたようなテスト注入等のタイミングを計る操作も不要である。

また、本法は呼吸停止ができない被験者に対して利用できる利点がある。この点は大動脈瘤などの動脈硬化性の疾患では対象が高齢者の場合が多いので臨床的に有用性が高い。また、呼吸停止が不可能な新生児や小児にも応用が可能であるので、大動脈縮窄症や動脈管開在症をはじめとする大動脈弓部奇形などが良い適応である。また、本法では bolus injection 法と比べて高い空間分解能が設定できるのも利点で、Adamkiewicz 動脈などの細い動脈もこの方法で描出できる。さらには、空間分解能が高く、造影剤の到達タイミングにも敏感でないことから偽腔開存型の大動脈解離も良い適応である。

本法の欠点は、呼吸や心拍動によるアーチファクトの混入、静脈の混入がある程度避けら

2003年8月7日受理

別刷請求先 〒020-8505 岩手県盛岡市内丸 19-1 岩手医科大学循環器医療センター放射線科 吉岡邦浩



Fig. 1. A 78-year-old man with graft replacement of aortic arch
a : A bolus injection method of MRA with breath holding.
b : A slow infusion method of MRA with normal respiration.

れない点にある。しかし、臨床的な使用においてはほとんど問題とならない場合が多い (Fig. 1)。

代表的疾患

大血管疾患においてMRIやMRAに対してどのような情報を期待するかは疾患や施設の事情により多少の差があると思われる。しかし一般的には、単純写真、US、CTなどで大血管疾患の存在が疑われた場合や、大血管疾患の存在診断は既に確定しているが手術などの治療を前提とした精密な検査法としてMRIやMRAが行われることが多い。この際にはMRAに対しては従来の血管造影検査と同等の情報を得ることが期待される。また、放射線の被曝がないことから、内科的治療の適応となった症例や術後の経過観察が良い適応である。

1. 大動脈瘤

1) 腹部大動脈瘤 (abdominal aortic aneurysm,

AAA)

AAAの大多数は動脈硬化性の真性瘤で腎動脈分岐部より末梢に好発する。画像診断の要点は、①瘤の存在部位、②瘤の形態(紡錘状、嚢状)、③瘤径の評価である。これらの評価にはSE法を用いたMRIが適している。手術の術前情報が必要となった場合にはこれらに加えて、①腎動脈とAAAとの距離、②腸骨動脈の病変(瘤化や狭窄、閉塞)、③下腸間膜動脈の開存性の評価が必要となる。手術に際して下腸間膜動脈と左右の内腸骨動脈の計3本の血流がすべて途絶えると術後に腸管虚血を惹起する可能性が高くなるので、これら3本のうち少なくとも1本は再建する必要がある。したがって術前にこれらの動脈の状態を術前に評価することが重要である (Fig. 2)。細い分枝を評価する際には目的とした動脈のみを描出するMPR (multiplanar reconstruction) 法やpartial MIP法が有用である。撮像にはbolus injection法による呼吸停止下の造影MRAが最も適している。



Fig. 2. A 72-year-old woman with abdominal aortic aneurysm
a: Maximum intensity projection (MIP) image of MRA shows a fusiform shape infrarenal abdominal aortic aneurysm (AAA). It is able to assess the distance between renal artery and AAA, status of bilateral common iliac artery, internal iliac artery and external iliac artery.
b: An oblique coronal partial MIP image of MRA shows inferior mesenteric artery (arrow) branched from upper portion of abdominal aortic aneurysm.

AAA では Smart prep 法が有用で、瘤内に tracker (関心領域) を設定することでほとんどの場合でタイミングを逸することなく撮像することができる。

CT と比較した場合、MRA は空間分解能が劣る点と石灰化の情報が得られない欠点がある。石灰化の情報は手術に際しては特に重要である。また最近の MDCT では上述の診断の要点も容易に得られることから MRI, MRA よりも MDCT が優先される場合が多い。MRA はヨード性造影剤にアレルギーがある場合や腎機能障害がある症例に推奨される。また、腸骨動脈に強い石灰化が存在し MDCT では内腔の評価が困難なときにも MRA は有用である。

2) 胸部大動脈瘤 (thoracic aortic aneurysm, TAA)

TAA の多くも動脈硬化性の真性瘤で弓部から近位下行大動脈にかけて好発する。診断の要点は、①瘤の存在部位、②瘤の形態 (紡錘状、囊状)、③瘤径の評価と AAA と同様である。手術に際してはこれらに加えて弓部分枝と TAA との位置関係が必要となる。この評価には MRA が適している。また、TAA は AAA と比較して囊状の形態を呈する頻度が高いが、この場合は MIP 法よりも volume rendering (VR) 法等を用いた三次元表示が全体像の把握には有用である (Fig. 3)。撮像には AAA と同様に呼吸停止下の bolus injection 法が適してい



Fig. 3. A 65-year-old man with thoracic aortic aneurysm

A volume rendering (VR) image of MRA shows fusiform shape aneurysm of ascending aorta and saccular shape aneurysm of aortic arch.

This image enabled to assess the entire saccular shape aneurysm of aortic arch, and evaluate the relationship of aneurysm and cervical branches clearly.

る。前述のように、呼吸停止が困難な場合には slow infusion 法でも撮像が可能である。TAA では症例によって血流速度が大きく異なる傾向が見られ、Smart prep 法ではタイミングを逸することがしばしばあったので、我々の施設では Fluoro prep 法を用いている。

CT と比較した場合の MRA の欠点は AAA と同様である。VR 法等を用いて三次元画像を作成しようとした場合には、MRA では骨構造が描出されないので画像の作成が CTA と比較して格段に容易なことは利点といえよう。

2. 大動脈解離、解離性大動脈瘤

大動脈解離は大動脈解離診療ガイドラインによると「大動脈壁が中膜のレベルで剥離し、本

来の真腔のほかに偽腔を形成した動的病態で偽腔内には血流もしくは血腫(血栓)が存在する」と定義されている³⁾。本症は特に瘤形成を認めないことも多く、通常は大動脈解離と呼ばれ、径が拡大して瘤形成を認めた場合に解離性大動脈瘤と呼ぶ。

全身状態が不良な急性期の大動脈解離は一般的に MR 検査は推奨できない。反対に慢性期の大動脈解離および解離性大動脈瘤は MRI, MRA の良い適応である。ここでは経過観察および術前検査としての使用法に分けて述べる。

1) 経過観察

偽腔開存型で経過観察する場合の要点は大動脈径の拡大傾向を見ることである。Stanford A 型、DeBakey III 型解離が主たる対象である。大動脈の最大径が 6 cm を超えたり、6 か月で 5 mm 以上拡大した場合には手術の適応となる³⁾。また、偽腔内の血栓化の有無や腹部臓器の虚血の出現にも注意を払う必要がある。偽腔内の血流は遅く、SE 法では血流遅延信号と血栓の鑑別が困難な場合が多いので、この際には black blood 法、シネ MRI や MRA を必要によって追加することが必要となる。

偽腔閉塞型では、Stanford B 型、DeBakey III 型に加えて、Stanford A 型、DeBakey I 型で内科的治療が選択された症例も対象となる。経過観察の要点は偽腔開存型と同様に大動脈径の拡大傾向の有無を見ることである。また、ULP (ulcerlike projection) と呼ばれる小さな突出像に注意が必要である。ULP は瘤化したり再解離の原因となり得るためである。ULP は大動脈のどの部位にも出現し得るし、複数の場合もある。発症時にはなくても経過観察中に出現することもある。この ULP の検出および追跡には MRA が適しているが、この際には大きな撮像範囲を設定できて、しかも比較的高い空間分解能をもつ slow infusion 法が適している⁴⁾。ULP の位置があらかじめ判っているときや、既に瘤化してしまった場合などでは bolus injection 法でもかまわない (Fig. 4)。



Fig. 4. A 75-year-old woman with chronic aortic dissection of Stanford type B, DeBakey type IIIb, thrombosed type that combined ulcerlike projection (ULP)

An oblique saggital MIP image of MRA shows ULPs of proximal descending aorta and sub-diaphragm level of descending aorta (arrows). Although, these lesions are followed periodicaly, a ULP of proximal descending aorta enlarged gradually and become saccular shape aortic aneurysm.

偽腔開存型、閉塞型を問わず内科的治療が選択された場合には定期的で非常に長期にわたる経過観察が必要となる。この点で被曝がなく、造影剤の副作用の出現頻度も低く、かつその使用量も少ないMRAはCTと比較して有用性が高い。

2) 術前検査

慢性期の動脈解離ではStanford B型、DeBakey分類ではⅢ型の偽腔開存型で発症して偽腔が徐々に拡大し解離性動脈瘤となったものが主な手術適応である。診断の要点は、①入口 (entry) の位置や大きさ、②腹部の主要分枝の評価である。腹部分枝の評価とは、分枝が

真腔と偽腔のどちらから起始しているか、分枝への解離の波及の有無である。これらの評価にはMRAが適している。MRAでこれらの情報を得る場合にはslow infusion法が有用である。それは、大動脈弓部から腸骨動脈を含むような広い範囲をカバーする必要があり、かつ分枝を評価するためには1~2mm程度の比較的高い空間分解能が必要で、さらには真腔と偽腔の血流速度にはしばしば差が存在するためである。連続する30例の大動脈解離症例でMRAの診断能について血管造影 (IA-DSA) をgold standardとして比較した我々の施設での検討では、MPR画像で観察することによってentryの描出、分枝の描出、分枝の真腔又は偽腔からの起始、分枝への解離の波及、総腸骨動脈への解離の波及ともにIA-DSAと匹敵する診断能が得られた⁴⁾。画像表示法は前述のようにMPRが適しているが、全体像の把握にはVR法も有用である (Fig. 5)。

これらの情報はMDCTでも得ることができ、MRAとMDCTを比較検討した報告はないが診断能に大差はないものと推察される。術前にMDCTを撮影することは、解離性動脈瘤の評価はもちろん、大動脈の石灰化の情報を得たり、肺など大動脈以外の病変の有無を診断する意味でも積極的に行うべきと考える。しかしながら術後には再び経過観察が必要となるが、その際には被曝のあるMDCTを繰り返すことは避けるべきと思われる。

3. 先天性疾患

大動脈弓部の奇形や動脈管開存症、大動脈縮窄症などでは造影剤を使用せずに大血管の形態を評価できるMRIの有用性が高い。特に新生児や乳児で侵襲的な血管造影法を避けたいときや複雑な心奇形を合併している際には心内の評価も可能なMRIは大きな威力を発揮する。一方でMRIはスライス画像であるために、病変部や病変部と周囲の大血管との関係を連続性をもって描出することが困難な欠点を有する。このような場合に造影MRAは有用であり、

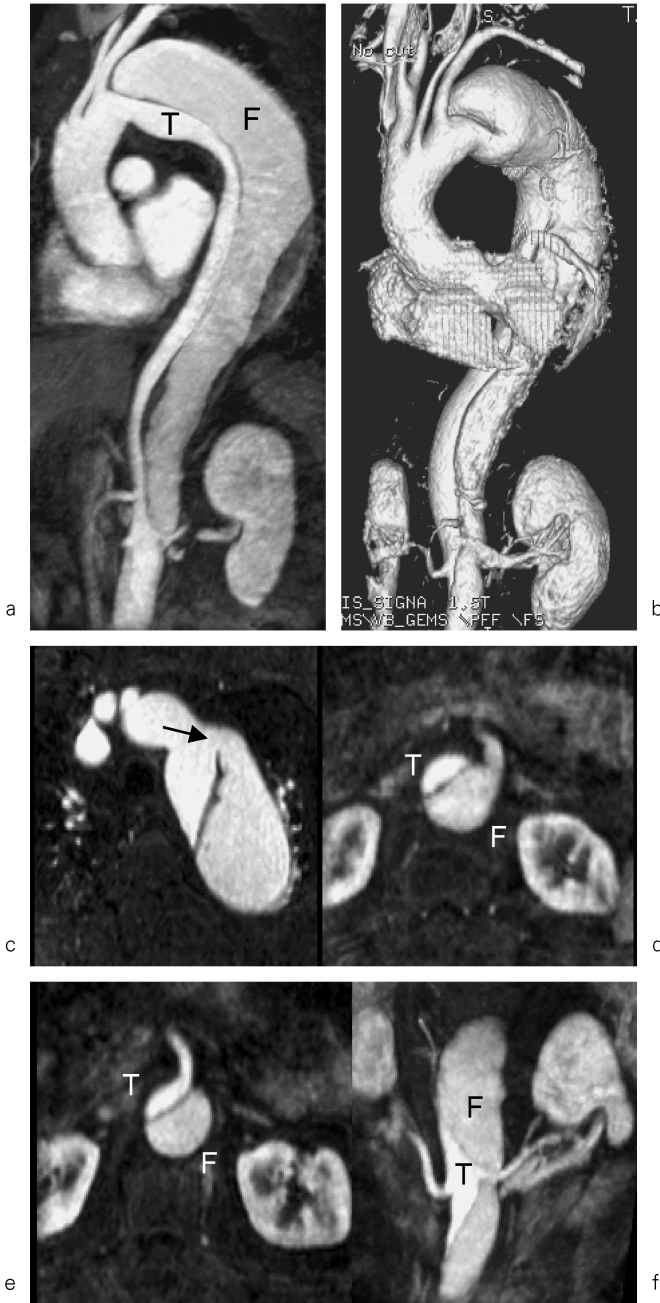


Fig. 5. A 56-year-old man with dissecting aortic aneurysm

a : An oblique sagittal partial MIP image of MRA shows large false lumen (F) just below left subclavian artery.

b : A VR image of MRA shows anatomical relationship of true and false lumen clearly.

c : An oblique axial multiplanar reconstruction (MPR) image of MRA shows the entry as defect of intimal flap (arrow).

d : An oblique axial MPR image of MRA shows celiac artery branched from false lumen (F).

e : An oblique axial MPR image of MRA shows superior mesenteric artery branched from true lumen (T).

f : An oblique coronal MPR image of MRA shows bilateral renal arteries branched from true lumen (T).

T : true lumen, F : false lumen.

MPR 法や VR 法を用いることで病変部および周囲の大血管を明瞭に描出することができる (Fig. 6). たとえ呼吸停止ができない新生児であっても slow infusion 法を用いれば鎮静のみで造影 MRA を施行することが可能である. 我々の施設での slow infusion 法による造影 MRA と血管造影法との比較検討では, 直径が 1.3 mm 以上の血管は描出が可能という結果が得られている⁵⁾.

小児の心大血管病変に対しても MDCT の応用が試みられているが, 放射線被曝を伴うので

MRI や MRA で評価が可能な場合には MDCT は避けるべきと考える. また, これらの疾患においては初期診断にとどまらず, 経過観察や術後の評価などで繰り返し検査が必要となることが多いので MDCT の安易な使用は慎むべきである.

4. Adamkiewicz 動脈

Adamkiewicz 動脈は脊髄の尾側約 1/3 を栄養する太さ 1 mm 程度の細い動脈で great anterior radiculomedullary artery の別名である. Adamkiewicz 動脈は通常は第 7 肋間動脈から



Fig. 6. A three-year-old boy with patent ductus arteriosus (PDA) MRA image was obtained by slow infusion method with normal respiration and mild sedation.

a : An anterior volume rendering (VR) image of MRA.

b : A posterior volume rendering (VR) image of MRA shows PDA (arrow) and common stem of brachiocephalic artery and left common carotid artery.

第2腰動脈の間で、これらのうちの1本から分岐する。臨床的にAdamkiewicz動脈が重要となるのは下行大動脈の手術に際してである。解離性大動脈瘤や真性の胸腹部大動脈瘤で下行大動脈の人工血管置換術が行われる際には、脊髓の虚血を避けるために肋間、腰動脈の再建術を行う必要がある。術前に脊髓の血管支配を知る方法として選択的な肋間、腰動脈造影があるが、大動脈瘤を有する症例では危険を伴うし手技的にも困難で事実上は不可能である。このために手術に当たっては可及的に数多くの肋間、腰動脈を再建していた。しかし最近になりMRAやCTAでAdamkiewicz動脈が描出可能なことが報告され注目を集めている^{6),7)}。血管造影法のような侵襲的検査法では得られない情報をMRAやCTAで得られることの意義は大きい(Fig. 7)。MRAとCTAを比較した場合、MRAでは骨構造が描出されないために大動脈から肋間動脈、Adamkiewicz動脈そして前脊髓動脈へといたる連続性を追跡しやすい利点がある。CTAでのAdamkiewicz動脈の描出率は90%にも上るが、連続性が証明できたのはその中の3割にも満たなかったと報告されている⁶⁾。大動脈瘤を有する症例ではAdamkiewicz動脈を分岐する親動脈はしばしば閉塞しており、側副血行路を形成していることもあるので手術に際しては連続性の証明はことさら重要である。さらにはこの側副血行路の描出もMRAでは可能である^{7),8)}。また、解離性大動脈瘤ではMRAの方がCTAよりもAdamkiewicz動脈の描出率が高い利点もある。我々の施設の検討では、解離性大動脈瘤におけるAdamkiewicz動脈の描出率はCTAでは40%であったが、MRAでは70%の描出が得られている⁸⁾。

ま と め

大血管領域のMRI, MRAの実践的な利用法についてMDCTとの比較も含めて述べた。大

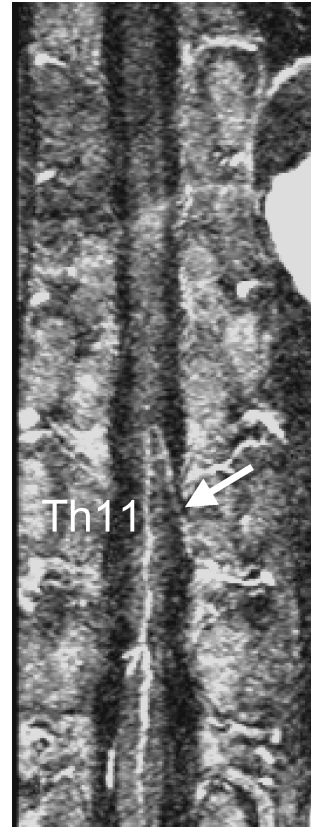


Fig. 7. A 76-year-old man with thoracoabdominal aortic aneurysm

MRA was performed by slow infusion method for preoperative assessment of thoracoabdominal aortic aneurysm.

An oblique coronal MPR image of MRA shows the artery of Adamkiewicz (arrow) and anterior spinal artery.

Th 11 : 11th thoracic vertebra.

血管疾患は新生児における先天性疾患から高齢者における動脈硬化性の病変まで対象が広く、かつ扱う疾患の種類も多岐に及ぶ。さらにはステントグラフトに代表されるように治療法の進歩も著しい領域でもある。そのような背景の中で画像診断は初期診断から治療後の経過観察にいたるまで重要な役割を果たす。MRIにしてもMDCTにしてもその検査法がもつ利点と欠

点を理解した上で、個々の症例に合った検査法を選択して過不足のない情報を得ることが重要であることを強調したい。

文 献

- 1) Yucel KM, Anderson CM, Edelman RR, Grist TM, Baum RA, Manning WJ, Culebras A, Pearce W : Magnetic resonance angiography : update on applications for extracranial arteries. *Circulation* 1999 ; 100 : 2284-2301
- 2) Prince MR : Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 1994 ; 191 : 155-164
- 3) 増田義明, 井上寛治, 打田日出男, 他 : 大動脈解離診療ガイドライン. *J Circ J* 2000 ; 64 : 1249-1283
- 4) 吉岡邦浩, 玉川芳春, 大平篤志, 平盛勝彦, 川副浩平 : MRA of entire aorta : 大動脈解離における有用性の検討. *臨放* 1998 ; 43 : 139-146
- 5) 大津 修, 小山耕太郎, 吉岡邦浩, 松尾みかる : 三次元磁気共鳴血管造影による小児大動脈病変の評価. *岩手医誌* 2001 ; 53 : 233-241
- 6) Yamada N, Takamiya M, Kuribayashi S, Okita Y, Minatoya K, Tanaka R : MRA of the Adamkiewicz artery : a preoperative study for thoracic aortic aneurysm. *J Comput Assist Tomogr* 2000 ; 24 : 362-368
- 7) Takase K, Sawamura Y, Igarashi K, Chiba Y, Haga K, Saitoh H, Takahashi S : Demonstration of the artery of Adamkiewicz at multidetector row helical CT. *Radiology* 2002 ; 223 : 39-45
- 8) Yoshioka K, Niinuma H, Ohira A, Nasu K, Kawakami T, Sasaki M, Kawazoe K : MR angiography and CT angiography of the artery of Adamkiewicz : noninvasive preoperative assessment of thoracoabdominal aortic aneurysm. *RadioGraphics* 2003 ; 23 : 1215-1225

MR Imaging and MR Angiography of the Great Vessels

Kunihiro YOSHIOKA

*Department of Radiology, Memorial Heart Center, Iwate Medical University
19-1 Uchimaru, Morioka, Iwate 020-8505*

There are many causes of great vessel disease varying from congenital anomaly in neonates to atherosclerotic lesions in the aged. Both MR imaging and MR angiography are important diagnostic procedures. In cases of aortic aneurysm or dissection, Gd-enhanced MR angiography should be used to assess both the shape of the aneurysm and the major aortic branches including the Adamkiewicz artery. Although MR imaging is suitable in the evaluation of the anatomy of congenital lesions without contrast material, Gd-enhanced MR angiography makes possible the complete visualization of the great vessels. It also allows for the assessment of the lesions through different angles of view.

Recent innovation in multidetector-row computed tomography (MDCT) has made MR angiography and CT angiography useful in the diagnosis of great vessel disease. When selecting methods to diagnose great vessel disease it is important to weigh the advantages and disadvantages of each procedure.