

大動脈のMDCT

坂本 一郎 林 秀行 末吉 英純 長山 拓希 上谷 雅孝

要 旨：大動脈領域の代表的疾患である大動脈瘤と大動脈解離について、MDCTの撮影法、診断のポイント、およびピットフォールについて概説した。MDCTはこの領域における優れた画像診断法であるが、それを最適に使いこなすには、本稿で述べるMDCTの長所および短所を熟知した上で、大動脈疾患の病態にあった適切な撮影および画像再構成を行い、的確に診断することが大切である。
(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 495-502)

Key word: MDCT, aortic aneurysm, aortic dissection

はじめに

Multidetector-row CT(MDCT)とは体軸方向に複数のX線検出器を配置し、X線管球が1回転する間に複数の画像情報を取得することが可能なCT装置である。MDCTの特徴は、single detector CTと比較して空間分解能および時間分解能が飛躍的に向上した点である。特にMDCTでは頭尾方向に長い距離を有する大動脈においても広範囲のボリュームデータ収集を短時間に得ることが可能であり、大動脈疾患の画像診断にも大きなインパクトをもたらした。しかしながら、大動脈疾患においてMDCTを有用に使いこなすには、その長所および短所を熟知しておく必要がある。本稿では、大動脈疾患におけるMDCTの撮影法および画像診断の要点について概説する。

MDCTの長所と短所(MRIとの比較)

大動脈疾患の画像診断においてはMDCTが第一選択として行われている施設が大部分と思われる。しかしながら、この領域においてはMRIも有用な検査法であり、両者の長所および短所を知っておく必要がある。

(1)MDCTの長所と短所

MDCTでは体軸方向の空間分解能を0.5~1mm程度まで薄くすることが可能であり、この利点を生かしてVR

(volume rendering)法を用いた三次元画像や精度の高いMPR(multiplanar reformation)画像を作成することが可能である。また、MRIでは検査を行うことができない生命維持装置などを装着した重症患者、ペースメーカー装着者、あるいは脳動脈瘤のクリップなどを有する患者なども、MDCTでは検査が可能である。大動脈壁の正常、特に石灰化の有無や程度を評価できることもMDCTの長所であるが、逆に強い石灰化がある場合には血管内腔の評価が困難となる場合も少なくない。MDCTで薄いスライス厚で広範囲を撮影する場合には、single detector CTと比べて被ばくが多くなる。したがって、慢性大動脈解離や高安動脈炎などで長期間にわたって経過観察を行う場合や、小児例では被ばくに関しても注意が必要である。

(2)MRIの長所と短所

MRIの最も大きな長所は被ばくを伴わない点であり、小児における大動脈奇形の診断はMRAのよい適応である。また、長期間にわたって経過観察が必要な慢性大動脈解離や高安動脈炎でもMRIは有用である。MRIでは大動脈壁の石灰化の評価はできないが、逆に石灰化が描出されないことにより石灰化が強い症例でも血管内腔の評価を正確に行うことが可能である。ガドリニウム造影剤は、ヨード造影剤と比較して副作用や腎毒性が少ないとされており、最近までは腎機能低下例では造

A | B

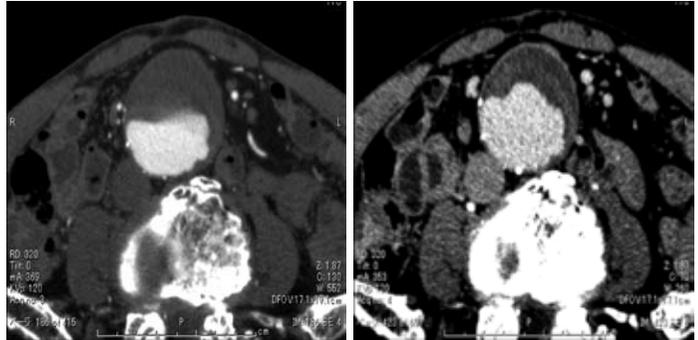


Figure 1 A: Early-phase of contrast-enhanced CT shows a large abdominal aortic aneurysm (AAA), the lumen of which is not fully filled with contrast medium, due to turbulent flow. B: Late-phase contrast-enhanced CT shows the AAA, the lumen of which is completely filled with contrast medium. In cases such as described here, CT angiography should be reconstructed using late-phase images.

影CTよりも造影MRIが推奨されてきた。しかし、近年になりガドリニウム造影剤に関連して腎性全身性線維症 (nephrogenic systemic fibrosis: NSF)の発症が報告されている。NSFはガドリニウム造影剤の投与後に皮膚の腫脹や硬化、疼痛などにて発症する疾患であり、進行すると四肢関節の拘縮を生じて活動は著しく制限される。現時点での確立された治療法はなく、その死亡率は20~30%と推測されている。2008年の「腎障害患者におけるガドリニウム造影剤使用に関するガイドライン」¹⁾では、推定GFR (推定糸球体濾過量: eGFR)が30ml/min/1.73m²未満(透析症例を含む)の場合には、ガドリニウム造影剤使用後のNSF発症の危険性が高いので、造影MRIは行わず、非造影MRI、単純CT、超音波検査などで代替すべきであるとしている¹⁾。

MDCT撮影のポイント

大動脈領域のMDCTを撮影する場合には、単純CT、造影CT早期相および後期相の3回行うのが原則である。単純CTは大動脈破裂や血栓閉塞型大動脈解離の診断あるいは術後の人工物(グラフトやフェルトなど)を評価するのに必要である。CTAの作成は造影CT早期相を用いて行うことが多いが、大動脈瘤で瘤内の血流腔が造影剤で充満していない場合や大動脈解離で解離腔内に造影剤が十分流入していない場合には後期相を用いたCTAを作成する(Fig. 1)。また、後期相は高安動脈炎、炎症性腹部大動脈瘤、感染性動脈瘤などにおいて大動脈壁や周囲組織の造影効果を評価するのに必須である。大動脈の造影を良好に行うためには、造影剤は自動注入器を用いて急速に注入する必要がある。dual head injectorを用いて生理食塩水を後押しすることにより、造影剤の減量や静脈内の造影剤停滞に伴うartifactを軽減す

ることができる。また、撮影時の最も重要なポイントは撮影開始のtimingであるが、我々はbolus tracking systemを用いて大動脈に関心領域を設定し、血管内腔が良好に造影された時点で撮影を開始している。一カ所に大動脈瘤が認められる場合には、他の部位にも大動脈瘤を合併していることが少なくない。したがって、大動脈を目的とした検査の初回例や術前検査では可能な限り胸腹部大動脈から腸骨動脈にかけて撮影すべきである。MDCTの多列化およびガントリー回転速度の高速化により、このような広範囲を1回で撮影しても、息止め時間はかなり短縮されてきている。

大動脈瘤

画像診断の要点

大動脈瘤の診断に際しては、① 瘤の大きさ範囲、② 瘤の形態と壁の性状、③ 周囲構造物や主要分枝との関係、④ 主要分枝の狭窄の有無を正確に把握することが重要である。

① 瘤の大きさ範囲: 通常、瘤の大きさは最大短径を表記する。大動脈瘤が紡錘状の場合には、上行大動脈瘤は5cm以上、下行大動脈は4cm以上、腹部大動脈は3cm以上が診断基準とされていることが多い。一方、嚢状瘤の場合には大きさの表記に関して明確な定義はなく、瘤部分のみの大きさを記載する場合や大動脈径に瘤部分の大きさを加えて記載する場合などがある。いずれの記載法を用いるかは担当医の判断に委ねられるが、どの部分を測定したかを明記しておくことが大切である。瘤内に壁血栓が存在している場合には、CTAのみで瘤の進展範囲を評価すると過小評価する可能性があるため横断像やMPRなどを参考にすべきである(Fig. 2)。

- ② 瘤の形態と壁の性状：先に述べたように瘤の形態は一般的に紡錘状と嚢状の 2 つに分かれる。さらに感染性動脈瘤やバーチェット病に関連した動脈瘤ではいびつな形態やだるま状の形態を呈し、その形態が短時間に変化し破裂する頻度が高い。炎症性腹部大動脈瘤や高安動脈炎に伴う大動脈瘤では、大動脈壁肥厚や大動脈を取り囲む軟部組織が認められることがあるので、瘤の形態のみでなく壁の性状にも着目すべきである。また、術前評価としては、瘤の存在部位のみでなく人工血管吻合部近傍の大動脈壁の性状(石灰化やshaggy aortaの有無など)にも注意が必要である(**Fig. 3**)。
- ③ 周囲構造物や主要分枝との関係：炎症性腹部大動脈では瘤の周囲に炎症細胞浸潤を伴った結合組織の増生があり、線維化が強い場合には、十二指腸、尿管、下大静脈などの周囲臓器と強固に癒着する。本症では、術中の剥離操作に伴う周囲臓器損傷を極力避ける必要があり、そのためには術前の画像診断で軟部組織の進展範囲を正確に評価しておく必要がある。術前に評価すべき分枝は、瘤の存在部位により異なるが、いずれの部位の瘤においてもMPRを用いることにより分枝との関係を正確に評価することができる。
- ④ 主要分枝の狭窄の有無：胸部大動脈瘤の術前には弓部 3 分枝および脳血管の狭窄の有無が、腹部大動脈瘤の術前には腹腔動脈、上腸間膜動脈、両側腎動脈、および腸骨動脈の狭窄の有無を明らかにしておく必要がある(**Fig. 4**)。

大動脈破裂の診断

大動脈周囲に大きな血腫が存在するfrank ruptureの診断は容易であるが、CT診断で注意を要するのはimpending ruptureである。Impending ruptureとは破裂の危険性の高い大動脈瘤であり、単純CTでの瘤壁や壁在血栓内の三日月状の高吸収域(high-attenuating crescent sign)が重要な所見である(**Fig. 5**)²⁾。High-attenuating crescent signは瘤壁や壁在血栓内の新鮮血腫を反映しているが³⁾、造影CTでは評価が難しいので必ず単純CTで評価すべきである。特に疼痛を有する症例でこのsignがみられた場合には、impending ruptureの可能性が高いと考えられており注意が必要である。

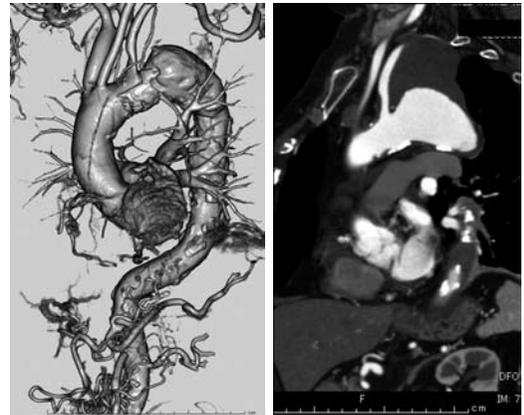


Figure 2 A: CT angiography shows a saccular aneurysm arising from the superior aspect of the aortic arch. B: Oblique sagittal MPR CT image more exactly depicts the size and extension of the aneurysm.

In cases of the aneurysms with a large volume of mural thrombus, their size and extension should be evaluated using MPR CT images because CT angiography may underestimate them.



Figure 3 CT image shows a fusiform aneurysm of the aortic arch.

Significant atherosclerotic changes in the descending aorta are also seen. In preoperative evaluation of aneurysms, not only the aneurysms but also the surrounding aorta should be evaluated.

特殊な大動脈瘤

(1) 外傷性大動脈瘤

胸部の鈍的外傷に伴う大動脈損傷が原因となり、大動脈峡部に起こることが多い。この部分は動脈管索により固定されており、外傷による外力(剪断力)が加わりやすいことや、受傷時に脊椎と下顎、鎖骨、第 1 肋骨などの前胸部の骨構造により挟まれる(osseous pinch)ことにより好発すると考えられている。ほとんどの症例では大動

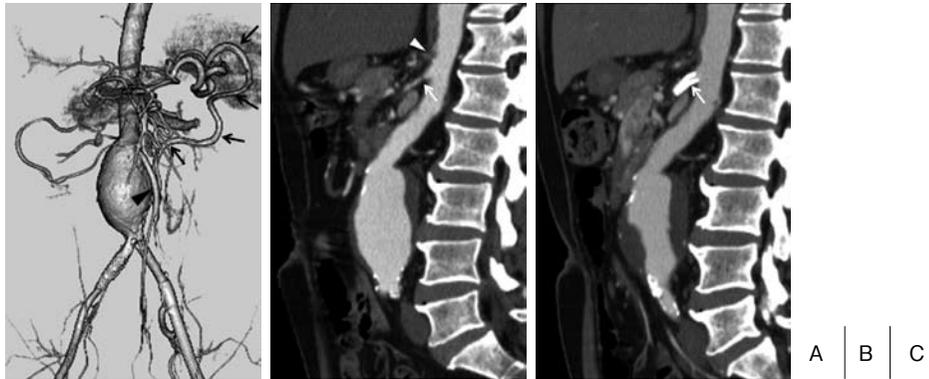


Figure 4 A, B: CT angiography (A) and sagittal MPR CT image (B) obtained before open surgery show an abdominal aortic aneurysm, together with severe stenosis of the celiac and superior mesenteric arteries. The inferior mesenteric (arrowhead) and mesenteric marginal arteries (arrows) dilate as collateral vessels to the SMA. C: Sagittal MPR CT image obtained after stent placement for severe stenosis of the SMA orifice shows restoration of the SMA lumen (arrow).

脈周囲に血腫が認められるが³、症例によっては大動脈周囲にはほとんど血腫がなく、仮性動脈瘤あるいは剥離内膜のみが認められる例もあり、明らかな血腫がない場合にも大動脈を注意深く観察すべきである⁴⁾。最近では、治療としてステントグラフト留置術が行われることもある。ステントグラフト留置術を行う際には損傷部位と左鎖骨下動脈との距離や弓部の形態が最も重要であり、それらの情報を正確に把握する必要がある(**Fig. 6**)。

(2)炎症性腹部大動脈瘤

炎症性腹部大動脈瘤は動脈壁の著明な肥厚と隣接臓器との癒着を特徴とする疾患概念である。瘤の周囲には炎症細胞浸潤を伴った結合組織の増生があり、線維化が強い場合には、十二指腸、尿管、下大静脈などの周囲臓器と強固に癒着する。本症では、微熱、腹痛・腰背部痛などの症状を伴うことが多く、CRPや血沈値の上昇を高率に認める。病因はいまだ不明であるが、ヘルペス、サイトメガロウイルス、Chlamydia pneumoniaeなどによる感染や、血液成分の滲出や動脈硬化性粥腫に対する炎症反応などが考えられている⁵⁾。また最近では、自己免疫性腭炎を代表とするIgG4関連疾患との関連も示唆されている⁶⁾。CTやMRIでは大動脈瘤の周囲に前方から側方にかけて厚い軟部組織(mantle sign)が取り巻いているのが特徴的であり、この軟部組織は大動脈の後方にはほとんど認めない(**Fig. 7**)。造影剤投与後には、これらの軟部組織に長く持続する造影効果がみられる。本症では、人工血管と動脈の吻合は炎症のない健常部分で



Figure 5 Impending aneurysm rupture. Unenhanced CT images show an abdominal aortic aneurysm and right common iliac aneurysm with high-attenuating crescent sign, which represents an acute hematoma within the aneurysm wall.

吻合すべきであり、そのためには術前に軟部組織の進展範囲を正確に評価しておく必要がある。また術中に十分な剥離を行わなくても人工血管置換術後には周囲の軟部組織が縮小することが知られており、同様の軟部組織の縮小はステントグラフト治療後にもみられることがある(**Fig. 8**)^{7, 8)}。

(3)感染性大動脈瘤

大動脈壁に感染が起ると、壁の急激な脆弱化によっ



Figure 6 Traumatic aortic rupture of the descending aorta. Oblique sagittal MPR CT images show mediastinal hematoma and a pseudoaneurysm of the proximal descending aorta. Endovascular stent-grafting was done for this condition because the pseudoaneurysm was far enough from the left subclavian artery to obtain proximal landing zones for stent-grafting.

て大動脈瘤を形成してくることがある。感染性大動脈瘤は大動脈瘤全体の0.7~3%と比較的まれな疾患であるが、死亡率は非常に高く、迅速な診断と早期治療が必要である。起炎菌としては、サルモネラやブドウ球菌の報告が多く、特にサルモネラは動脈硬化の著明な動脈のみでなく、正常大動脈壁にも感染しうると考えられている。その他、真菌や結核菌などが起炎菌になることもある。感染性大動脈瘤は、腎動脈分岐下の腹部大動脈(約30%)に好発するが、上行大動脈から腎動脈にかけていずれの部位にも生じうる。瘤は嚢状の形態をとることが多く、単純CTでは大動脈周囲に膿瘍や脂肪濃度の上昇が認められ、造影CT後期相では大動脈壁およびその周囲が不均一に濃染される(**Fig. 9**)。ガス像がみられることもあるが比較的稀である。本症では大動脈が急速に拡大し破裂することがあるので、いびつな形態を呈する動脈瘤が認められ、発熱や炎症所見を伴っていた場合には必ず本疾患を念頭に置き、迅速な確定診断を行う必要がある。

大動脈解離

大動脈解離とは「大動脈壁が中膜のレベルで二層に剥離し、大動脈の走行に沿ってある長さを持ち二腔になった状態」であり、大動脈壁内には血流もしくは血腫が存在する動的な病態である。本症の急性期における死亡率は依然として高く、迅速で的確な診断と早期治療が患者の生命予後を左右する。

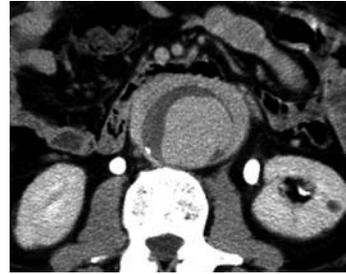


Figure 7 Inflammatory abdominal aortic aneurysm. Late phase of contrast-enhanced CT demonstrates a soft tissue mass surrounding a fusiform aneurysm at the level of the infrarenal abdominal aorta. Note a marked enhancement of the soft tissue mass.



Figure 8 Inflammatory abdominal aortic aneurysm. Contrast-enhanced CT images show shrinkage of the periaortic mass (arrows) after stent-grafting. In inflammatory abdominal aortic aneurysm, the periaortic mass frequently decreased in size after stent-grafting as described here.

画像診断のポイント

大動脈解離の画像診断において評価すべき項目は、① 解離の範囲、② 偽腔の血流状態、③ 内膜裂孔(あるいはULP: ulcer-like projection)の有無、④ 大動脈分枝への解離の進展、⑤ 合併症(心嚢内血腫、解離腔破裂など)、である。

- ① 解離の範囲：MDCTの高い空間分解能を用いて撮影することにより、偽腔の進展範囲の正確な評価が可能である。しかし、急性期の剥離内膜は激しく移動しており、現時点でのMDCTの空間分解能の制約のために、motion artifactとの区別が困難な



Figure 9 Infected aneurysm.

Late phase contrast-enhanced CT shows a saccular aneurysm arising from the left posterolateral aspect of the distal descending aorta and a periaortic soft tissue mass of low attenuation, the margin of which is heterogeneously enhanced. Note the disrupted aortic calcifications at the neck of the aneurysm.

場合も少なからずある。特に上行大動脈で問題となる場合が多く、その場合には心電図同期で検査を行うことにより正確な評価が可能となる (Fig. 10)⁹⁾。

- ② 偽腔の血流状態：偽腔に血流があるものは偽腔開存型と呼ばれ、偽腔内に部分的な血栓が存在している場合もこれに含まれる。一方、早期から偽腔内に血流が認められないものは偽腔閉塞型(血栓閉塞型)に分類され、欧米で用いられているintramural hematoma(IMH)にほぼ相当すると考えられる。偽腔閉塞型では、血栓化した偽腔は単純CTで特徴的な三日月状の高吸収域を呈し、造影CTでは偽腔はほとんど造影されない。しかし、発症早期では単純CTで典型的な高吸収域がみられない場合もあるので注意が必要である (Fig. 11)。また、偽腔が非常に薄い場合には動脈硬化による壁肥厚との区別が困難な場合もあるが、両者を鑑別するためには壁の経時の変化を観察する必要がある。
- ③ 内膜裂孔の有無：内膜裂孔は剥離内膜の断裂部として描出される。MDCTを用いることで大部分の内膜裂孔を指摘することが可能であるが、先に述べたように急性期の剥離内膜は激しく動いており、裂孔が非常に小さい場合には描出が困難な場合もある。このような場合でも心電図同期法による撮影を行うことにより、剥離内膜が明瞭に描出されることもある。偽腔閉塞型解離において、血栓化偽腔内に真腔と連続する小さな血流腔の残存がみられることがあり、ulcer-like projection(ULP)と呼ばれる。ULPを有する例では、これを交通口として偽腔開存型に進展するものや、ULPが経時的に拡大し瘤化するものも

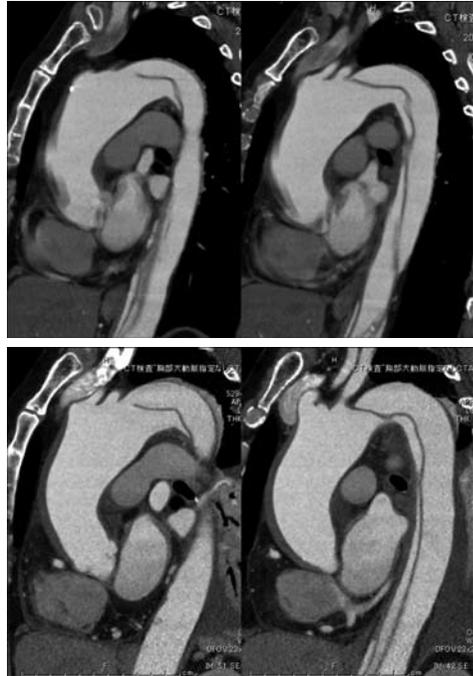


Figure 10 Aortic dissection.

A: Non-ECG-gated CT images show an intimal flap in the descending aorta and an intimal tear close to the orifice of left subclavian artery. Presence or absence of aortic dissection in the ascending aorta is difficult to determine due to an artifactual rim of low attenuation, particularly at the aortic root. B: ECG-gated CT images clearly depict thrombosed false lumen of the ascending aorta. The intimal flap of the descending aorta and the intimal tear are also more clearly depicted.

あり、注意深い経過観察が必要である (Fig. 12)。

- ④ 大動脈分枝への解離の進展：剖検例での報告では、解離に冒されやすい分枝は、総腸骨動脈、腕頭動脈、左総頸動脈、腎動脈、左鎖骨下動脈、腹腔動脈、上腸間膜動脈、冠動脈の順であり、これらの分枝への解離進展の有無は、通常のMDCT検査を行うことにより十分に評価可能である。
- ⑤ 合併症：大動脈解離では、破裂、心タンポナーデ、臓器虚血などの重篤な合併症を伴うが、これらの合併症の的確な診断および早期治療は患者の生命予後を左右する。破裂による出血は、様々な部位に起こりうるが、最も出血をきたしやすい部位は左胸腔内である。また、肺動脈壁に沿って出血がみられることがあり、特に肺胞内まで出血が進展した場合には予後が悪い (Fig. 13)¹⁰⁾。先に述

A | B

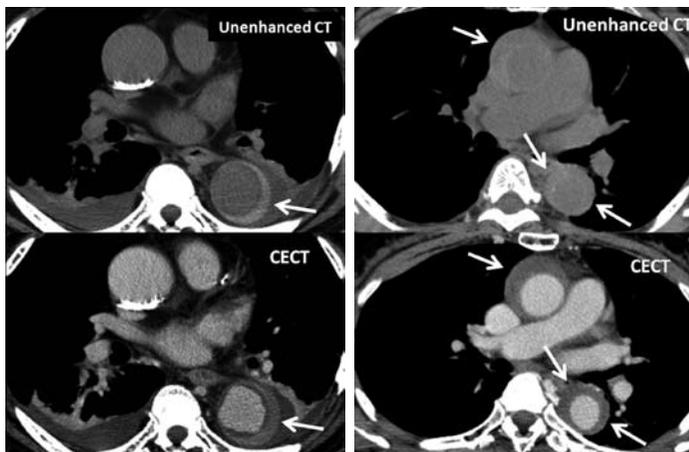
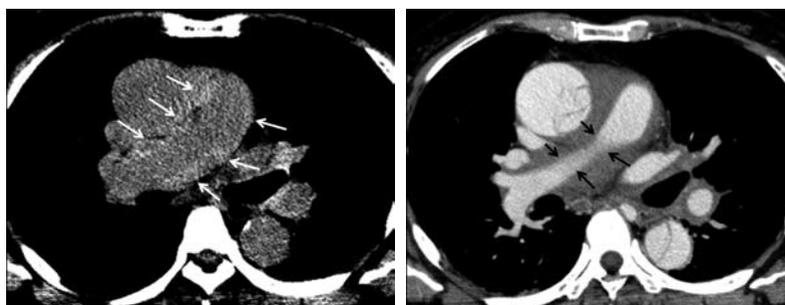


Figure 11 Typical and atypical appearances of acute intramural hematoma of the aorta.

A: Unenhanced CT shows a typical crescent area of high attenuation along the wall of the descending aorta. Contrast-enhanced CT does not show enhancement of the crescent area. B: Contrast-enhanced CT shows intramural hematoma of the ascending and descending aorta. In this case, unenhanced CT does not show the intramural hematoma as a hyperattenuating area. In some cases, acute intramural hematoma does not appear as a typical hyperattenuating area as described here.



Figure 12 Rapid enlargement of an ulcer-like projection (ULP) in aortic dissection. Sequential CT images show not only shrinkage of thrombosed false lumen but also rapid enlargement of ULP.



A | B

Figure 13 Rupture of Stanford type A aortic dissection along the sheath of the pulmonary arteries.

A: Unenhanced CT shows lines of high attenuation along the common trunk and main right pulmonary artery (arrows). B: Contrast-enhanced CT shows pulmonary lumen stenosis (arrows). Note the intimal flaps in the ascending and descending aorta.

べた分枝への解離進展に伴って分枝血流が低下し(static obstruction), 心筋梗塞, 脳梗塞, 脊髄梗塞, 腎梗塞, 腸管壊死, 下肢虚血などの臓器虚血が起こりうる。また, 解離が分枝に直接及ばない場合でも偽腔による真腔の圧迫により分枝の血流が低下すること(dynamic obstruction)があり, この状態も臓器虚血の原因となる。臓器虚血の原因がstatic obstructionか, dynamic obstructionか,あるいは両者の混在なのかをMDCTで正しく鑑別することは, 治療方針を決定する上で極めて重要である。

おわりに

大動脈領域の代表的疾患である大動脈瘤と大動脈解離について, MDCTの撮影法および診断のポイントについて概説した。MDCTはこの領域における優れた画像診断法であるが, それを最適に使いこなすには, MDCTの長所および短所を熟知した上で, 大動脈疾患の病態にあった適切な撮影を行い, 的確に診断することが大切である。

文 献

- 1) <http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=675>
- 2) Mehard WB, Heiken JP, Sicard GA: High-attenuating crescent in abdominal aortic aneurysm wall at CT: a sign of acute or impending rupture. *Radiology*, 1994, **192**: 359–362.

- 3) Arita T, Matsunaga N, Takano K et al: Abdominal aortic aneurysm: rupture associated with the high-attenuating crescent sign. *Radiology*, 1998, **204**: 765–768.
- 4) Cleverley JR, Barrie JR, Raymond GS et al: Direct findings of aortic injury on contrast-enhanced CT in surgically proven traumatic aortic injury: a multi-centre review. *Clin Radiol*, 2002, **57**: 281–286.
- 5) 重松 宏: いわゆる炎症性腹部大動脈瘤の診断と治療. *東京医科大学雑誌*, 2007, **65**: 243–252.
- 6) Kasashima S, Zen Y, Kawashima A et al: Inflammatory abdominal aortic aneurysm: close relationship to IgG4-related periaortitis. *Am J Surg Pathol*, 2008, **32**: 197–204.
- 7) Hechelhammer L, Wildermuth S, Lachat ML et al: Endovascular repair of inflammatory abdominal aneurysm: a retrospective analysis of CT follow-up. *J Vasc Interv Radiol*, 2005, **16**: 737–741.
- 8) Paravastu SCV, Ghosh J, Murray D et al: Systematic review of open versus endovascular repair of inflammatory abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2009, Epub ahead of print.
- 9) Johnson TR, Nikolaou K, Wintersperger BJ et al: ECG-gated 64-MDCT angiography in the differential diagnosis of acute chest pain: *Am J Roentgenol*, 2007, **188**: 76–82.
- 10) Sueyoshi E, Matsuoka Y, Sakamoto I et al: MCT and clinical features of hemorrhage extending along the pulmonary artery due to ruptured aortic dissection: *Eur Radiol*, 2009, **19**: 1166–1174.

MDCT of the Aorta

Ichiro Sakamoto, Hideyuki Hayashi, Eijun Sueyoshi, Hiroki Nagayama, and Masataka Uetani

Department of Radiology, Nagasaki University Hospital, Nagasaki, Japan

Key words: MDCT, aortic aneurysm, aortic dissection

Multi-detector row CT (MDCT) is the preferred method for common aortic disease, such as aortic aneurysm and dissection, because it enables the acquisition of high-spatial-resolution volumetric image data during a single breath hold. MDCT, especially using high-quality two-dimensional multiplanar reformation and three-dimensional rendering, allows the comprehensive evaluation of aortic aneurysms in terms of morphologic features and extent, presence of thrombus, relationship to adjacent structures and branches, and signs of impending or acute rupture. Additionally, MDCT allows diagnosis of acute aortic dissection with a sensitivity and specificity of nearly 100%. However, it is essential to be familiar with the optimal MDCT protocols suitable to each aortic condition in order to make the most effective diagnostic use of CT angiography and two-dimensional multiplanar reformation. This article describes imaging techniques, typical imaging appearances, and pitfalls in MDCT diagnosis of common aortic disease. (*J Jpn Coll Angiol*, 2009, **49**: 495–502)

Online publication January 22, 2010

脈管学 Vol. 49, 2009