



Title	最新の造影MR angiography診断
Author(s)	渡邊, 祐司
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(9), p. 493-499
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14720
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

最新の造影MR angiography診断

渡邊 祐司

倉敷中央病院放射線科

Contrast-enhanced Three-dimensional Angiography

Yuji Watanabe

Rapid advances in the techniques of contrast-enhanced MR angiography (MRA) have made it possible to evaluate the entire aorta and main arteries as well as small arteries and veins of the whole body. In this article, the technical aspects and clinical applications of contrast-enhanced MRA are reviewed.

Dynamic contrast-enhanced three-dimensional (3D) MRA is a first-pass vascular imaging technique that uses the 3D fast field echo sequence with rapid bolus injection of contrast material. By repeating imaging sequences, it is possible to trace the dynamics of the injected contrast material over time and apply various postprocessing techniques, such as double subtraction and addition, to demonstrate arteries and veins separately and to display the arteries in a single image, even when circulation time is prolonged. This technique is flexible enough to be applied in a variety of clinical settings by optimizing the examination.

The abdominal aorta and main arteries of the lower extremities are examined by two methods, dynamic subtraction 3D MRA (MRDSA) and the moving-bed method. Three bolus injections of contrast material are used in MRDSA. In contrast, a slow continuous injection of a large dose (20 ml or more) of contrast material is used in the moving-bed method, which is a convenient, useful method of contrast-enhanced MR angiography when the study must focus on arterial imaging. Clinical indications include atherosclerotic occlusive disease, Takayasu arteritis, aortic dissection, anti-phospholipid antibody syndrome, aneurysm, patent and occluded bypass graft, and deep vein thrombosis, among others.

The problem with contrast-enhanced MRA is its difficulty in depicting small vessels such as mesenteric arteries, distal renal arteries, and peripheral small arteries. The nature of gradient-echo sequences has certain inherent problems for the imaging of small vessels. The fat-tissue interface becomes dark because of chemical shift artifact (which occurs both when the echo time is set in-phase and when it is set out-of-phase), reducing the ability to detect small arteries with contrast-enhanced MR angiography. The fat suppression technique is very useful for satisfactorily demonstrating small vessels by reducing chemical shift artifact.

MR angiography remains an exciting and challenging field, and the best methods of contrast-enhanced MR angiography will be developed and established on the foundation of all previous work.

Research Code No.: 508.9

Key words: MR imaging, MR angiography, Contrast material, Fat suppression, Vascular system

Received June 30, 2000

Department of Radiology, Kurashiki Central Hospital

本論文は第59回日本医学放射線学会学術発表会(2000年4月)の一般教育講演において、「最新の造影MR angiography診断」の演題で発表されたもので、日本医学放射線学会雑誌編集委員会より執筆依頼した。

別刷り請求先

〒710-8602 倉敷市美和1-1-1
倉敷中央病院放射線科
渡邊 祐司

はじめに

Gd-造影剤を用いた造影MR angiographyは、カテーテルを必要としない非侵襲的で簡便な血管造影法として、この10年間に急速に発展し、その有用性が確立されている¹⁾⁻⁴⁾。基本的にはGd-造影剤のT1-短縮効果を利用した撮像法であるため、Gd-造影剤の血中濃度に比例した信号強度が得られる。従来のtime-of-flight法やphase-contrast法などの血流に依存したMR angiographyと異なり、呼吸停止下での短時間撮像が可能であるので胸腹部領域をはじめあらゆる領域の血管撮像に応用できる。本稿では、その技術的側面と臨床応用について概説する。

撮像原理と方法

Gd-造影剤の満たされた血管内腔が、その血中濃度に応じて高信号に描出される。このため、撮像中はできるだけ高い血中濃度を得られるように造影剤をボーラス静注あるいは少量持続投与することが重要である。ボーラス静注を用いた場合は、繰り返し撮像することで投与した造影剤の動態を追跡できる⁵⁾。しかし、用いる撮像シークエンスは、描出しようとする血管や部位によって最適化し、目的に応じた画像処理を加える必要がある。

1. 撮像シークエンス

3D gradient-echo を用いるが、高濃度Gd-造影剤のT2*短縮効果を排除するためスパイラーを付加する必要がある⁵⁾。基本的には、TRが短いほど撮像時間を短縮できるが、SNRはTRの平方根に比例して低下する。このため、動脈を目的とするときは短いTRに設定してボーラス静注した造影剤のfirst-passを捉えるようにするのがよいが、門脈や静脈系を目的とするときはあまり血中濃度が高くなくても高信号に描出できるように8-14msec の中等度のTRに設定する⁵⁾。また、撮像時間を短縮するために、zero-fill interpolation (ZIP) やhalf-Fourier acquisitionを併用したり、gradient-echoとEPIのhybrid-sequenceであるmulti-shot EPIや、分割したk-spaceの低周波数領域を重点的にデータ収集する方法(TRICK)などが有用である⁵⁾⁻⁷⁾。

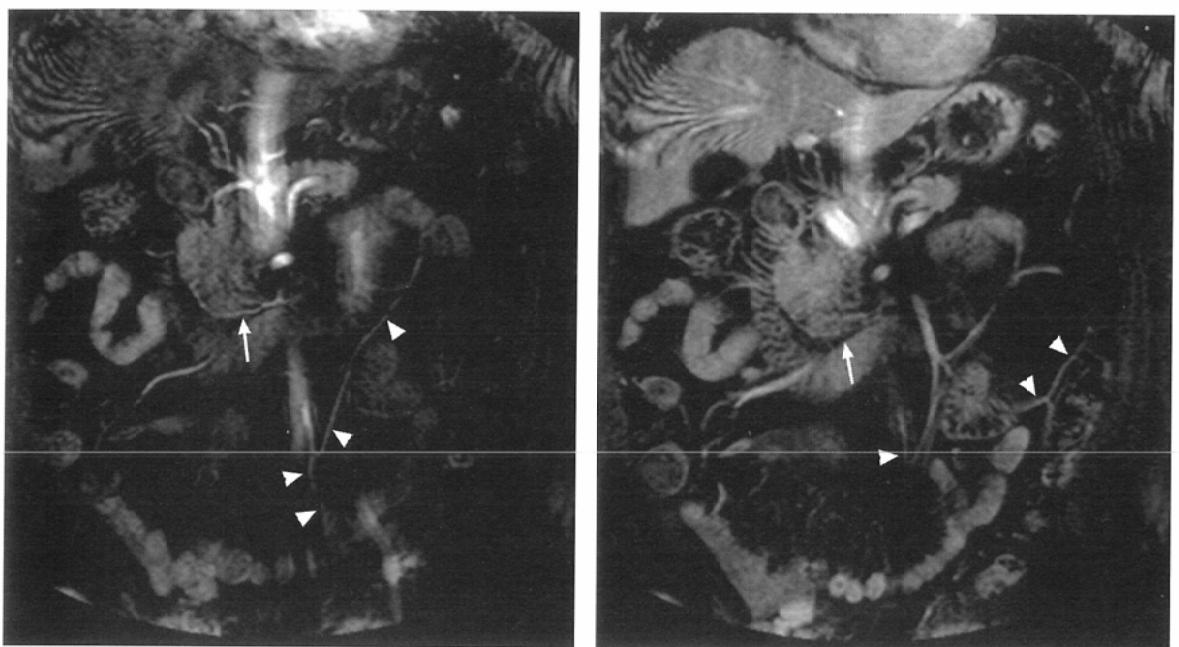


Fig. 1 Mesenteric circulation in a 39-year-old male patient.

This contrast-enhanced 3D MR angiogram was obtained with fat suppression and a hybrid sequence of fast-field echo and EPI. On coronal source images of the arterial phase (A) and late phase (B), use of a fat suppression technique allows for demonstration of small vessels, such as the inferior pancreaticoduodenal arcade (arrow) and inferior mesenteric vessels (arrowhead).

2. 脂肪抑制

造影3DMRAの最大の課題は小動脈の描出である⁸⁾。大動脈や腸骨動脈などの太い動脈は比較的容易であるが、腎動脈分枝や腸間膜動脈分枝などの小動脈の描出は不十分である。この課題を克服するために、大量の造影剤を用いたり、スライス厚を薄くする試みがなされてきたが、それでもなお、小動脈の描出は不十分である。これには造影MR angiographyに用いられる3D-gradient echoに内在する固有の問題が関与している。つまり、脂肪と血管の境界面にchemical shift artifactのためにblack lineを生じることである。TEを、in-phaseに設定してもout-of-phaseに設定しても、black lineが生じる。

この問題を解決する方法は脂肪抑制法である。これまで、周波数選択的脂肪抑制法(SPIR)を3D-gradient-echoに付加すると、TRが極端に延長し、呼吸停止下での撮像が困難となった。そこで、EPI sequenceを組み込むことで、脂肪抑制を付加しTRが延長したままでも撮像時間を短縮することができる(Fig. 1, 2)⁷⁾。また励起パルスにbinomial pulseを用いて、水成分のみを選択的に励起することによって、TRが延長することなく優れた脂肪抑制が得られる⁹⁾。これらの脂肪抑制の手法を併用することで脂肪と血管の境界面のアーチファクトを低減でき、小動脈の描出は格段に向上する。

3. 造影剤の投与方法

造影剤の投与方法には、持続静注法と急速静注法

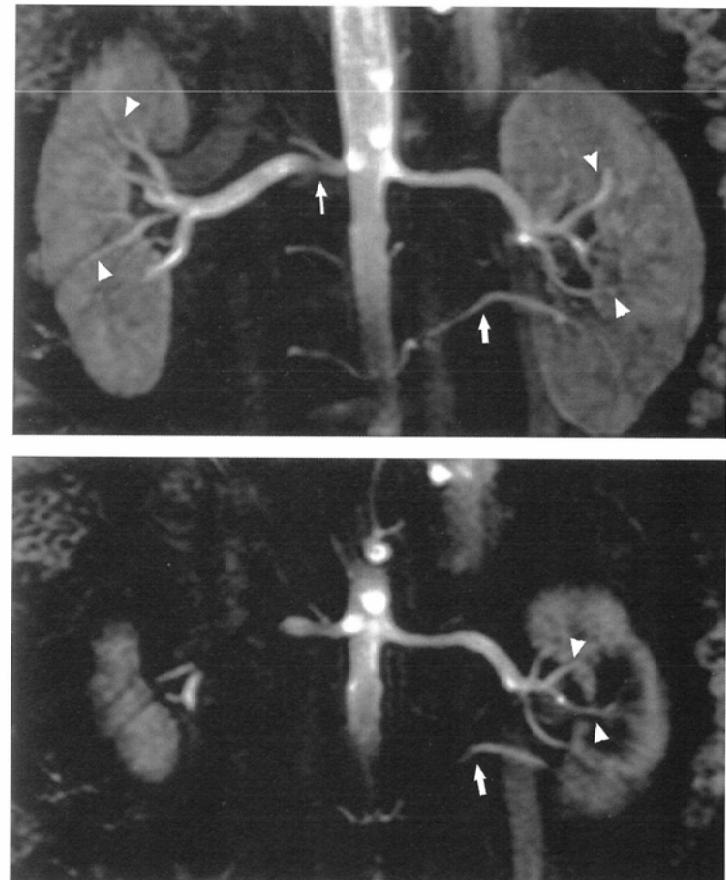


Fig. 2 Mild renal artery stenosis in a 40-year-old male patient with hypertension. This contrast-enhanced 3D MR angiogram was obtained with fat suppression and a hybrid sequence of fast-field echo and EPI. Both MIP-reconstructed (A) and coronal source (B) images show mild stenosis of the proximal renal artery (arrow). The use of fat suppression allows for visualization of distal renal arteries such as interlobar renal branches (arrowhead) as well as the accessory renal artery (open arrow).

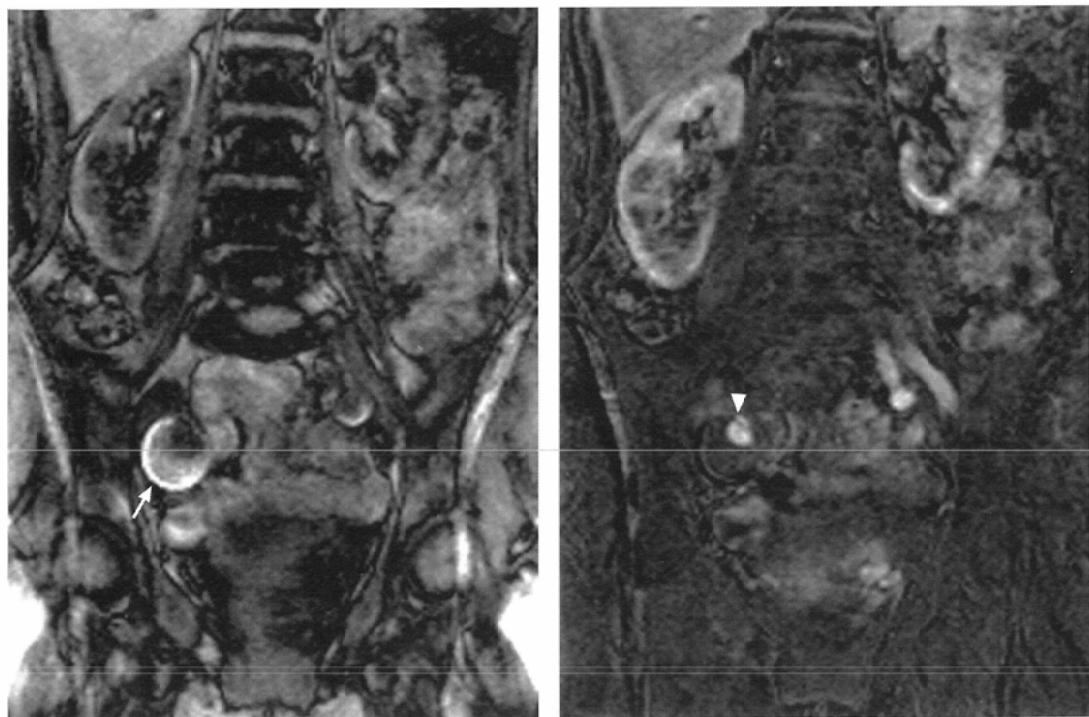


Fig. 3 Iliac artery aneurysm in a 85-year-old female patient.
This contrast-enhanced 3D MR angiogram was obtained with the 3D fast field echo sequence. A precontrast mask source image (A) shows an aneurysm of the right iliac artery with a hyperintense mural thrombus (arrow). On the contrast-enhanced subtraction source image (B), only the enhanced aneurysmal lumen (arrowhead) is visualized; the mural thrombus is no longer seen.

があげられる。当初は、安静呼吸下での撮像で、比較的大量の造影剤の持続静注法が用いられてきたが、呼吸運動のため腹部血管の描出は不良であった。しかし、最近のMRI機器の性能の向上によって、呼吸停止下での撮像が可能となり、造影剤の急速静注によるfirst-pass imagingが広く行われるようになった。造影剤のfirst passの血中濃度は造影剤投与速度に強く依存していることから、ボーラス静注することで、少量の造影剤でも撮像に十分な血中濃度が得られる。投与量は撮像の対象・目的によって異なる。腎動脈、上腸間膜動脈、骨盤部動脈、門脈など腹部・骨盤の領域のみを目的部位とする場合には 0.1 mmol/kg をボーラス静注する¹⁰⁾。一方、腹部を含めた下半身の動脈を広く撮像する必要がある場合には3回のボーラス静注(腹部： 0.04 mmol/kg 、大腿部： 0.03 mmol/kg 、下腿部： 0.03 mmol/kg)あるいは少量の持続投与を用いる^{5),11),12)}。

4. 画像処理

造影MR angiographyでは、元画像を最大値投影法(MIP)で再構成して一枚の血管像を構築する。サブトラクションを併用するとバックグラウンド信号の低い鮮明な血管像が得られる^{11),13)}。特に、動脈瘤の撮像では、壁在血栓の高信号に妨げられることなく内腔のみを描出するのに有用である(Fig. 3)。また、門脈相や静脈相のサブトラクション元画像から動脈相のサブトラクション元画像をサブトラクションする(double subtraction)ことで門脈や静脈のみを描出することも可能である(Fig. 4)⁵⁾。一方、加算処理も、心機能低下により循環時間が延長していたり、真腔と偽腔で循環時間が異なる大動脈解離などでは、1枚の画像で動脈全体を描出するのに有用である。

撮像部位と適応疾患

1. 腹部大動脈－下肢動脈

動脈硬化症は全身の動脈に狭窄、閉塞、拡張、蛇行、内膜解離などの病的変化をもたらす。特に、動脈瘤や閉塞性動脈硬化症の疑われる患者では病的部位だけでなく腹部大動脈－下肢動脈の広い範囲を検査する必要がある。現在この検査法には、3部位分割法(MR dynamic subtraction angiography: MRDSA)とテーブル移動法(moving-bed method)の2種類の手法がある。

MRDSAの手法は、腹部、大腿部、下腿部の3部位を順に撮像する^{4),5),11),14)}。まず、腹部を、 $0.03\text{--}0.05\text{ mmol/kg}$ のGd-造影剤をボーラス静注した後、撮像を繰り返し行う。腹部の撮像を完了してから、大腿部と下腿部をそれぞれ同様にして撮像する(Fig. 5)。大腿部と下腿部ではそれぞれ前の部位で投与したGd-造影剤による信号を除去するためにサブトラクションは必須である。

テーブル移動法は腹部から下腿までをテーブル移動で連続的に撮像する手法で、まさにX線DSAの手法をMRを用いて行うものである^{15)–17)}。Gd-造影剤 20 ml を少量持続投与(0.8 ml を15秒間投与し、引き続き $0.4\text{ ml}/\text{秒}$ を20秒間)することによって動脈の血中濃度を高く維持することができる。基本的には腹部、大腿部、下腿部の3部位を1セットと考えるので、すべての部位でサブトラクションを用いて画像処理する(Fig. 6)。

これらの手法は、動脈瘤や閉塞性動脈硬化症だけでなく大動脈炎症候群、Marfan症候群、大動脈解離などもよい適応となる。また人工血管の開存性を検査する手法としても

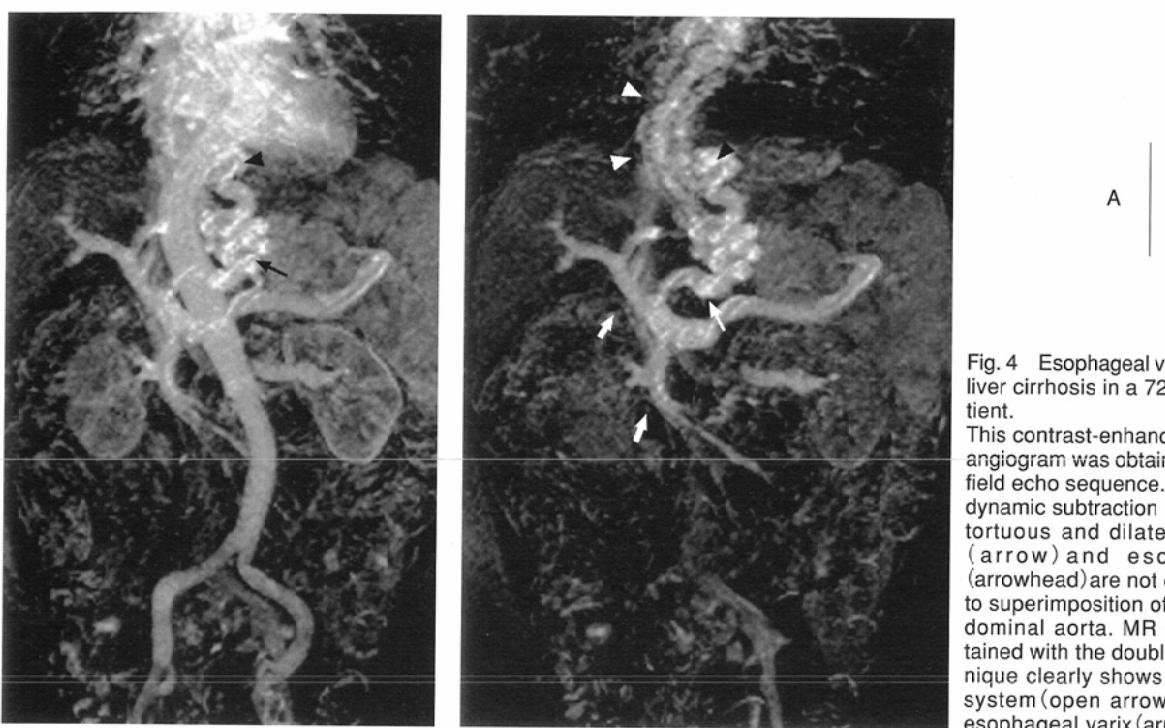


Fig. 4 Esophageal varix in a patient with liver cirrhosis in a 72-year-old male patient.

This contrast-enhanced subtraction MR angiogram was obtained with the 3D fast field echo sequence. On a portal-phase dynamic subtraction MR angiogram (A), tortuous and dilated coronary veins (arrow) and esophageal varix (arrowhead) are not clearly seen owing to superimposition of the enhanced abdominal aorta. MR angiogram (B) obtained with the double subtraction technique clearly shows the portal venous system (open arrow), along with the esophageal varix (arrowhead).

有用である (Fig. 7). この造影3D MR angiographyを従来のカテーテル法と比べると、動脈瘤の描出能は造影MR angiographyが優れている。元画像を同時に読影することにより、動脈瘤の内腔だけでなく、瘤全体の形・大きさも判定できる。閉塞・狭窄性病変の描出能も高く、技術の進歩と

ともに診断精度も向上している。また、大動脈・腸骨動脈の閉塞性疾患の場合、カテーテル法では大腿動脈からのアプローチが困難なことが多く、技術的に難しいが、造影3D MRAでは、静脈経路の確保ができればよいので簡単である。

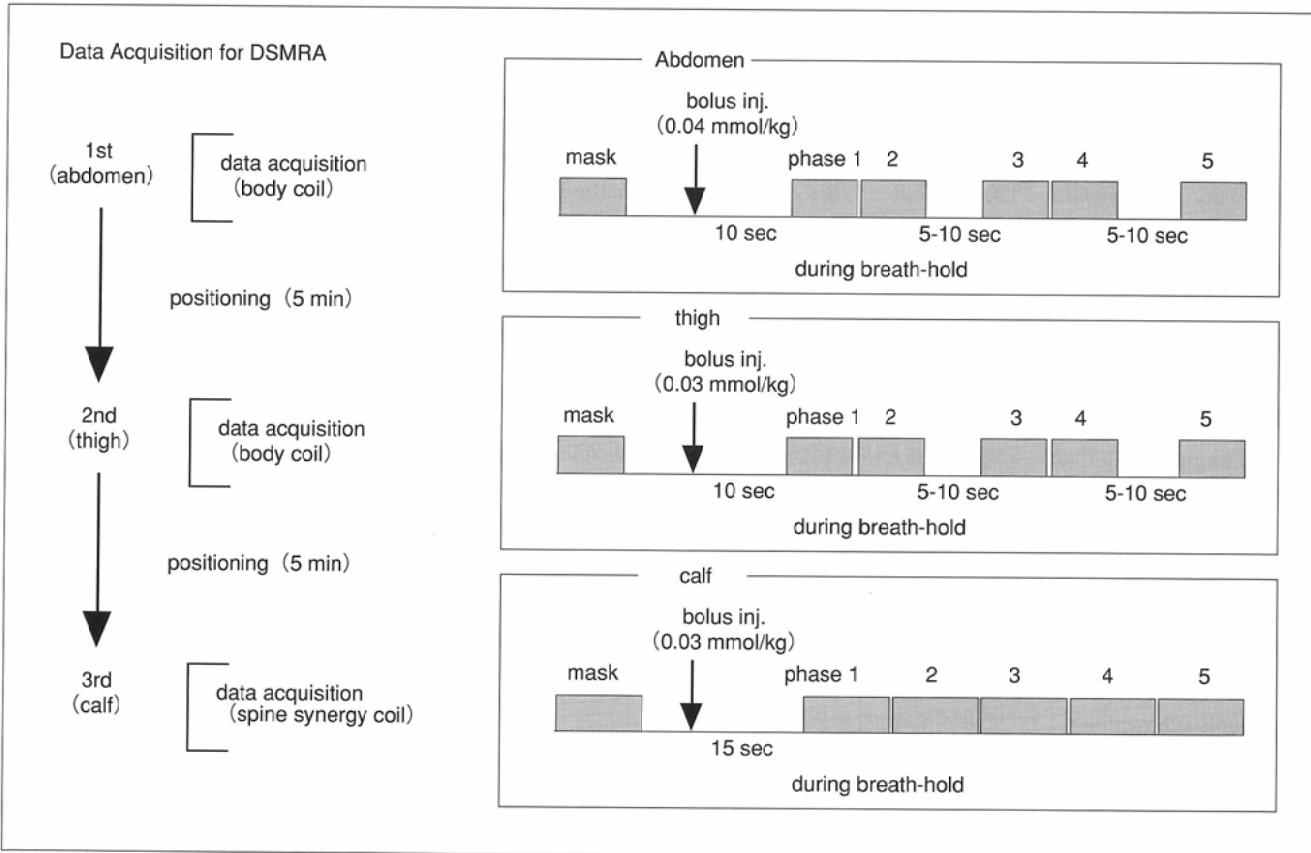


Fig. 5 Diagram of imaging procedure and data acquisition of MRDSA.

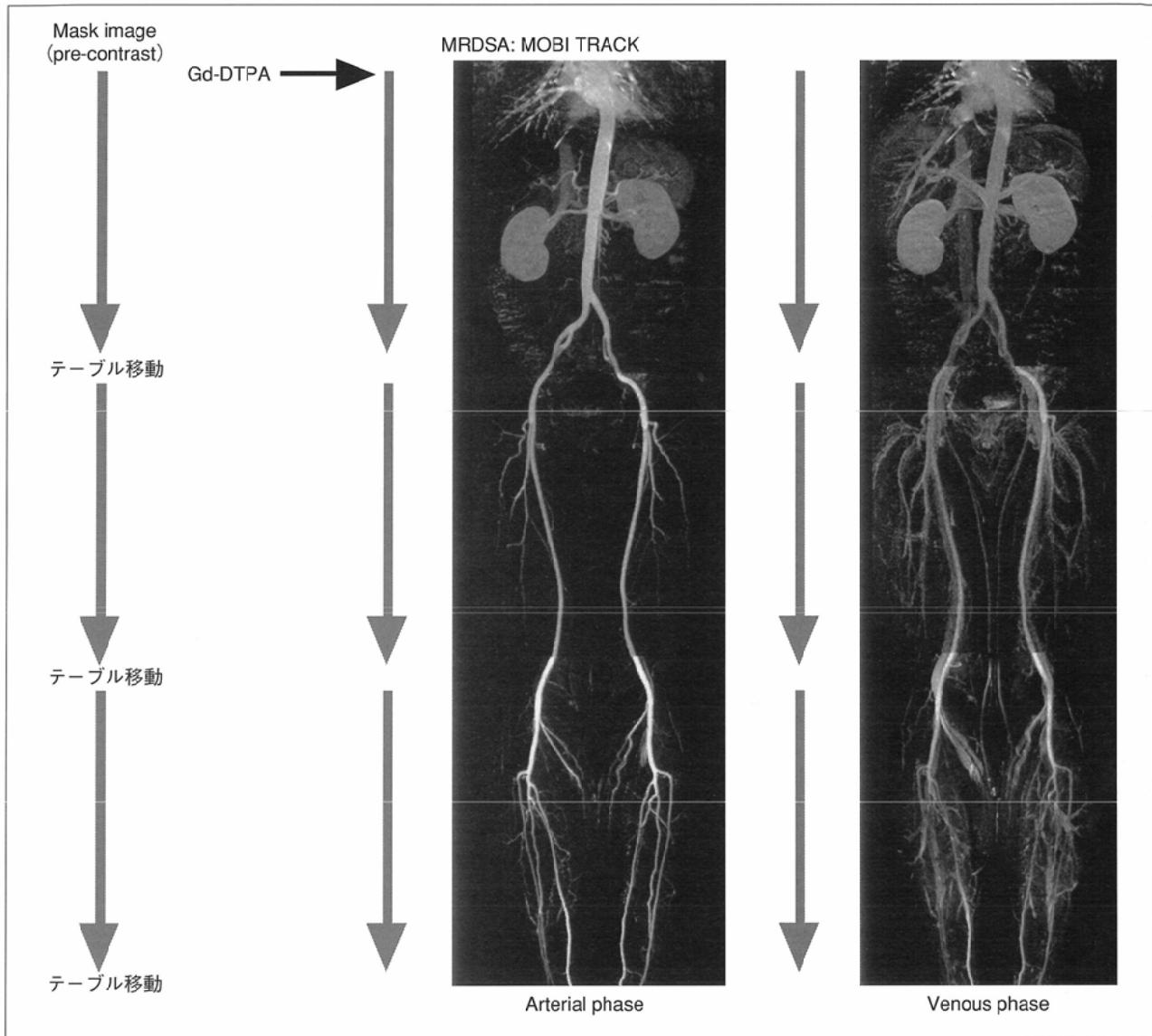


Fig. 6 Diagram of the imaging procedure used with the moving-bed method for demonstration of the main arteries of the lower half of the body. In a 51-year-old normal healthy volunteer, a contrast-enhanced 3D MR angiogram was obtained with 3D fast-field echo in conjunction with fat suppression using water-selective excitation. The arterial(A)and venous(B)phases clearly show the main arteries and veins.

2. 腎動脈、上腸間膜動脈などの内臓枝

腎動脈では、腎血管性高血圧のスクリーニングや腎摘出前の腎動脈のマッピングを目的として造影3D MR angiographyが行われる。特にGd-造影剤は、CTやカテーテル法に用いるヨード造影剤と比べ、腎毒性が低いため、腎機能の低下した患者にも安全に使用できる。腎血管性高血圧は、腎動脈近位部の狭窄だけでなく、遠位部の狭窄もその原因となるので、腎動脈全体を描出する必要がある。特に遠位部の腎動脈は細く、脂肪に囲まれており、描出が困難である。そのため、造影剤を多く使う・スライス厚を薄くする・脂肪抑制法を併用するなどの方法が必要である(Fig. 2)。腎動脈の狭窄の描出は、近位部では感度が高く、造影MRAは腎血管性高血圧のスクリーニングとして有用な方法である(Fig. 8)^{18),19)}。しかし、腎動脈の狭窄の程度は過大評価されると報告されている²⁰⁾。voxel内の乱流が原因として

挙げられるが、最大の要因は3D gradient echoに内在するchemical shift artifactである。そこで脂肪抑制法を併用することで、狭窄部位の正確な評価が期待される。

上腸間膜動脈では、急性閉塞や、偽動脈瘤などは造影MRAの良い適応である。脂肪抑制法を用いることで、腸間膜動・静脈の描出は格段に向上了し、vasa rectaなどの小動脈も観察可能となる(Fig. 1)。

骨盤の内腸骨動脈領域では、診断のためだけのDSAの役割は既に後退している。このため、造影MRAも適応が限定されるが、子宮動静脈奇形や、外妊などの出血性病変は造影3D MRAのよい適応である。

3. 門脈

門脈系のあらゆる疾患が適応となる。門脈の側副血行路、閉塞、腫瘍による浸潤などの検出を目的として造影MRAが行われる^{21),22)}。この領域でも、脂肪抑制法を併用し

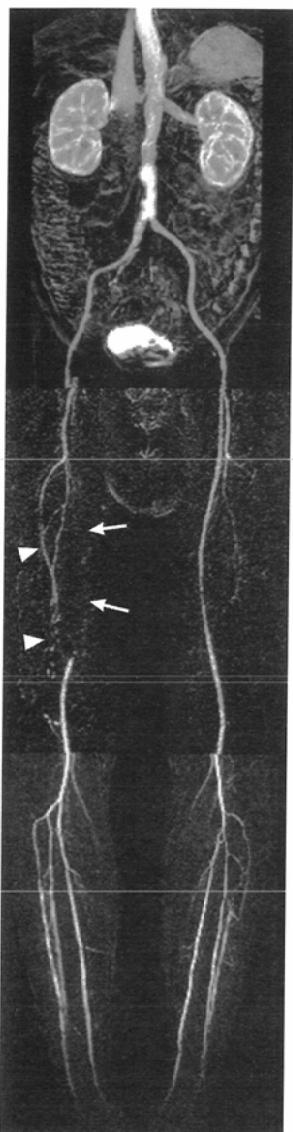


Fig. 7 Atherosclerotic occlusive disease in a 70-year-old male patient. Dynamic subtraction MR angiogram (MRDSA) obtained with three separate injections of Gd-DTPA shows long segmental occlusions of the right superficial femoral artery (arrow). Note the reconstitution of the distal femoral artery via small collateral arteries (arrowhead).

た造影MRAが有用で、門脈系の末梢循環も観察可能である^{7),22)}。また、double subtraction の手段を用いることで、門脈系を選択的に描出できる(Fig. 4)²¹⁾。

従来のカテーテル法と比べると、門脈側副血行路の描出能は造影3D MRAが優れている。経動脈性のカテーテル法では造影剤が希釈され、側副血行路の描出は困難なことがあるが、造影3D MRAは高コントラストに側副血行路を描出する。また、脾癌・胆管癌の門脈浸潤の有無も造影3D MRAの診断精度は高く、カテーテル法と同等の報告がなされている²¹⁾。また、カテーテル法では、脾静脈と上腸間膜静脈は別々に描出され、合流部の腫瘍浸潤の評価が困難なことがあるが、造影MRAでは、門脈系が単一の時相で描出されるため、合流部の評価が容易である。



Fig. 8 Severe proximal renal artery stenosis in a 53-year-old male patient with renovascular hypertension. Dynamic subtraction MR angiogram (A) shows proximal renal artery disease (arrow). However, the degree of stenosis is overestimated as occlusion. Note that the distal renal artery is visualized. DSA (B) confirms that the degree of stenosis is classified as severe (arrow).

結 語

造影MRAは、造影剤の投与方法や撮像シークエンスの最適化により、あらゆる部位の血管撮像が可能である。また、脂肪抑制法の併用により、小動脈の描出も明瞭となり、非侵襲的な血管撮像法として、今後さらに発展していくものと期待される。

謝 辞

多大な協力を頂いた倉敷中央病院放射線科 道家雅子医長をはじめ、放射線センターMR検査室技師(清野 隆、中田和明、熊代正行、田渕 隆、光井英樹、香川芳徳、森本規義)、放射線センター秘書(陶山浩子、平川奈央子)に深謝致します。

文 献

- 1) Lossef SV, Rajan SS, Patt RH, et al: Gadolinium-enhanced magnitude contrast MR angiography of popliteal and tibial arteries. *Radiology* 184: 349–355, 1992
- 2) Prince MR: Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 191: 155–164, 1994
- 3) Prince MR, Narasimham DL, Stanley JC, et al: Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its major branches. *Radiology* 197: 185–192, 1995
- 4) Quinine SF, SEH RT, Semonsen KG, et al: Aortic and lower-extremity arterial disease: evaluation with MR angiography versus conventional angiography. *Radiology* 206: 693–701, 1998
- 5) Watanabe Y, Dohke M, Okumura A, et al: Dynamic subtraction contrast-enhanced MR angiography: technique, clinical applications, and pitfalls. *Radiographics* 20: 135–152, 2000
- 6) Mistretta CA, Grist TM, Korosec FR, et al: 3D time-resolved contrast-enhanced MR DSA: advantages and tradeoffs. *MRM* 40: 571–581, 1998
- 7) Shirkhoda A, Konez O and Shetty AN: Contrast-enhanced MR angiography of the mesenteric circulation: a pictorial essay. *RadioGraphics* 18:851–861, 1998
- 8) Baum RA: Invited commentary. *RadioGraphics* 20: 152–153, 2000
- 9) Brown MA and Semelka RC: MR imaging abbreviations, definitions, and descriptions: a review. *Radiology* 213: 647–662, 1999
- 10) Earls JP, Rofsky NM, DeCorato DR, et al: Breath-hold single-dose gadolinium-enhanced three-dimensional MR aortography: usefulness of a timing examination and MR power injector. *Radiology* 201: 705–710, 1996
- 11) Watanabe Y, Dohke M, Okumura A, et al: Dynamic subtraction MR angiography: first-pass imaging of the main arteries of the lower body. *AJR* 170: 357–360, 1998
- 12) Rofsky NM, Johnson G, Adelman MA, et al: Peripheral vascular disease evaluated with reduced-dose gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology* 205: 163–169, 1997
- 13) Douek PC, Revel D, Chazel S, et al: Fast MR angiography of the aortoiliac arteries and arteries of the lower extremity: value of bolus-enhanced, whole-volume subtraction technique. *AJR* 165: 431–437, 1995
- 14) Sueyoshi E, Sakamoto I, Matsuoka Y, et al: Aortoiliac and lower extremity arteries: comparison of three-dimensional dynamic contrast-enhanced subtraction MR angiography and conventional angiography. *Radiology* 210: 683–688, 1999
- 15) Ho KYJAM, Leiner T, de Haan MW, et al: Peripheral vascular tree stenoses: evaluation with moving-bed infusion-tracking MR angiography. *Radiology* 106: 683–692, 1998
- 16) Meaney JFM, Ridgway JP, Chakraverty S, et al: Stepping-table gadolinium-enhanced digital subtraction MR angiography of the aorta and lower extremity arteries: preliminary experience. *Radiology* 211: 59–67, 1999
- 17) Wang Y, Lee HM, Khilnani NM, et al: Bolus-chase MR digital subtraction angiography in the lower extremity. *Radiology* 207: 263–269, 1998
- 18) Sigelman EX, Gilfeather M, Holland GA, et al: Breath-hold ultrafast three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the renovascular system. *AJR* 168: 1035–1040, 1997
- 19) Riemont MJ, Kaufman JA, Galler SC, et al: Evaluation of renal artery stenosis with dynamic gadolinium-enhanced MR angiography. *AJR* 169: 39–44, 1997
- 20) 満崎克彦, 山下康行, 高橋睦正:腎動脈及び腹部大動脈分枝—造影3DMRAを中心に—. 杉村和朗監修, 渡邊祐司編集: *MR hydrographyとMR angiography. 水と流れの画像*, 198–215, 1999, メジカルビュー社, 東京
- 21) Okumura A, Watanabe Y, Dohke M, et al: Contrast-enhanced three-dimensional MR portography. *RadioGraphics* 19: 973–987, 1999
- 22) Yamashita Y, Mitsuzaki K, Miyazaki T, et al: Gadolinium-enhanced breath-hold 3D MR angiography of the portal vein: The value of MP-RAGE sequence. *Radiology* 201: 283–288, 1996