

血管の無侵襲診断法：放射線科医の立場から

齋藤 陽子¹ 淀野 啓²

要 旨：下肢の閉塞性動脈疾患におけるMRAやCTAの現状について述べた。下肢領域では、MRA・CTAともに側副路や末梢の再開通部の描出はIA-DSAよりも良好である場合が多く優れた評価法である。MRAは侵襲性が低く内腔の観察が容易という有用性を持つが、石灰化の描出はCTが優れる。両者は相補的な情報を持ち、目的に応じてこの両者を使い分ける必要がある。装置の進歩に伴い今後ますます発展する領域と考えられる。(J Jpn Coll Angiol, 2006, 46: 211-216)

Key words: contrast-enhanced MRA, CT angiography, lower extremities, arterial occlusive disease

はじめに

放射線科で行う血管の無侵襲診断法としてはMRI/MR angiography (MRA), CT/CT angiography (CTA), 超音波検査などがあり、侵襲的検査である血管造影がgold standardとされる。

下肢の閉塞性動脈疾患におけるMRAやCTAの目的は治療方針を決定するために客観的な画像データを得ることにある。患者は受診した医療機関で診察や足関節・上腕血圧比 (ankle brachial pressure index: ABPI) 測定などの検査がなされ、血流低下が確認されると治療方針の決定は主にFontaine分類に基づいて行われる。Fontaine I度では画像診断は必ずしも必要ではないと考えられるが、治療前のコントロールとして検査を行うことには意義がある。Fontaine II度以上でinterventional radiology (IVR) 治療または手術的治療の対象となる場合には病変の範囲や狭窄程度を正確に捉えて適切な治療方針を立てなくてはならず、画像診断が不可欠となる。以上のような点からみて、閉塞性動脈硬化症における画像診断の役割は診断をつけることにさほど重きはなく、むしろ病変の範囲、狭窄の程度を正確に描出して治療計画に役立つ情報を提供することが大切であることが再認識できる。手術またはIVR治療が行われることを前提にすると撮像範囲の上縁は腎動脈分岐レ

ベルよりも近位とし遠位は足関節とする必要がある。糖尿病や透析患者ではABPIで血流低下が確認できなくても画像診断が行われることが多い。外来では一般的にintra-venous digital subtraction angiography (IV-DSA), CTA, MRAのいずれかが施行される。以前はDSAが必ずといってよいほど行われていたが、IV-DSAは侵襲性もあり、近年の画質の向上が目覚ましいMRAまたはCTAを行うようにしている施設が多くなっている。本稿では放射線科医の立場から主にMRAとCTAについて両者の比較とDSAと対比した場合の有用性や問題点などについて述べる。

各モダリティ

(1) MRA

MRAはMRI装置を用いて血流や血管の画像を得る手法の総称で、周知の通り被曝を伴わない非侵襲的検査法である。

MRAの撮像方法の分類は種々あるが、本稿では代表的な撮像方法であるtime-of-flight (TOF) 法および造影MRAの2法について述べる。TOF法は非造影MRAと位置づけられる。なお、MRAではどのような方法を用いても、血管像の観察のためには得られた元画像から最大値投影 (maximum intensity projection: MIP) 法による画像処理を行い血管像を作成して立体的に観察するのが一般的である。

¹弘前大学医学部保健学科放射線技術科学専攻

²財団法人鳴海研究所清明会鳴海病院放射線科

2006年3月10日受理



Figure 1 Case 1. A 64 year-old female suspected of arterial occlusive disease.
A: Axial source image of 2D-TOF MRA.
B: 2D-TOF MRA (MIP).
Segmental stenosis of the right superficial femoral artery was demonstrated on 2D-TOF MRA.
Modified from reference 2

1) TOF MRA

非造影MRAは最も早期から行われていたMRAの撮像方法で、血流のTOF効果のうち血流があると血管内では飽和していないスピンのスライス面に流入してくるので静止している組織よりも血流部の信号が上昇する(flow-related enhancement)ことを利用した撮像法である(Fig. 1)^{1,2)}。データ収集の方法で2次元(2D)法と3次元(3D)法とがある。下肢のように撮像範囲が広範囲の場合には3Dでは撮像範囲内を走行する血管の距離が長くなるため血管内の信号の飽和現象が強くなり撮像範囲の末梢で血管の信号低下をきたすので、2Dがよく用いられる。下肢の閉塞性動脈疾患でTOF MRAを撮像する場合、3~5mm厚の横断像を元画像とする2D-TOF MRAを行うのが一般的である(Fig. 1)。現在では後述する造影MRAのほうが広く行われるようになっているが、本法は造影剤を使用しないという大きなメリットがあり、腎機能低下症例やアレルギー症例でも全く問題なく検査を行うことができる。

TOF法ではスライス面に垂直な血流の信号が最も高く、スライス面と平行な血流は面内を流れている間に飽和され信号が低下する。したがって下肢では横断面を撮像せざるを得ず、スライス枚数が多くなる。下肢ではスライス面の下方にプレサチュレーションパルスを加し下方からの血流信号を低下させ動脈像を得るが、側副路内などで正常の動脈と逆方向の血流は描出

されなくなる。また、TOF法では乱流による信号低下も強いことがよく知られている。われわれの検討では骨盤内の蛇行する血管は信号低下がみられたものの、大腿-膝窩領域では良好な動脈像が得られ、側副路の描出も良好であった。狭窄率50%未満の軽度狭窄ではTOF MRAで過小評価が多く、逆に高度狭窄では過大評価された割合が高かった。軽度狭窄で過小評価されたのは空間分解能が十分でないこと、高度狭窄で過大評価されたのは狭窄により生じた乱流などによる信号低下が原因と考えられた¹⁾。TOF MRAではartifact抑制のため心電同期あるいは脈波同期を併用する、安静呼吸を心がけるよう指導するなどの工夫も重要である。

2) 造影MRA

造影MRAは造影剤を経静脈的に注入して動脈優位相にデータを収集しMRAを得る方法で、造影剤による血液のT1短縮効果がコントラストに反映される³⁾。主に

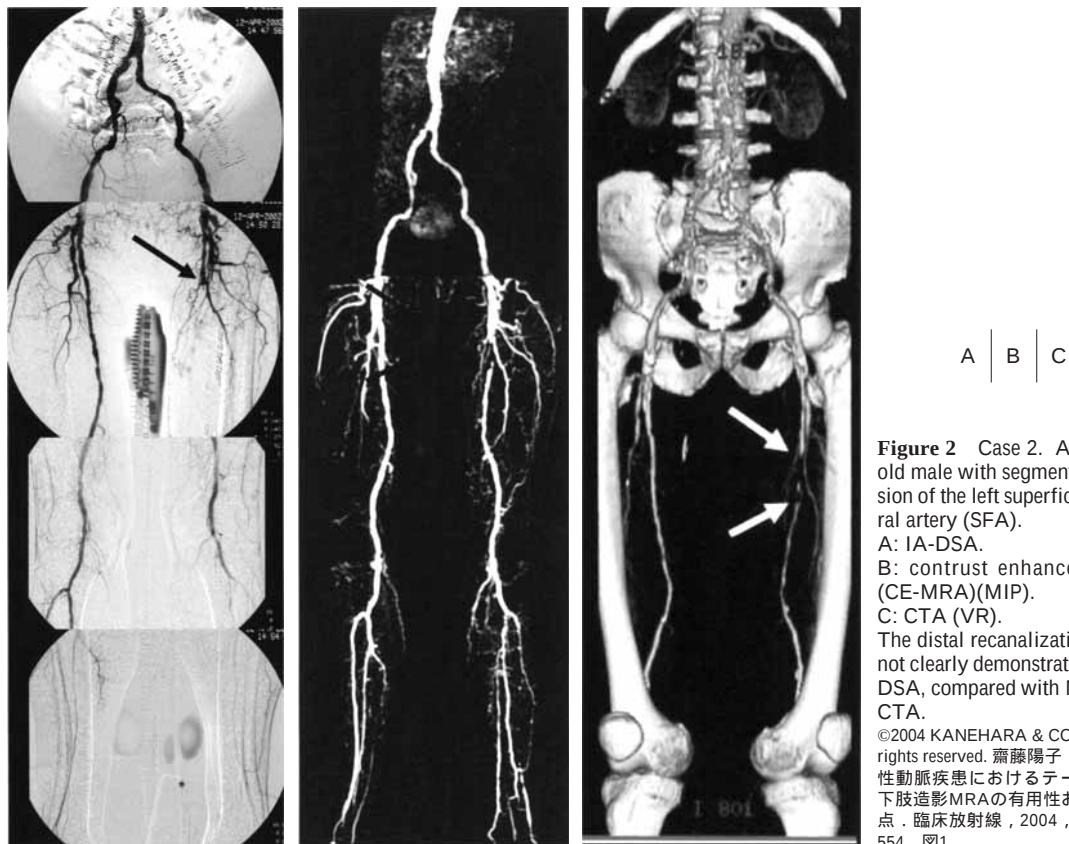


Figure 2 Case 2. A 78 year-old male with segmental occlusion of the left superficial femoral artery (SFA).

A: IA-DSA.

B: contrast enhanced MRA (CE-MRA)(MIP).

C: CTA (VR).

The distal recanalization site is not clearly demonstrated on IA-DSA, compared with MRA and CTA.

©2004 KANEHARA & CO., LTD. All rights reserved. 齋藤陽子：下肢閉塞性動脈疾患におけるテーブル移動下肢造影MRAの有用性および問題点．臨床放射線，2004，49：547-554，図1．

高速3Dデータ収集が行われる(Fig. 2, 3)。装置や撮像方法の進歩により撮像の高速化が進み，広く施行されるようになった。コントラストの良い画像を得るためには動脈優位相を確実に捉えることが必須で，そのためにトリガリング^{4,5}またはテスト注入法⁶などが利用される。TOF MRAに比べ，乱流や渦流による位相分散による信号低下は軽度とされており，屈曲蛇行する血管の描出も良く，乱流をきたしやすい拡張病変もよく描出される(Fig. 3)。また，信号強度は血流方向に依存しないため，体軸方向に広い範囲を設定できる冠状断像が選択される。冠状断では，FOV(field of view)を40cm程度とすると腹部大動脈 - 下腿の撮像のためには上下方向に連続した3部位以上の撮像が必要となる。この3部位の撮像をテーブル移動法^{5, 6}で連続して行う場合と，それぞれの撮像に合わせて造影剤を分割投与する方法があるが，前者の方が広く行われている。最新の装置ではmultiphase-multistepという手法も可能で，確実に

動脈相が捉えられる優れた方法である。なお，大腿動脈分岐部等の主要な血管分岐部がMIP像の接合部と重なり評価しにくくならないように，主要な血管分岐のレベルを考慮した撮像範囲の設定が望ましい。超高速撮像で全身の血管を一度に撮像する方法も報告されている^{7,8}。

トリガリングやテスト注入法を用いると最も上方の撮像部位では動脈の造影剤濃度が高い時相を捉えることが可能であるが，テーブル移動造影MRAの場合，2番目以降の撮像は自動的に最初の撮像に引き続いて行われるため造影剤の移行と撮像範囲の移動とが一致しないと良好なコントラストの画像が得られない。下腿では静脈の描出が顕著になり動脈の評価が妨げられることもあるので⁶，撮像時間をなるべく短くするとよいとされている。

造影MRAでは側副路や閉塞病変末梢の再開通部が intra-arterial digital subtraction angiography(IA-DSA)よりも良好に描出される場合(Fig. 2)が少なくない⁵。こ

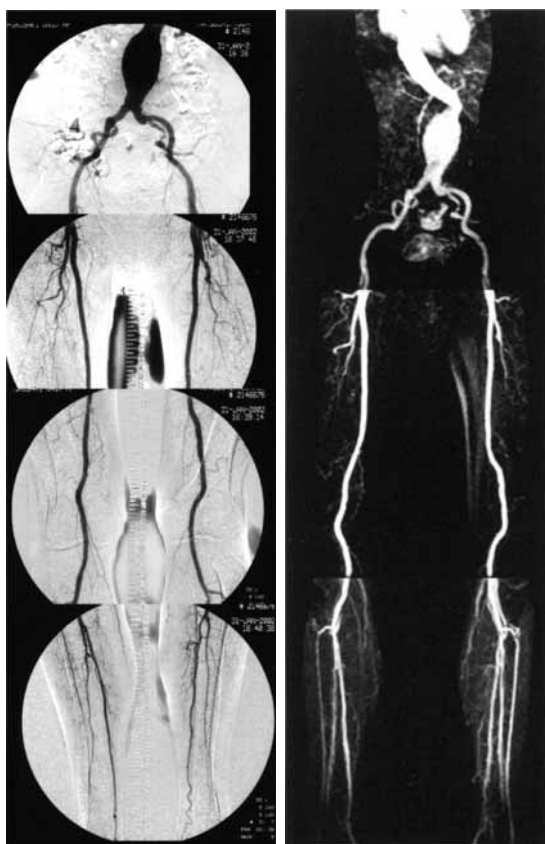


Figure 3 Case 3. A 84 year-old male with abdominal aortic aneurysm (AAA).

A: IA-DSA.

B: CE-MRA.

MRA well demonstrated AAA and tortuous iliac artery.

©2005 Medicus SHUPPAN. All rights reserved. 齋藤陽子：

MRA：血管検査マニュアル。

Vascular Lab, 2005, Vol. 2 増刊, 138-142, 図3。

A | B

これはDSAが主にfirst passを捉えているのに対しMRAでは緩徐に造影剤を注入して撮像するので、広範囲の側副路に造影剤が到達するためである。現在画像診断のgold standardはIA-DSAであるが、そのIA-DSAにもピットフォールがあり、MRAはそのピットフォールを補う情報を提供することも少なくない有用な検査である。同様に侵襲的検査であるIA-DSAよりも侵襲性の低いIV-DSAのほうが優れていることが少なくないことも知っておく必要がある。われわれは腹部大動脈・足関節レベルまでのMRAを3部位に分けて連続的に撮像しているが、TOF法と異なり蛇行する血管も良好に描出

され、血管辺縁も滑らかに描出された。造影MRAでは狭窄率の過小評価はほとんどなく、狭窄率50%以上の狭窄を有意狭窄とするとMRAによる病変の鋭敏度、特異度、正診率はそれぞれ95.2%, 96.0%, 95.8%と良好な結果が得られた⁶⁾。

(2) CTA

1) CTAの撮像方法

CTAは一般的に4列以上の多列検出器CTを使用して行われる⁹⁻¹³⁾。造影剤を約2~3ml/秒の速度で経静脈的に投与し、動脈内の造影剤濃度が十分に上昇したことをモニタリング等で確認のうえ撮影を開始する。CTでのモニタリングは画像とCT値の両方で確認でき確実性が高いので、煩雑なテスト注入法はあまり行われていない。各施設では装置や撮像範囲に合わせコリメーションやピッチも含めたプロトコルが設定されている。空間分解能をあまりにも重視すると、データ量が膨大になりワークステーションに負荷がかかり処理速度も低下するため1mm程度のスライス厚が選択されることが多いが、4列の装置では2.5mm程度のスライス厚が選択されることが多い。4列では下肢全域の撮像に40秒以上を要し下腿で静脈の増強効果がしばしば出現するが、8列では30秒以内で良好な動脈像が得られ、胸部から足関節までの撮像も可能である(Fig. 4)。16列以上の装置では最速の条件では寝台移動速度が血流速度を上回ることが多く、最速の条件での撮像は避けるべきとされている¹³⁾。また、空間分解能を上げ撮像時間を長くすると被曝が増大するので患者の被曝線量も考慮する必要がある。

2) CTAの画像処理方法とその特徴

CTAでは3D処理法として数種類の 방법이施行されている。volume rendering(VR), MIP, 多断面再構成(multi-planar reconstruction: MPR)による処理が行われ、MPRの亜型としてcurved planar reformation(CPR)³⁾や直交断面像も作成されることが多い。VR処理はワークステーション上では簡便であるが、MIPによるCTAでは投影像で骨と動脈の重なりが生じると動脈抽出の障害となるため骨を除去したほうがよい。骨と動脈が隣接している場合、骨と一緒に血管も除去されないように注意深い作業が必要とされ、時間も要する。CTは石灰化を容易に描出可能であるという有用性を持つが、石



Figure 4 CTA
Case 4. A 73 year-old male with complete occlusion of the right SFA.
A: VR image.
B: MIP image.
CTA shows complete occlusion of the right SFA.

灰化が強い部位や金属ステント留置部位はVRやMIPでは壁の石灰化のみが描出され内腔の観察が困難となる。内腔の観察にはMPRやCPRが利用されるが、画像処理の手段がさらに増え、処理に費やす時間も長くなる。狭窄率を詳細に評価するためには直交断面像が有用である。このように、CTは石灰化を容易に描出可能であるという有用点がある反面、石灰化が強い部位はMPRやCPR処理を追加せざるを得ず、画像処理が煩雑となり、撮像時間がMRAより多少短くても画像処理終了までではMRAよりも長い時間が必要となる場合が多い。DSAと比べた場合CTAでは狭窄病変の90%以上の正診率が報告されている^{10, 11)}。

(3) MRAとCTAの比較

DSAでは狭窄や閉塞などの血管内腔の情報しか得ら

れないが、CTAでは内腔の狭窄状態の評価に加え血管壁の石灰化も描出することができるという大きなメリットもある。多列検出器CTでは腹部 - 下腿の広範囲を短時間に撮影可能で、多列検出器CTの普及に伴い下肢の動脈疾患におけるCTAが広く行われるようになってきた。MRAもDSAと同様に血管内腔の状態しか描出できないが、非造影MRAも施行可能である。造影MRAでもCTAに比べ造影剤使用量が少なく腎機能への影響が小さいなどの点で侵襲性が低く、スクリーニングとして優れた方法であるといえる。動脈硬化症を基礎に持つ患者では腎機能低下例も少なくないので、個々の症例の腎機能や施設に設置されている装置の状況を考慮して検査方法を選択する必要がある。

MRAでは石灰化は描出困難で、MRAの大きな問題点の1つである。しかし、CTAと異なり石灰化の有無がMIPなどの画像処理に影響を及ぼさないで内腔の狭窄状態をかなり忠実に描出し、MIP以外の処理は通常は必要とされないで画像処理が簡便であるという有用点も併せ持つ。以上のような点を考えると、CTAとMRAは相補的な情報を持ち、CTで石灰化が描出されることはCTAの有用点にも問題点にもなり、MRAで石灰化の描出が困難であることはMRAの大きな問題点でもあると同時に有用点でもあるといえる。

手術やIVR治療の適応となる症例では石灰化の有無やその程度は必要不可欠な情報である。石灰化の強い部位での血管吻合は困難で、PTAを行う場合には石灰化が強い部位では径の大きなバルーンを選択すると内膜解離や弾性反跳を引き起こすことがあり、石灰化の有無やその程度を把握しておく必要がある。したがって、より非侵襲的なMRAで血管の狭窄状態を評価し、手術やIVR治療の適応となった場合にはCTで石灰化の評価をすることが多く、腎機能低下例ではMRAで血管内腔を評価し単純CTで石灰化を評価するという検査法の組み合わせもしばしば行われる。MRAやCTAは撮像装置のハードやソフトの進歩が著しく、現在もまだ撮像の高速化、高分解能化が進んでおり、さらに詳細な画像情報が得られるようになると、ますます臨床的有用性が高まると期待される。また、画像情報を提供する側は治療に役立つ画像を提供するという姿勢を常に保ち、撮影担当者は検査の目的を正しく理解し、常に良い動脈像を得るための最大限の努力を払わなければならない。

文 献

- 1) 齋藤陽子, 竹川鉦一, 淀野 啓 他: 閉塞性動脈硬化症における下肢MR-angiography. 日磁医誌, 1993, 13: 347-353.
- 2) 齋藤陽子: MRA. 血管検査マニュアル. Vascular Lab, 2005, Vol. 2 増刊, 138-142.
- 3) Prince MR: Gadolinium-enhanced MR aortography. Radiology, 1994, 191: 155-164.
- 4) Prince MR, Chenevert TL, Foo TK et al: Contrast-enhanced abdominal MR angiography: optimization of imaging delay time by automating the detection of contrast material arrival in the aorta. Radiology, 1997, 203: 109-114.
- 5) Ho KY, Leiner T, de Haan MW et al: Peripheral vascular tree stenoses: evaluation with moving-bed infusion-tracking MR angiography. Radiology, 1998, 206: 683-692.
- 6) 齋藤陽子, 野田 浩, 板橋陽子 他: 下肢閉塞性動脈疾患におけるテーブル移動下肢造影MRAの有用性および問題点. 臨床放射線, 2004, 49: 547-554.
- 7) Ruehm SG, Goyen M, Barkhausen J et al: Rapid magnetic resonance angiography for detection of atherosclerosis. Lancet, 2001, 357: 1086-1091.
- 8) Madhuranthakam AJ, Kruger DG, Riederer SJ et al: Time-resolved 3D contrast-enhanced MRA of an extended FOV using continuous table motion. Magn Reson Med, 2004, 51: 568-576.
- 9) Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ et al: Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. Radiology, 2001, 221: 146-158.
- 10) Catalano C, Fraioli F, Laghi A et al: Infrarenal aortic and lower-extremity arterial disease: diagnostic performance of multi-detector row CT angiography. Radiology, 2004, 231: 555-563.
- 11) Martin ML, Tay KH, Flak B et al: Multidetector CT angiography of the aortoiliac system and lower extremities: a prospective comparison with digital subtraction angiography. AJR Am J Roentgenol, 2003, 180: 1085-1091.
- 12) Catalano C: Whole body CTA. Abstracts of 5th International Symposium on Multidetector-row CT, Tokyo, 2005, 8-9.
- 13) 松本一宏, 栗林幸夫: マルチスライスCTを用いた3次元画像の有用性. 画像診断, 2003, 23: 911-921.

Non-invasive Evaluation of Peripheral Vessels: Diagnostic Radiologist's Viewpoint

Yoko Saito¹ and Hiraku Yodono²

¹Division of Medical Radiological Technology, Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Hirosaki University, Aomori, Japan

²Department of Radiology, Narumi Hospital, Aomori, Japan

Key words: contrast-enhanced MRA, CT angiography, lower extremities, arterial occlusive disease

MRA and CTA are non-invasive modalities. Further, this paper addresses the advantages/disadvantages of MRA and CTA in evaluating peripheral arterial disease (PAD). Because the injection of contrast material is not necessary on 2D-TOF MRA, this method allows patients with renal insufficiency or allergic diseases to be safely evaluated. In our experiences, 2D-TOF MRA tends to overestimate the severe stenotic lesions and underestimate mild stenoses. Underestimation of lesions seems to be caused by lower spacial resolution whereas overestimation was thought to be by signal loss from turbulence. Table-moving contrast-enhanced 3D MRA yields reliably accurate diagnoses compared with IA-DSA. This method depends on T1 shortening of arterial blood after contrast material administration. Therefore, signal loss on CE-MRA at the stenotic lesion due to turbulence is less severe than that on TOF MRA. Evaluation on stenotic degree up to the trifurcation was highly accurate.

The clinical use of CTA is widespread as the use of MD-CT increases. CTA visualizes calcification well but calcification sometimes obscures the demonstration of lumen. Data acquisition time of CTA is less than 1 minute, but image processing such as MIP or MPR is time consuming. In addition to being non-invasive, both MRA and CTA appear to be a reliable method in evaluating PAD.

(J Jpn Coll Angiol, 2006, 46: 211-216)

Online publication June 30, 2006

脈管学 Vol. 46, 2006