

MDCT を用いた末梢動脈疾患の画像診断

松本 一宏 陣崎 雅弘 田波 穰 橋本 統 栗林 幸夫

要 旨：末梢動脈疾患の診断と治療法の選択において MDCT を用いた CT angiography (CTA) が重要な役割を果たしている。CTA では血管径の計測も可能であり、血管内治療のプランニングに活用されている。CTA の末梢動脈疾患の診断能は血管造影と比べても遜色ないが、強い石灰化がある場合、病変を過大評価する傾向がある。また重症虚血肢で問題となる足関節以下の評価は、CTA でも困難な場合が多く、課題もある。
(J Jpn Coll Angiol, 2011, 51: 113-118)

Key words: multidetector-row CT, CT angiography, peripheral arterial disease

はじめに

Multidetector-row CT (MDCT) を用いた末梢動脈疾患の CT angiography (CTA) は、低侵襲で簡便に施行でき、診断精度の高い。MDCT が登場してから 10 年以上が経過した現在、CTA は末梢動脈疾患の診断に広く用いられている。CTA を用い詳細な 3 次元画像が作製でき、末梢動脈をさまざまな方向から形態の評価を行えるほか、血管計測が可能である。本稿では MDCT を用いた末梢動脈疾患の画像診断の利点および問題点、血管内治療支援ツールとしての役割について述べる。

CT angiography

CT angiography (CTA) とは造影剤を経静脈的に急速注入後、血管が強く造影されたタイミングで CT 撮影を行い、画像再構成により目的とする血管を選択的に描出する表示方法である。3 次元表示が可能で解剖学的位置関係や病変の形態を詳細に評価できる。1998 年の MDCT の登場により、薄いスライス厚を用いながらも広い範囲を一度に撮影できるようになり、詳細な 3D-CTA が得られるようになった¹⁻⁵⁾。CTA は血管内治療の対象となる全身の動脈に応用可能である。MDCT はすでに広く普及しており、ワークステーションの画像処理能力の向上と相まって、多くの施設で末梢動脈疾患の診断に CTA が用いられている。

MDCT は体軸方向 (Z 軸方向) に複数の検出器を有し、高速撮影が可能である。撮影の高速化によって、薄いスライス厚を用いても、広範囲を適切な造影タイミングで撮影でき、時間分解能および体軸方向の空間分解能に優れ、詳細な 3 次元画像が作成できる。

かつては末梢動脈疾患の画像診断に血管造影が用いられていたが、現在は侵襲の低い CTA が中心的な役割を占めるようになってきている。血管造影と比べ、CTA は低侵襲であるほか、消化管の蠕動の影響を受けない、多方向からの観察が可能である、石灰化など血管壁の性状が観察できる、など利点が多い。4 列 MDCT による末梢動脈疾患の診断能は、経動脈の血管造影を基準として、感度・特異度がそれぞれ 89~92%・92~98% と報告されている^{3,4)}。Scherthaner らは 16 列 CT を用い、感度・特異度が腸骨動脈で 100%・99.5%、大腿動脈で 97.4%・99.0%、下腿で 98.3%・99.8% と良好な成績を報告している⁵⁾。

CTA の診断能を低下させる要因には以下のようなものが挙げられる。不適切な撮影のタイミングにより良好な造影効果が得られない場合、診断能が低下する。また動脈壁の高度石灰化がある場合、石灰化が実際の大きさよりも大きく表示される blooming artifact により、狭窄病変が過大評価される傾向がある。また通常は血管内腔と石灰化は CT で区別できるが、石灰化が強く、かつ血管内腔が細い場合は両者の区別が困難で、血管内腔が認識

できなくなることがある。他に患者の体動や、体内金属からのアーチファクトも CTA の診断能を低下させる要因として挙げられる。

4 列の MDCT の登場以降、数年の間に検出器の多列化が進み、ガントリーの回転速度も速くなり、撮影の高速化が行われている。その後も X 線管球と検出器を二つずつ搭載した dual source CT や Z 軸方向の検出器の幅が広い CT など多様な特徴を持つ CT 装置が開発されている。下肢動脈は心拍動の影響を受けず、血流速度も比較的遅いため、必ずしも最新の高速撮影装置は必要ではなく、16 列の MDCT を用いて腹部から足部までの良好な画像が得られている。64 列の MDCT では頸部から足部までの全身の動脈の評価が可能になった。

近年、血管疾患の低侵襲検査として MR angiography (MRA)、とくにガドリニウム造影剤を用いた造影 MRA も広く普及している^{6,7)}。MRA と比較した場合、CTA の利点としては、一般に空間分解能が高く、詳細な 3 次元画像が得られ、精度の高い血管径計測が可能である点や石灰化が描出される点が挙げられる。また CTA ではアーチファクトが少ないため、画像の解釈も容易である。MRA の利点としては放射線被曝がない点や 3 次元画像の作成が容易な点が挙げられる。

近年、CT では検出器の改良、X 線量の自動調節機能の搭載、低エネルギー X 線撮影など、検査に伴う放射線被曝を減少させる試みがある。一方で高精細な画像を得るためにより薄いスライス厚を使用することで被曝線量が増加する場合があります。被曝に対する配慮は必要であり、検査の適応は十分考慮しなければならない。閉塞性動脈疾患では臨床症状や ABI(ankle brachial index)などの検査所見から病変の有無や重症度はある程度予測が可能である。臨床的に末梢動脈疾患の存在が強く疑われ外科的あるいは血管内治療が考慮された場合、MDCT のよい適応と思われる。

末梢動脈疾患の治療方針の決定

末梢動脈疾患の治療法には外科的血行再建術、バルーンを用いた経皮的血管形成術や金属ステント留置術などの血管内治療のほか薬物療法や運動療法などがあり、集学的な治療が行われている。一方、施設間や診療科間で治療方針が異なることも多く、エビデンスに基づいた客観的な評価基準とそれに従った治療のガイドラインが求められるようになった。現在、末梢動脈疾患の診

断と治療のガイドラインとして TASC II(Trans-Atlantic Inter-Society Consensus)が広く用いられている^{8,9)}。

TASC では病変を部位、狭窄の程度、範囲、石灰化などから分類し、推奨される治療法が示されている。他にも腹部大動脈の状態、側副血行路の発達の有無、末梢の runoff、血管内治療のアクセスルートなどが治療法選択の際の検討項目となり、これらの情報を提供することが CTA の役割といえる。

一般に、血管内治療が可能であれば侵襲性の低い血管内治療が選択され、血管内治療が困難な複雑な病変に対し外科的再建術が選択される。TASC は 2007 年に改訂されており、血管内治療の適応が拡大している。

CT 撮影・画像再構成法

1) 撮影範囲

末梢動脈疾患の治療方針の決定には腹部大動脈の狭窄の有無、動脈瘤の有無、壁在血栓の状態などの情報も必要であり、上方は腹部大動脈も範囲に入れている。また末梢側では runoff の評価が重要であり、下方は下腿下部まで含めている。撮影時の息止めは腹部と骨盤部を撮影している 10 秒程度のみ行っている。

2) 撮影条件

CTA では元画像のスライス厚が薄いほど、体軸方向の空間分解能が向上する。詳細な CTA を得るためには元画像のスライス厚は 2.5 mm 以下が望ましく¹⁾、現在は約 1 mm を用いることが多い。寝台の移動速度は、撮影範囲が広いと、8 列以下では最速に設定される。撮影時間が長くなると下肢静脈が造影され、CTA で動脈の評価が困難となる場合もあるため短縮が望まれる。しかし 16 列以上の MDCT では最速の寝台移動速度が 70 mm/秒以上になり、下肢動脈血流を上回るため、調整を要し、30 mm/秒程度に設定している^{10,11)}。

3) 造影方法

当院では濃度 300~370 mg/ml のヨード造影剤を用い、1 秒間あたり 3 ml の速度で注入しており、通常は下腿まで良好な造影効果が得られる。副作用の点から造影剤の総量は少ないほうが望ましいが、下肢の血流速度には個人差があり、広範囲で良好な造影効果を得るには、ある程度の造影持続時間が必要となる。そのため造影剤量は、腎機能に問題のない限り、100 ml 使用し、動脈内の造影効果を長く保つようにしている。また造影剤が腹部大動脈に到達する時間も個人差があるため、ボーラ



Figure 1 Computed tomography (CT) angiography of peripheral arterial disease. A: volume rendering (VR), B: maximum intensity projection (MIP), C: curved planar reformation (CPR) along right common and external iliac artery. The overall view can be observed in VR and MIP images. Marked calcification is present at the aortic bifurcation and right common iliac artery (A, B). In CPR along right common and external iliac arteries, complete occlusion of common iliac artery was visualized (arrow, C).

ス・トラッキング法を用い、大動脈内のCT値をモニターして大動脈が造影されたのを確認して、撮影を開始している。

4)画像再構成

末梢動脈のCTAで一般に用いられている表示法としてvolume rendering (VR), maximum intensity projection (MIP), curved planar reformation (CPR)がある(**Fig. 1**)。VRはカラー表示で立体感のある画像が得られ、概観をみるのに適している。VRでは条件の設定により、細い血管や造影効果の低い血管が描出されず、病変を過大評価する場合がある。MIPは骨を除去する必要があるが、血管造影と同じような投影像が得られ、通常グレースケールで表示される。VR, MIPでは血管壁に強い石灰化や金属ステントがあると血管内腔の表示が困難となる。石灰化や金属ステントがある場合、CTの元画像(横断像)や血管の長軸に沿った断面であるCPRを参照する

必要がある。

CTを用いた血管内治療前後の評価

1)術前の血管計測

ワークステーション上のさまざまなアプリケーションソフトウェアが開発されており、そのひとつに血管自動計測ツールがある。この自動計測ツールを用い、短軸断面上の血管径(最大径, 最小径)や断面積が測定可能である。以前は血管の中心軸に直行する短軸断面像は血管内超音波を用いなければ表示できず、CTで低侵襲に得られるようになった(**Fig. 2**)。血管内治療の術前に金属ステントやバルーンなどの使用器具のサイズを予測でき、血管内治療のプランニングに役立っている。この自動計測ツールを用いた血管計測は広く利用されているが、計測値が血管走行の向きや内腔の造影効果の影響を受け、血管走行が体軸方向に対して垂直に近い場合や内腔の造

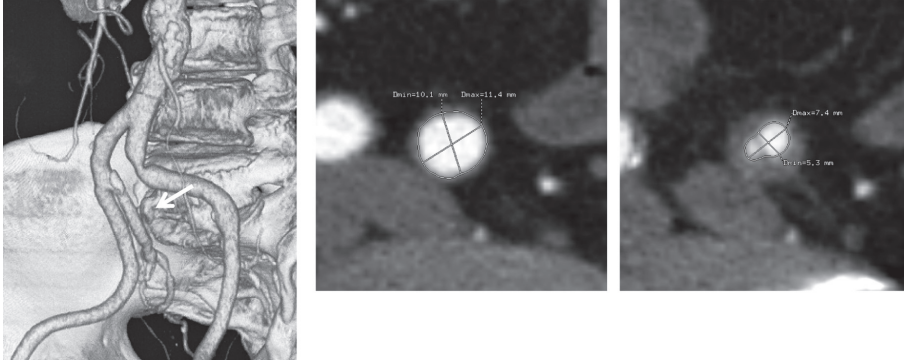


Figure 2 Automated vascular measurement. Stenosis is present in the left common iliac artery on VR (A). The vascular diameter was measured using automated measurement software. The maximum and minimum diameters were automatically measured in the short axial image of non-stenotic (B) and stenotic lesion (C) of left common iliac artery.

A | B | C

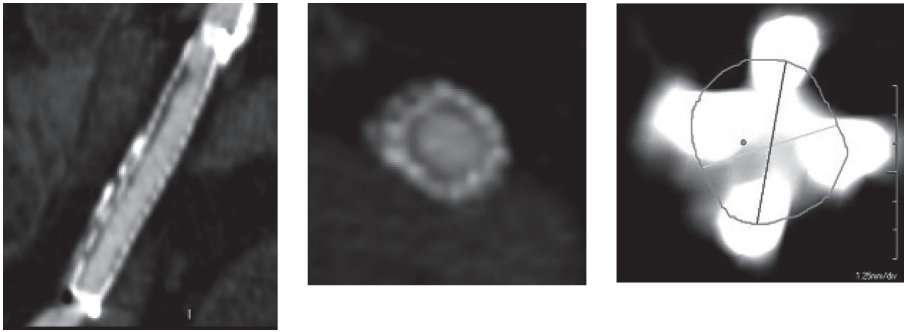


Figure 3 A metallic stent composed of nitinol was placed in right external iliac artery. The inner lumen of the stent body could be visualized on CPR (A) and trans-axial image (B). Neointimal hyperplasia was shown as low-attenuation filling defect along stent wall. The inner lumen of both ends of the stent could not be visualized due to a metal artifact from the tantalum marker.

A | B | C

影効果が低い場合などは計測の誤差が大きくなる¹²⁾。また石灰化と血管内腔の境界が自動で判別できない場合もあるなど課題が残っている。

2) 血管内治療後の評価

血管内治療後の評価にも CTA が役立っている。金属ステント留置後の内腔の評価には元画像の横断像や CPR が用いられる。ステント後評価の問題点としてステントからの金属アーチファクトの影響が挙げられる。Maintz ら¹³⁾は *in vitro* での各種ステント内腔の視認性を評価している。いずれのステントにおいても壁が実際よりも厚く描出され、ステント内腔が 25% 以上狭く描出されると報告している。とくに tantalum 製のステントはアーチファクトが強く、内腔の評価が困難であったと述

べている。これに対し現在主流となっている nitinol や stainless steel 製のステントでは内腔の見かけ上の減少は 40% 以下であり、内腔の評価は概ね可能であるとしている。一部の金属ステントで、X 線透視での視認性を向上させるために、両端に金属のタンタル性のマーカーが付いているものがある。CT では、このタンタル・マーカーが金属アーチファクトの原因となり、ステント両端の評価が困難となることがある (Fig. 3)。

問題点と最近の画像の進歩

1) 高度石灰化病変の評価

CT は石灰化の検出に優れ、壁の性状の評価に有用であるが、一方で強い石灰化があると内腔と石灰化の区別

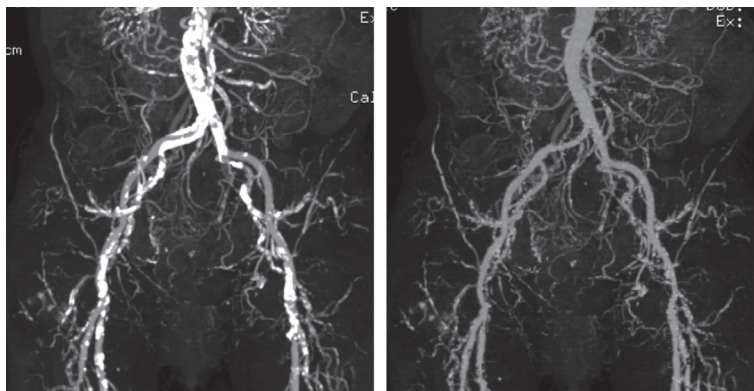


Figure 4 CT angiography (CTA) of peripheral arterial disease with dual energy CT. Severe calcification and contrast-enhanced vascular lumen were shown on conventional CTA (A). Iodine image was reconstructed from dual energy CT data sets. Contrast-enhanced vascular lumen was visualized selectively on iodine image (B).

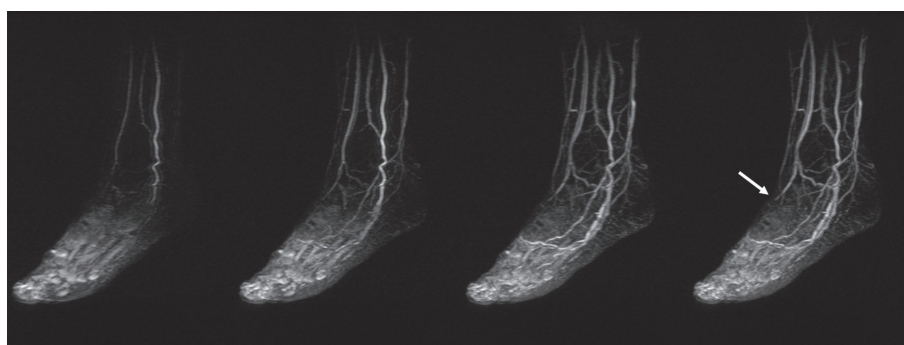


Figure 5 Time-resolved MR angiography of critical limb ischemia. Contrast-enhanced MR angiography was performed repeatedly at short intervals. Temporal resolution was improved and hemodynamics of foot were evaluated. Occlusion of dorsalis pedis artery was visualized (arrow).

が困難となるため、CTの診断能が低下する。近年、血管内腔のヨード造影剤と石灰化を分離して表示する試みがある。異なった2つの管電圧でCTを撮影する dual energy CTを用い、2種類の画像データをもとに、特定の物質を選択的に画像化するものである。この手法により、ヨード造影剤と石灰化を別々に画像化でき、診断能の向上に期待が寄せられている(Fig. 4)。

2) 重症虚血肢の評価

重症虚血肢では血流の乏しい下腿の動脈や足関節以下の評価が必要となるが、CTAでは良好な造影が得られず、評価困難な場合も多い。現在も重症例の下腿以下の評価に血管造影が行われているが、末梢では血管抵抗が高く、血流速度も低下するため、良好な造影が得ら

れない場合がある。

造影 MR angiography(MRA)はコントラストに優れ、血流が減少した末梢動脈でも造影効果を描出できる可能性がある。ガドリニウム造影剤をボースで投与した後、数秒間の撮像を繰り返して行う time-resolved MR angiography と呼ばれる撮像法があり、連続撮像によって血行動態の評価が可能である(Fig. 5)。時間分解能、空間分解能ともに向上し、血流が低下した末梢動脈に応用されている¹⁴⁾。

文 献

- 1) Rubin GD, Shiau MC, Leung AN et al: Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angi-

- ography. *Radiology*, 2000, **215**: 670–677.
- 2) Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ et al: Multidetector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. *Radiology*, 2001, **221**: 7–10.
 - 3) 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*, 2003, **180**: 1085–1091.
 - 4) Ofer A, Nitecki SS, Linn S et al: Multidetector CT angiography of peripheral vascular disease: a prospective comparison with intraarterial digital subtraction angiography. *AJR*, 2003, **180**: 719–724.
 - 5) Scherthaner R, Stadler A, Lomoschitz F et al: Multidetector CT angiography in the assessment of peripheral arterial occlusive disease: accuracy in detecting the severity, number, and length of stenoses. *Eur Radiol*, 2008, **18**: 665–667.
 - 6) 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*, 1999, **210**: 683–688.
 - 7) Ruehm SG, Hany TF, Pfammatter T et al: Pelvic and lower extremity arterial imaging: diagnostic performance of three-dimensional contrast-enhanced MR angiography. *AJR*, 2003, **174**: 1127–1135.
 - 8) TASC II Working Group: Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II). *J Vasc Surg*, 2007 **45** (Suppl): S5–S67.
 - 9) 日本脈管学会編: 下肢閉塞性動脈硬化症の診断・治療 II. メディカルトリビューン, 東京, 2007.
 - 10) 松本一宏, 陣崎雅弘, 佐藤浩三 他: 末梢動脈におけるマルチスライス CT 撮影条件の検討. *日獨医報*, 2003, **48**: 343.
 - 11) Fleischmann D, Rubin GD: Quantification of intravenously administered contrast medium transit through the peripheral arteries: implications for CT angiography. *Radiology*, 2005, **236**: 1076–1082.
 - 12) 松本一宏, 陣崎雅弘, 佐藤浩三 他: マルチスライス CT による非侵襲的血管計測: ファントム実験による基礎的研究. *脈管学*, 2003, **43**: 35–39.
 - 13) Maintz D, Fischbach R, Juergens KU et al: Multislice CT angiography of the iliac arteries in presence of various stents: in vitro evaluation of artifacts and lumen visibility. *Invest Radiol*, 2001, **36**: 699–704.
 - 14) Andreisek G, Pfammatter T, Goepfert K et al: Peripheral arteries in diabetic patients: standard bolus-chase and time-resolved MR angiography. *Radiology*, 2007, **242**: 610–620.

Multidetector-row CT Angiography of Lower Extremities: Value in the Diagnosis and Intervention of Peripheral Arterial Disease

Kazuhiro Matsumoto, Masahiro Jinzaki, Yutaka Tanami, Subaru Hashimoto, and Sachio Kuribayashi

Department of Diagnostic Radiology, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan

Key words: multidetector-row CT, CT angiography, peripheral arterial disease

CT angiography (CTA) based on data acquired with multidetector-row CT (MDCT) is an established, minimally invasive modality for imaging peripheral arterial disease. CTA has been widely used to assess peripheral arterial disease, and it has replaced conventional angiography in the diagnostic evaluation of peripheral arteries. CTA using MDCT depicts the fine structures of vessels. Automated CTA analysis software has been developed for the measurement of vascular lumen. The software can automatically measure diameters on the short axial section in the post processing workstation. Measurement of vascular diameter is useful in planning endovascular treatment of peripheral arterial disease. CTA is also utilized in assessing intravascular lumen after metallic stent placement. CTA has a limitation in evaluating severe calcified lesion and critical limb ischemia. Calcification causes the overdiagnosis of severity of stenotic lesion due to the blooming artifact. Some ischemic lesions below the knee are difficult to evaluate with CTA due to its low contrast. The new imaging techniques, such as dual energy CT or time resolved MR angiography, have the potential to improve on current CTA limitations.

(*J Jpn Coll Angiol*, 2011, **51**: 113–118)

Online publication April 1, 2011

脈管学 Vol. 51 No. 1