大動脈疾患のMDCT

小林 泰之¹ 丹野 啓介¹ 松浦 克彦¹ 今井 直也² 田中 修¹ 大澤 暁³ 安達 晃一³ 安達 秀雄³ 井野 隆史³

要 旨: MDCTでは超高速撮影・広範囲撮影・高分解能ボリュームデータの収集が可能となり,大 動脈病変におけるCTの臨床的有用性は格段に向上した。特に等方性データ収集では大動脈瘤や大 動脈解離の詳細な評価が可能で,術前の動脈瘤径や分枝動脈との距離などの計測も正確である。 また,心電図同期システムを併用することにより,心拍動によるアーチファクトは低減し,冠動脈を 含めた上行大動脈の評価も可能である。16列MDCTでは,ルーチン検査として,超高速撮影による 息止め時間短縮,広範囲撮影,高分解能データ収集のすべてを同時に満たした検査が施行できる。 (J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 677–684)

Key words: MDCT, 3D-CT angiography, aorta, ECG-gating

はじめに

1989年のヘリカルCTの開発によりボリュームデータ の収集が可能となり,大動脈領域におけるCTの有用性 は著明に向上し,従来行われていた血管造影を施行す る必要性はほとんどなくなった。しかし,従来のsingle detector-row CT(SDCT)ではスキャン速度が十分ではな く,息止め下での撮影可能範囲と使用可能なスライス 厚に制限があり、心拍動によるアーチファクトなどさま ざまな問題が残っていた。1999年に多列検出器を搭載 した 4 列multidetector-row CT(MDCT)の登場により, SDCT時の問題点の多くが解決され,超高速撮影,広 範囲撮影,高分解能ボリュームデータ収集が可能とな り,三次元画像のさらなる高画質化や臨床的有用性の 劇的な向上をもたらした。胸腹部大動脈や躯幹部 - 下 肢という広範囲撮影でも,短いスキャン時間で造影効 果の良好な高分解能ボリュームデータの収集が可能と なった。16列MDCTでは、より高速なスキャン速度に より,超高速撮影・広範囲撮影・高分解能データ収集 をルーチン検査でも同時に満たすことが可能となっ

¹自治医科大学大宮医療センター放射線科 ²自治医科大学大宮医療センター中央放射線部 ³自治医科大学心臓血管外科 た。本稿では,大動脈疾患におけるMDCT,特に16列 MDCTの有用性に関して,症例を供覧しつつ概説する。

大血管疾患領域におけるMDCTの有用性

MDCTでは,超高速撮影,広範囲撮影,高分解能ボ リュームデータ収集が可能となり,臨床的有用性が著 明に向上した¹⁻⁴)。

(1)超高速撮影

4列MDCTではHP*((pitch factor**1.5),16列MDCT ではHP23(pitch factor 1.44)まで使用可能で,スキャン 時間が0.5秒と短縮された効果も合わせると,従来の1 秒スキャンのSDCTと比較して,4列MDCTで12倍,16 列MDCTでは46倍もの高速撮影も可能となった(Fig.1 ~5)。特に16列MDCTでは超高速化により,息止め時 間,体軸分解能,撮影範囲間のトレードオフがなくな り,そのすべてを犠牲にすることなく撮影が可能で, その臨床的有用性がさらに向上した(Fig.3~5)。全大動 脈や躯幹部 - 下肢という広範囲でも,高画質かつ造影 効果の良好な高分解能ボリュームデータの収集が短い 息止め時間内で可能である。急性大動脈解離など,息 止め不良の状態の悪い患者でも,良好な画像が安定し

2004年10月21日受理



Figure 1 Thoracic aortic aneurysm and the calcified aneurysm and obstruction of left carotid artery (4 MDCT: beam thickness 2 mm, HP 6.0, 0.5 sec/r). Thoracic aortic aneurysm with the calcified aneurysm and obstruction of left carotid artery is clearly identified on 3D images. The scan completes before the jugular vein is enhanced.



Figure 2 Thoracic aortic aneurysm of right aortic arch (4 MDCT: beam thickness 2 mm, HP 5.0, 0.5 sec/r).

Thrombosed aneurysms can be under-evaluated using 3D-CT angiography. So, it is essential for 3D reconstructions to simultaneously visualize thrombosed aneurysm as well as the vascular lumen.

て得られるようになった。さらに, 頸静脈や腎静脈でも 静脈系が濃染する前にスキャンが終了でき, 動静脈分離 したtime-resolved 3D-CT angiographyが可能となった。

また,16列MDCTでは,心電図同期を用いていない 通常スキャンにおいても,スキャンの高速化により心 臓や上行大動脈における心拍動に伴うアーチファクト が低減されている。特に,多断面断層像(multiplanar reformat: MPR)や3D画像上,4列MDCTにて認められ る心拍動のアーチファクトが,16列MDCTでは著明に 改善している⁴⁾。これはおもに,16列MDCTではスキャ ンがより高速なため、1心拍内にスキャンする範囲が広 いことに起因すると考えられる。スキャン速度が0.5秒 スキャンより向上して0.4秒スキャンが可能となり、大 動脈領域の通常スキャンにも利用でき、さらなる心拍動 のアーチファクトの改善が期待できる⁴(Fig. 3,4)。

*:HP(helical pitch)=1回転での寝台移動距離(mm)/ 1スライス分の幅(mm)

**: pitch factor = 1 回転での寝台移動距離(mm)全スラ イスの総幅(mm)

全スライスの総幅(mm)=1 スライス分の幅(mm)×列数

脈管学 Vol. 44 No. 11



Figure 3 Aortic aneurysm of aortic arch (16 MDCT: beam thickness 1 mm, HP 15.0, 0.4 sec/r). A B Thoracic aortic aneurysm is noted in the vicinity of the ductus arteriosus in aortic arch. With 16-slice MDCT, the increasing speed of scans has led to a reduction in cardiac motion artifacts of the ascending aorta. By using 0.4-second scan, further improvement in cardiac motion artifacts was noted. A: MPR.

B: Volume rendering.



Figure 4 Aortic dissection (B type) (16 MDCT: beam thickness 1 mm, HP 15.0, 0.4 sec/r). A B In MDCT, intimal flap and small entry/re-entry points are clearly identified. With 16-slice MDCT at 0.4 sec/ rot speed, the increasing speed of scans has led to a reduction in cardiac motion artifacts of the ascending aorta. A: MPR.

B: Volume rendering.



A B

Figure 5 Aortic dissection (B type) (16 MDCT: beam thickness 1 mm, HP 15, 0.5 sec/r). With high-speed scans, contrast enhancement may not occur when

blood flow in the false lumen is very slow, and an equilibrium phase is required for differentiation from thrombosis.

A: 1st phase.

B: Late phase.

(2)高分解能データ

高分解能化として1mm以下のスライス厚を用いた等 方性データ(isotropic data)収集があり,任意断面での空 間分解能が横断像と同等のpartial volume effectのないボ リュームデータ収集が可能となった。16列MDCTで は,検出器幅が20~32mmの制限により,おのずと0.5 ~2.0mm程度のスライス厚を撮影時に使用することと なり,必然的に等方性データ収集に向かうこととな る。この等方性データでは,しきい値による変動やき しめん現象の少ない客観性ある三次元画像の作成が可 能で,その計測値も正確となる。これらの等方性デー タ収集により,大動脈瘤や大動脈解離の正確な把握が できるようになり,外科手術やステント術前の動脈瘤 径や分枝動脈との距離の正確な計測も可能である。

(3) 広範囲撮影

4列MDCT(スキャン時間0.5秒/回転)では,胸腹部大 動脈という約60cmという広範囲撮影に1mmスライス厚 を用いると,HP6(pitch factor 1.5)でも50秒程度の総ス キャン時間が必要となり,息止め下のスキャンは困難 であり,ルーチン検査としては2mmスライス厚を使用 せざるを得ない。それに対して,16列MDCT(スキャン 時間0.5秒/回転)では,4列MDCTと比較して,最大4 倍程度の高速化が可能である。このため,胸腹部大動 脈という約60cmという広範囲撮影で,1mm厚/HP15 (pitch factor 1.0)で等方性データ収集を行っても,20秒 程度でスキャンが終了する。さらに,より高速な1mm 厚/HP23(pitch factor 1.5)では,13秒で検査が終了する ことになる。下肢の末梢血管も含めた120cmを超える 検査でも,1mm厚/HP15(pitch factor 1.0)で40秒,1mm 厚/HP23(pitch factor 1.44)で26秒で撮影が可能である。 このように16列MDCTでは,ルーチン検査においても 大動脈全体の等方性データ収集が可能である。現在わ れわれの施設において,16列MDCTでは,胸腹部大動 脈などの広範囲撮影でも,全例1mmスライス厚を用い て等方性ボリュームデータ収集を行っている。このた め,大動脈病変と分枝動脈の関係の評価のみならず, 狭窄の有無など,分枝動脈自体の評価もルーチン検査 の中で可能である。

(4)心電図同期システムの応用

心拍動に伴うアーチファクトは,特に上行大動脈に おいて最も重要な問題である。これに関しては,ス キャン時間が高速化したこと,および心電図同期再構 成が可能となったことにより,著明に改善した。心電 図同期再構成では,拡張末期など比較的動きの少ない 心時相を選択することと(Fig.6),前後の複数の心拍動 を用いることにより時間分解能を向上させることが



A B

Figure 6 Aortic dissection (A type) (16 MDCT: beam thickness 1 mm, HP 6.0, 0.4 sec/r, ECG-gating).

The intimal flap in the ascending aorta greatly moves with the cardiac motion. To diagnosis of the existence of intimal flap in ascending aorta, ECG-gated reconstruction method is very useful. A: Diastolic phase.

B: Systolic phase.

脈管学 Vol. 44 No. 11

できる^{5.6})。この再構成法により,心拍動のアーチファ クトの少ないMPRや三次元再構成画像の作成が可能 で,上行大動脈疾患の詳細な評価が可能となった⁷⁾ (Fig.7)。上行大動脈起支部での大動脈瘤の範囲や冠動 脈との関係の把握,大動脈解離の状態の把握も可能で ある(Fig.8)。しかし,4列MDCTでは,使用可能なHP が1.0~1.5(pitch factor 0.25~0.375)と小さいため,大動 脈疾患では冠動脈検査と異なり必要な撮影範囲が広い ため,息止め時間の制限により撮影スライス厚を2mm 程度と厚く設定せざるを得ず,等方性データの収集は 不可能であった。これに対して,16列MDCTでは, HP3.6~4.0(pitch factor 0.225~0.25)が可能となり,撮



В А

Figure 7 Aortic dissection (A type) (4 MDCT: beam thickness 2 mm, HP 1.0, 0.5 sec/r, ECG-gating). Intimal flap with two entries was demonstrated on MPR images. Relationships between intimal flap, the ostia of coronary arteries and aortic value were clearly shown. A: Axial images. B: Volume rendering.



А В

Figure 8 Aortic dissection (B type) (16 MDCT: beam thickness 1 mm, HP 6.0, 0.5 sec/r, ECG-gating). Intimal flap and entry point were demonstrated on curved-MPR images. By using ECG-gating, it is possible to assess the coronary artery simultaneously. 16-slice MDCT with ECG-gating allows HP values of 3.6–6.0 to be employed (depending on heart rate), the required wide scan range can be secured even if the slice thickness is as thin as 1 mm.

A: Curved-MPR.

B: 3D images.

November 25, 2004

影スライス厚 1mmを用いても必要な撮影範囲を確保で き,心電図同期下でも等方性データの収集が可能と なった。また,2mmスライス厚であれば全大動脈の心 電図同期スキャンも容易である。心拍数が一定以上保 たれればわれわれのファントムによる検討では60bpm 以上は必須)HP(pitch factor 0.375)の使用も可能であ り,全大動脈の 1mmスライス厚による心電図同期ス キャンも可能である(Fig.8)。以上のような心電図同期 再構成法を用いることにより上行大動脈起始部領域の 詳細な評価が可能となったが,冠動脈の同時評価に必 要な0.5mmスライス厚の使用にはいまだスキャン速度 が不十分であり,32/64列MDCTの登場が待たれる。

(5)造影剤量の減量

MDCTでは, first pathが重要な大動脈疾患などの血 管病変の評価においては,造影剤の減量が可能である が, Real Prep法などにより至適造影タイミングの決定 を厳密に行うことや生理食塩水による追加フラッシュ が必要である。造影剤量の減量が可能なのはfirst path のみで検査が終了可能な場合に限られ, a)大動脈解離 で偽腔開存型平衡相が必要な場合(高速スキャンでは 偽腔内血流が遅い場合に造影されないことがあり,血 栓化と区別するために平衡相が必要である) Fig.5), b)壁の情報が必要な場合(大動脈炎症候群や感染性大動 脈瘤では壁の評価を行うためには平衡相が必要), c)巨 大な大動脈瘤(内に乱流が存在し,短時間の造影剤注入 では不均一な染まりとなる),などでは不可能である。

各大血管疾患領域における臨床的有用性

(1)大動脈瘤

MDCTは,血管造影に比較して,低侵襲的,かつ, より正確に大動脈瘤の診断が可能である。大動脈瘤の 存在診断のみであれば横断像で事足りる場合がほとん どであるが,瘤の範囲や分枝動脈との関係の把握に は,MDCTによるデータを用いた3D画像やMPRによる 検討が術前評価として有用である(Fig.1~3)。MDCT は,大動脈瘤の血栓部も含めた正確な大きさと範囲の 診断が可能で,適切な治療の選択に役立っている。ま た,分枝動脈と瘤との関係のみならず,分枝動脈の狭 窄病変の有無なども容易に把握できる。

等方性ボリュームデータを用いることにより,外科 手術やステント術前評価として動脈瘤径や瘤と分枝動 脈との正確な距離の計測が可能である。ただし,大動 脈瘤の破裂の危険性,手術やIVR治療の適応の判断基 準は横断像上での瘤径の計測を基にしてきた^{8,9}ため, 従来の判断の基準をそのまま用いることが可能かとい う問題点²⁾もあり,今後の検討が待たれる。また,動 脈瘤の大きさの経過観察として,瘤径よりも血栓部も 含めた大動脈瘤のボリューム計測が有用である可能性 がある。MDCTでは領域抽出が煩雑ではあるが,正確 なボリューム計測も可能であり,自動抽出ソフトの開 発が待たれる。

さらに,大血管疾患のMDCTの重要な適応として Adamkiewicz動脈の描出がある。MDCTでは,体軸方 向に分解能の高いボリュームデータを短時間かつ広範 囲に得ることができ,体軸方向に広いスキャンが必要 なAdamkiewicz動脈の検索が可能となった。

(2)大動脈解離

大動脈解離の診断では、型診断,範囲,entry/re-entryの同定,分枝動脈と解離腔との関係の把握,分枝動 脈への解離の進展の有無や狭窄や閉塞の有無,大動脈 径の評価,合併症(血腫,心タンポナーデなど)の有無 などが重要である。MDCTにより全大動脈を超高速に 高分解データ収集を行うことにより,これらの情報の ほとんどを同時に得ることが可能である。特にentry/reentryの同定に関しては非常に小さなものまで描出可能 となり,SDCTと比較して診断能は著明に向上してい る。撮影時間が非常に短いため,偽腔内が血栓化して いるのか,血流が遅いだけで開存しているのか,判断 に苦慮する場合があり,そのような場合には2相目の 撮影が必要となるので注意を要する(Fig.4,5)。

解離の診断では,特に上行大動脈での解離の有無が 治療方針の決定に最も重要である。大動脈解離の診断 において,CT以外にtransesophageal echocardiography (TEE)やmagnetic resonance imaging(MRI)が用いられ る。CTとTEEやMRIを比較した場合,大動脈解離の診 断能はTEEやMRIのほうが高いとする報告^{10,11)}もある が,従来のSDCTとの比較であり,現在のMDCTでは同 等以上の診断能が期待されるが,詳細に比較検討した 報告はない。また,MDCTとelectro-beam CT(EBT)と の比較では,MDCTは時間分解能こそ劣るもののS/Rに 優れており,剥離内膜の描出に有用であるとの報告も あり,MDCTを選択している施設も増えつつある¹²。た

脈管学 Vol. 44 No. 11

682

だし,MDCTでも従来のCTと同様に,特に急性解離に おいて上行大動脈内の剥離内膜の描出における時間分 解能は不十分で,entryの検出ができない場合がありう る。また,心拍動のアーチファクトにより上行大動脈 内に解離様の所見が認められることがあり,診断に注 意を要する。このような場合,上行大動脈には心電図 同期再構成法が有用であり,剥離内膜,およびentryの 描出能の向上も期待され,冠動脈との関係を含めた大 動脈起始部の正確な評価が可能である⁷(Fig.7)。

(3)その他の疾患

先天的な大動脈疾患に大動脈瘤や大動脈解離を合併

した場合,複雑な形態を示して診断に苦慮する場合もあるが,MDCTでは詳細な評価が可能である(Fig.9)。 また,大動脈の閉塞したLeriche症候群では,血管造影と比較して,より詳細な側副血行路の診断も可能である(Fig.10)。

結 語

MDCTでは超高速撮影・広範囲撮影・高分解能ボ リュームデータの収集が可能となり,大動脈病変にお けるCTの臨床的有用性は飛躍的に向上している。ま た,心電図同期システムを併用することにより心拍動 によるアーチファクトは低減して,冠動脈を含めた上



Figure 9 Thoracic aortic aneurysm with double aortic arch (4 MDCT: beam thickness 2 mm, HP6.0, 0.5 sec/r). Thoracic aortic aneurysm is clearly identified in left side of double aortic arch.



Figure 10 Leriche syndrome (16 MDCT: beam thickness 1 mm, HP 15, 0.5 sec/r).
3D and MIP images demonstrated the obstruction of abdominal aorta with developed collateral vessels.
A: 3D images.
B: Maximum intensity projection.

A B

行大動脈の評価も可能である。16列MDCTでは,ルー チン検査として,超高速撮影による息止め時間短縮, 広範囲撮影,高分解能データ収集のすべてを同時に満 たした検査が施行できる。

文 献

- 1)Rubin GD: CT angiography of the thoracic aorta. Semin Roentgenol, 2003, 38: 115–134.
- 2)Rubin GD: MDCT imaging of the aorta and peripheral vessels. Eur J Radiol, 2003, 45 (Suppl): S42–49.
- 3)小林泰之,田中 修,杉浦 充他:心臓・血管領域に おける臨床的寄与と適応.画像診断,2000,20:1374-1381.
- 4)小林泰之,船窪正勝,濱田健司他:大血管疾患領域の MDCT診断.臨放線,2003,48:1639–1645.
- 5)小林泰之,田中 修,杉浦 充他:マルチスライス CTによる心臓疾患の評価 - 冠動脈および冠動脈バイ パスグラフトの評価を中心に - .映像情報Med, 2002,34:88-94.
- 6) 安野泰史, 穴見和寛, 片田和廣: 16列MDCTの基本的 撮影法 - 撮影法のポイント - . 臨放線, 2003, 48:

1619-1626 .

- 7)Kobayashi Y, Tanaka O, Adachi H et al: Efficacy of the ECG-gated reconstruction technique in 3D-CTA using multi-slice helical CT for the preoperative assessment of the ascending aorta in patients with aortic diseases. Radiology, 2000, 217 (P): 134.
- 8 Masuda Y, Takanashi K, Takasu J et al: Expansion rate of thoracic aortic aneurysms and influencing factors. Chest, 1992, **102**: 461–466.
- 9)Dapunt OE, Galla JD, Sadeghi AM et al: The natural history of thoracic aortic aneurysms. J Thorac Cardiovasc Surg, 1994, 107: 1323–1333.
- 10)Cigarroa JE, Isselbacher EM, DeSanctis RW et al: Diagnostic imaging in the evaluation of suspected aortic dissection. Old standards and new directions. N Engl J Med, 1993, 328: 35–43.
- 11 Nienaber CA, von Kodolitsch Y, Nicolas V et al: The diagnosis of thoracic aortic dissection by noninvasive imaging procedures. N Engl J Med, 1993, 328: 1–9.
- 12)田中良一:心臓血管領域におけるマルチスライスCT の臨床応用.映像情報Med,2002,34:110-116

Efficacy of MDCT in Assessing of Aortic Diseases

Yasuyuki Kobayashi,¹ Keisuke Tanno,¹ Katsuhiko Matsuura,¹ Naoya Imai,¹ Osamu Tanaka,¹ Satoshi Osawa,² Kouichi Adachi,² Hideo Adachi,² and Takashi Ino²

> Departments of ¹Radiology, and ²Cardiovascular Surgery, Jichi Medical School, Omiya Medical Center, Saitama, Japan

> > Key words: MDCT, 3D-CTA, aorta, ECG-gating

Clinical usefulness of CT in great vessel lesions has considerably advanced. For instance, MDCT enables acquisition of high-resolution volume data at ultra-high speed and in wide-area scanning. Concomitant use of ECG-gated systems allows the origin of the ascending aorta, including the coronary arteries, to be evaluated. 16-row MDCT scans, and simultaneously achieves shortening of breath-holding time because of ultra-high speed, wide-area scanning and high-resolution data acquisition. Therefore, it facilitates 1) routinization of isotropic data acquisition, 2) reduction in cardiac motion artifacts, 3) time-resolved 3D-CT angiography, and 4) reduction in contrast medium doses.

(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 677-684)