

Multidetector-row CTによる下肢動脈疾患の評価

松本 一宏 陣崎 雅弘 佐藤 浩三 田波 穰
中塚 誠之 橋本 統 栗林 幸夫

要 旨：Multidetector-row CT(MDCT)を用いたCT angiography(CTA)は低侵襲で、血管造影に代わり、末梢動脈などの血管の画像検査に広く用いられるようになってきている。MDCTでは広い範囲を観察できる一方で高い空間分解能を生かし局所の詳細な形態学的評価も可能である。近年、ワークステーション上で血管自動計測用のソフトウェアを用い、血管径や断面積の精度の高い計測が可能になってきており、末梢動脈疾患の血管内治療前のプランニングに応用している。また金属ステント留置後の内腔の評価においてもCTAによる観察が可能である。

(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 735-741)

Key words: multidetector-row CT, CT angiography, peripheral artery

はじめに

Multidetector-row CT(MDCT)を用いたCT angiography(CTA)は簡便で侵襲性が低い検査であり、全身の動脈で応用可能である。MDCTが登場してから5年以上が経過した現在、CTAは下肢末梢動脈領域においても、スクリーニングから術前検査に至るまで広く用いられるようになってきている。CTAでは高い空間分解能を生かした高精細の三次元画像が作成でき、詳細な形態学的評価のほか精度の高い血管計測が可能である。本稿では末梢動脈疾患に対しMDCTを用いたCTAの利点および問題点、撮影方法、表示方法について解説する。またMDCTを用いたワークステーション上での血管の自動計測についても紹介する。

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、得られたデータから画像再構成により血管造影と類似した画像を描出する表示方法である。画像を三次元的に表示し、解剖学的位置関係や形態を理解しやすくした画像を3D-CTAと呼んでいる。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¹⁻³⁾。3D-CTAは下肢末梢血管を含め、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はこの数年で急速に普及しており、画像処理を行うワークステーションの性能や操作性の向上と相まって、多くの施設で血管疾患のスクリーニング検査や術前検査に3D-CTAを用いるようになってきている。

3D-CTAの現状

MDCTはmultislice CT(MSCT)とも呼ばれ、体軸方向(Z軸方向)に複数の検出器を有し、従来の単検出器型CT(体軸方向に1列の検出器を持つCT)と比較し、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良好な造影タイミングのうちに撮影でき、時間分解能および体軸方向の空間分解能に優れ、詳細な三次元画像が作成できる。1998年に4スライスのMDCTの登場以降、数年の間に8スライス、16スライスが相次いで登場しており、ガントリーの回転速度の高速化と相まって、撮影の高速化が急速に進んでいる。

慶應義塾大学医学部放射線診断科

2004年10月5日受理

従来、末梢血管をはじめとする閉塞性動脈疾患の画像検査は血管造影 (subtraction digital angiography: DSA) が中心であったが、現在は侵襲性の低い3D-CTAが重要な役割を占めるようになってきている。DSAと比べ、3D-CTAは低侵襲であるほか、腹部～骨盤部で消化管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^{1,4,5)}。4スライスCTを用いた3D-CTAの閉塞性病変における診断能の検討では診断能はsensitivityが89～92%、specificityは92～98%と報告されており^{6,7)}、検査の低侵襲性や簡便さを考慮すると、診断を目的とする血管造影に置き換わる検査といえる。

また近年、血管疾患の低侵襲検査としてMR angiography (MRA)、特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⁸⁾。MRAと比較したCTAの利点としては、一般に空間分解能が高く、詳細な三次元画像が得られ、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。一方、造影MRAの利点としては、放射線被曝がない点や造影剤の安全性が高い点、三次元画像の作成が容易な点が挙げられる。

近年、CTでは検出器感度の向上や照射線量を自動調節する機能が搭載されるなど、検査に伴う放射線被曝の低減が試みられているが、一方で高精細な画像を得るために薄いスライス厚を使用することで被曝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。臨床的に閉塞性動脈疾患の存在が強く疑われ外科的治療あるいは血管内治療が考慮された場合、MDCTの良い適応と思われる。MDCTは簡便かつ短時間で施行でき、広範囲が一度に撮影可能であり、末梢血管の全体像を観察でき、病変の検出に有用である。同時に、高い空間分解能により病変部の詳細な評価も可能で、術前検査として十分な情報を提供できる。

撮影方法について

(1) 撮影範囲

末梢血管疾患の撮影範囲は腹部から下腿下部まで含める。病変の好発部位である総腸骨動脈近位部の血管

内治療を行う際には、腹部大動脈の狭窄の有無、動脈瘤の有無、壁血栓の状態などの情報が必要であり、上方は腹部大動脈までカバーしている。末梢血管疾患の外科的治療・血管内治療の適否の決定において末梢側のrun-off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10～20秒の間のみ行っている。

(2) 撮影方法

CTAでは元画像のスライス厚が薄く、スライス枚数が多いほど、体軸方向の空間分解能が向上する。詳細な3D-CTAを得るためには元画像のスライス厚は2.5mm以下が望ましい¹⁾。

末梢血管疾患の場合、スライス厚は4スライスのMDCTでは2.0～2.5mmを用い、8スライスや16スライスでは1.0～1.25mmを用いることが多い¹⁾。撮影範囲が広い場合、寝台の移動速度は4スライスや8スライスでは最も速い条件に設定される場合が多い。また撮影時間が長くなると下肢静脈が造影されてしまい、動脈と重なり、3D-CTA上で動脈の評価が困難となる場合があり^{2,5,9)}、この点からも撮影時間の短縮が望まれる。しかし、16スライスでは1.0～1.25mm×16のコリメーションで最速のモード (ガントリー回転速度0.4～0.5秒/1回転、ヘリカルピッチ1.75) を用いると寝台移動速度が約70mm/秒に達し、末梢血管疾患では下肢動脈血流を大きく上回る場合があり、16スライスでは必ずしも最速の条件を設定する必要はない¹⁰⁾。通常16スライスでは50mm/秒以下の寝台移動速度に設定し撮影している。

(3) 造影方法

詳細な三次元画像を作成するためには撮影範囲の動脈が十分に造影されたタイミングで撮影する必要がある。使用する造影剤の濃度や注入速度は施設によって異なっている。当院では造影剤は基本的に濃度300mg/mlの非イオン性ヨード造影剤を用い、1秒間あたり3mlの速度で注入しており、通常この条件で腹部から下腿まで良好な造影効果が得られる。体格が大きい症例や足関節遠位など細い血管の評価が必要な場合は、高濃度の造影剤使用や注入速度を上げるなどの対策が必要と思われる。造影剤の総量は副作用の面からできるだけ少量に抑えるほうが望ましいが、下肢の血流速度には個人差がかなりあり、広い撮影範囲内の動脈が十分

造影されたタイミングで撮影するには、ある程度の造影持続時間が必要となる。そのため末梢動脈疾患の場合、造影剤の総量は、腎機能などに問題のない限り、100mlほぼ全量を使用し、動脈内の造影剤濃度をできるだけ長く高濃度に保つようになっている。末梢動脈疾患で腹部から撮影を開始する場合のタイミングは注入開始後約25秒前後とすることが多い。ただし造影剤が腹部大動脈に到達する時間にもかなり個人差があるため、大動脈内のCT値をモニタリングする方法(bolus tracking system)や少量(10~20ml程度)の造影剤を用いたテストインジェクションで到達時間を計測する方法を用いたほうがより確実である。当院では簡便なbolus tracking systemを用いている。腹部大動脈下部に関心領域(region of interest: ROI)を置いて、低線量で間歇的に撮影し、血管内のCT値をモニタリングし、血管内が十分に造影されたのを確認して撮影を開始している。

3D-CTAの表示方法について

(1)画像再構成

当院ではMDCT撮影で収集したボリュームデータを3D-CTA作成に適したスライス厚、field of view(FOV)に再構成し、再構成した画像データをワークステーションに転送し、ワークステーション上で三次元画像を作成している。再構成のスライス厚、スライス間隔は4列のMDCTでは2.0~2.5mm厚、間隔は1/2オーバーラップを用い、8列および16列のMDCTでは1.0~1.25mm厚で同じ幅のスライス間隔を用いている。再構成画像の枚数はいずれも800~900枚以上に上る。16スライスのMDCTでは性能的には最小の0.5~0.625mmスライス厚を用いた画像も作成可能ではあるが、スライス枚数が極端に多くなってしまい、画像処理にかなりの負荷がかかってしまうため、1mm前後のスライス厚を用いている。骨盤部から大腿部の比較的太い血管は1mm前後のスライス厚で十分評価可能であり、細径である下腿の動脈も体軸方向に対しほぼ平行に走行するため、スライス厚によるpartial volume effectが少なく、1mmスライス厚程度で評価可能と思われる。

FOVは25~30cmに設定している。原理的に再構成時のFOVが小さいほど解像度が上がるため、部分的に詳細な評価が必要な場合には、その部分を中心としてFOVを可能な限り小さくすることで解像度の改善が得られる。

(2)三次元表示

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-multiplanar reformation(MPR)がある(Fig.1)。

VRは作成が容易で立体感のある画像が得られ、カラーで表示され、概観を見るのに適している。VRでは条件の設定などにより、細い血管や吸収値の低い血管が描出されず病変を過大評価する場合があります、注意を要する。

MIPは最大値投影法と呼ばれ、血管を表示するには骨など血管よりも吸収値の高い成分を除去する必要があり、画像作成はVRより手間がかかるが、血管造影と同じような投影像が得られる。通常グレースケールで表示される。

VR、MIPのいずれの表示法においても、血管壁に強い石灰化が存在する症例では血管内腔の表示が困難となる。石灰化がある場合、狭窄病変の存在する可能性が高く、いずれの場合も病変の有無を元画像の横断像やMPRを併用して確認する必要がある。下肢動脈は主として体軸方向に平行に走行するので、CTの元画像(横断像)を用いた内腔の観察が有用である。連続する横断像をモニター観察するpaging法は病変の検出に有用である。また血管の走行に沿ったcurved-MPRは1つの画像で広範囲の血管内腔を表示でき、概観を観察するのに適している。

MIP作成の注意点として、骨除去の際に骨と接する血管を一緒に除去してしまう場合があり、特に下腿の前脛骨動脈は下方で脛骨と接しており、MIPでは狭窄があるように見えることがある。

MDCTを用いた血管内治療前後の評価

(1)血管自動計測ソフトによる血管計測

現在、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が開発されており、その一つに血管の自動計測ソフト(Advanced Vessel Analysis: AVA, GE社製)がある。AVAではCTの高い空間分解能を生かし、精度の高い計測が可能である^{4,5,11)}。ワークステーション上で目的とする血管の測定範囲(始点と終点)を指定すると、血管内腔と周囲との濃度差を認識し、血管内腔が自動的に計測される。まず任意の血管の中心軸を算出し、中心軸に直交する短軸断面が表示される。短



Figure 1 Three-dimensional CT angiography.

A: Volume rendering (VR).

B: Maximum intensity projection (MIP).

C, D: Curved-multiplanar reformation (MPR) along right lower extremity artery.

A | B | C | D

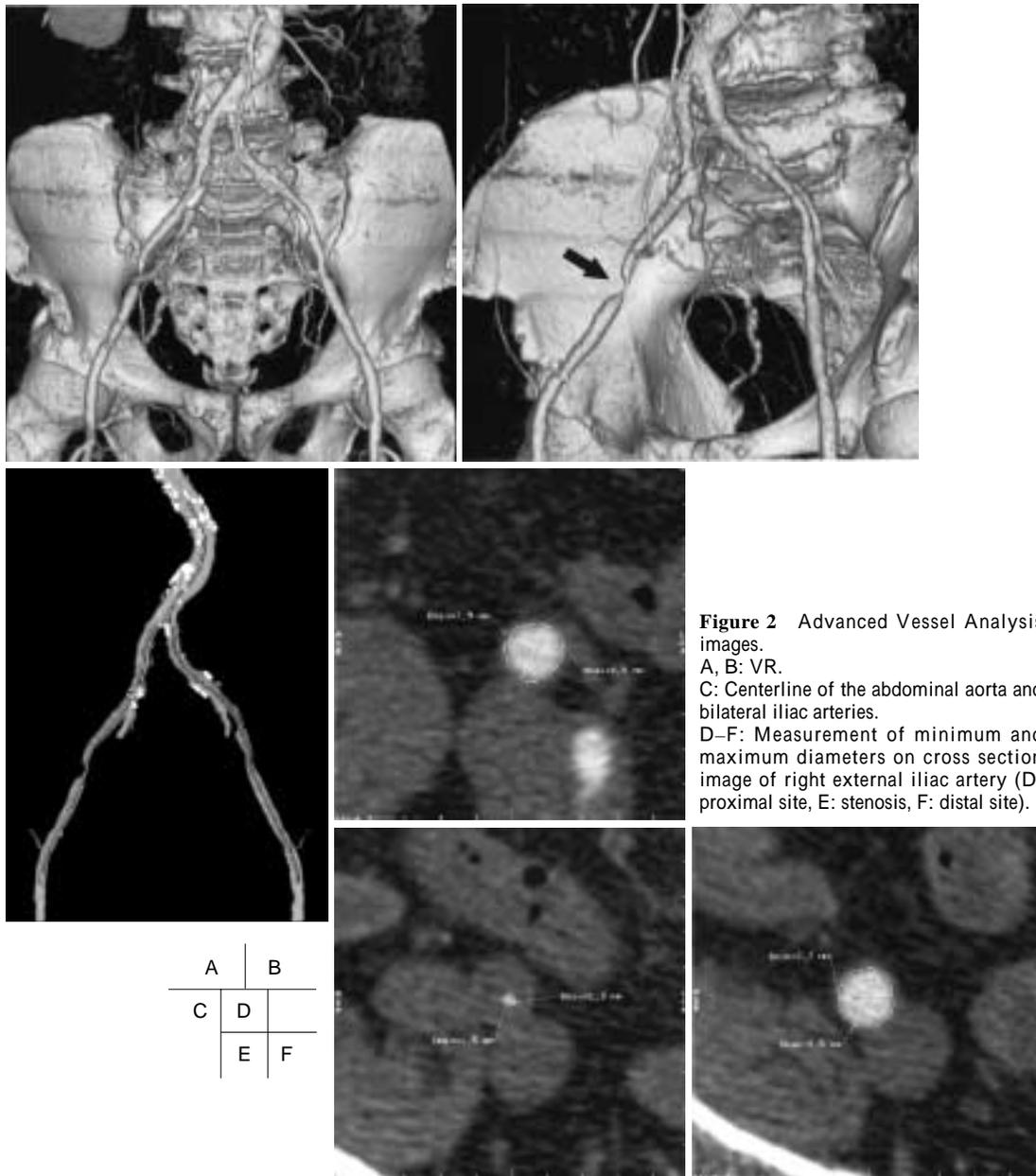
軸断面上の血管径(最大径, 最小径)や断面積が測定可能である(Fig. 2)。これまで血管の中心軸に直行する短軸断面像は血管内超音波を用いなければ表示できず, CTで低侵襲に得られるようになった意義は大きいと思われる。また断面積が計測できることから狭窄病変において血管径のみではなく断面積を用いた狭窄率の評価が可能となり, 病変をより正確に評価できるようになった。MDCTを撮影し, CTAによる形態学的評価を行うほか, 同一の再構成データからAVAによる血管計測が可能である。血管内治療の術前に金属ステントやバルーンなどの使用器具のサイズを予測でき, 血管内

治療のプランニングに応用している。血管内治療の成績を向上させ, 合併症を防ぐうえでステントやバルーンのサイズの選定は重要である。

(2) 血管内治療後の評価

血管内治療後の画像評価はDSAが主体であるが, 術前検査同様, より侵襲性の低い検査が行われるようになってきている。

金属ステント留置例でのCTA表示方法については, VRやMIPなどの通常用いられる表示方法ではステント内腔の評価は困難である。ステント内腔の評価には元



画像の横断像やMPRが用いられる。

ステント留置例におけるCTAの問題点として、金属によるアーチファクトの影響が挙げられる。MDCTによるステントのアーチファクトについてMaintzら¹²⁾は12種類のステントを用い*in vitro*で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。特にtantalum製のStrecker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多くの場合40%以下であり、内腔の状態の評価はお

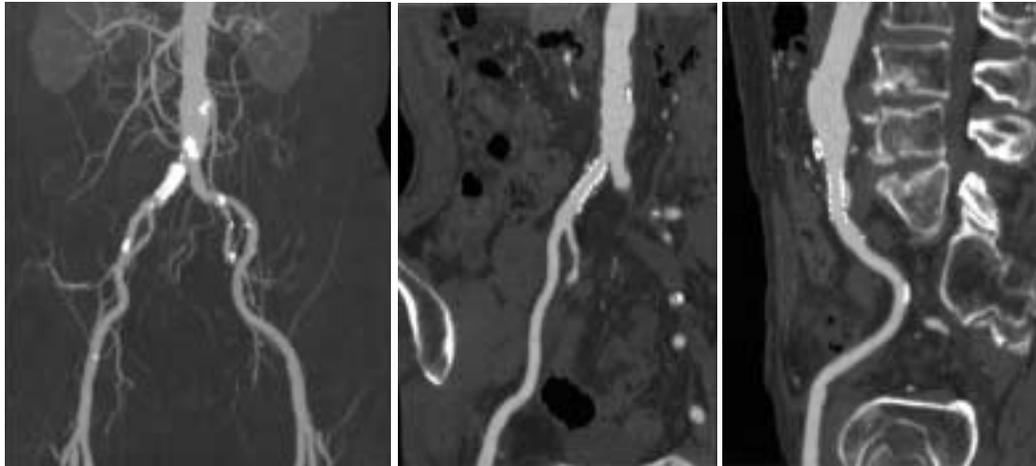


Figure 3 Post metallic stent (Palmaz stent) placement in right common iliac artery.

A: MIP.

B, C: Curved-MPR along right iliac artery.

Endolumen of metallic stent could not be visualized on MIP image. Curved-MPR images along right iliac artery visualizes endolumen and reveals its patency.

A | B | C

おむね可能であり、臨床応用の可能性を示唆している (Fig. 3)。またCTの撮影条件が金属ステントによるアーチファクトに及ぼす影響について、Maintzら¹²⁾はヘリカルピッチを、Klingenbeck-Regnら¹³⁾は検出器幅を要因として挙げている。ヘリカルピッチや検出器幅が大きくなるほどアーチファクトの影響が強くなり、内腔の視認性が悪くなると述べている。

おわりに

近年急速な進歩を遂げた3D-CTAは侵襲性が低く、血管造影に代わる画像検査になってきている。撮影の高速化がさらに進み、64列MDCTの登場が間近に迫っており、さらなる時間分解能、空間分解能の向上が期待されている。

文 献

- 1) Rubin GD, Shiao MC, Leung AN et al: Aorta and iliac arteries: Single versus multiple detector-row helical CT angiography. *Radiology*, 2000, **215**: 670–676.
- 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**: 146–158.
- 3) 林 宏光, 高木 亮, 内山菜智子他: Single-detector-

rowおよびmultidetector-row CTを用いた三次元CT血管造影法による骨盤・下肢動脈病変の低侵襲的診断. *脈管学*, 2001, **41**: 785–790.

- 4) 林 宏光, 高木 亮, 高浜克也他: MDCT AngiographyとAdvanced Vessel Analysisを用いた新しい血管病変の画像診断と解析. *脈管学*, 2002, **42**: 521–527.
- 5) 松本一宏, 陣崎雅弘, 佐藤浩三他: 末梢動脈閉塞性病変におけるMultidetector-row CTを用いた3次元画像の有用性. *脈管学*, 2002, **42**: 505–510.
- 6) Ofer A, Nitecki SS, Linn S et al: Multidetector CT angiography of peripheral vascular disease: A prospective comparison with intraarterial digital subtraction angiography. *AJR Am J Roentgenol*, 2003, **180**: 719–724.
- 7) 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.
- 8) Ho KY, de Haan MW, Kessels AG et al: Peripheral vascular tree stenoses: Detection with subtracted and nonsubtracted MR angiography. *Radiology*, 1998, **206**: 673–681.
- 9) Szapiro D, Ghaye B, Willems V et al: Evaluation of CT time-density curves of lower-limb veins. *Invest Radiol*, 2001, **36**: 164–169.
- 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) 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 .
- 12) Maintz D, Fischbach R, Juergens KU et al: Multislice CT angiography of the iliac arteries in the presence of various stents: *In vitro* evaluation of artifacts and lumen visibility. Invest Radiol, 2001, **36**: 699-704.
- 13) Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T et al: Subsecond multi-slice computed tomography: Basics and applications. Eur J Radiol, 1999, **31**: 110-124.

Multidetector-row CT Angiography in the Assessment of Peripheral Arterial Disease

Kazuhiro Matsumoto, Masahiro Jinzaki, Kozo Sato, Yutaka Tanami, Seishi Nakatsuka, Subaru Hashimoto, and Sachio Kuribayashi

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

Key words: multidetector-row CT, CT angiography, peripheral artery

CT angiography (CTA) based on the data acquired by multidetector-row CT (MDCT) is an established, minimally invasive modality for imaging peripheral arteries. CTA has been used to assess of peripheral arterial disease before treatment, and it will replace conventional angiography in diagnostic evaluation of peripheral arteries. MDCT can optimize both scan length and spatial resolution. CTA using MDCT depicts fine structures of vessels. Recently, a novel software has been developed for the automatic measurement of vascular lumen. The software can automatically measure vascular and cross sectional areas on the post processing workstation. Measurement of vascular lumen is useful in planning intravascular treatment of peripheral arterial disease. CTA is also beneficial in assessing intravascular lumen after metallic stent placement. (J Jpn Coll Angiol, 2004, **44**: 735-741)