

(DefinitionではB46f)を用いれば、ノイズは増えるが、石灰化やステントの影響が少なくなるため、狭窄の判断に迷う石灰化やステントの部分だけでも、試みる価値がある。

## おわりに

DSCTを用いた冠動脈CTAについて解説した。DSCTにより診断可能になる心拍数の範囲が拡大し、冠動脈CTAがより簡便になった。しかし、DSCTといえども、すべての症例でexcellentな画像が提供できる魔法の機械ではなく、少しでもよい画像にするための努力も必要である。今後は、自動処理化へ向けてワークステーションを含めたシステム全体が進歩し、三次元処理に要するわれわれの負担が少なくなっていくことを期待する。

## ●文献

- 1) Achenbach S : Computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*, 48 : 1919-1928, 2006.
- 2) Giesler T, et al : Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT : influence of heart rate on image quality and stenosis detection. *AJR Am J Roentgenol*, 179 : 911-916, 2002.
- 3) Flohr T, et al : First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*, 16 : 256-268, 2006.
- 4) Scheffel H, et al : Accuracy of dual-source CT coronary angiography : first experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol*, 16 : 2739-2747, 2006.
- 5) Schepis T, et al : Coronary artery stent geometry and in-stent contrast attenuation with 64-slice computed tomography. *Eur Radiol*, 17 : 1464-1473, 2007.

日本医師会雑誌 第137巻・特別号(1)

生涯教育シリーズ—74

THE JOURNAL OF THE JAPAN MEDICAL ASSOCIATION

# 心血管疾患診療の エクセレンス

監修

矢崎義雄

編集

相澤義房

今泉 勉

島本和明

友池仁暢

永井良三

松崎益徳

編集協力

山崎 力



JMA  
日本医師会

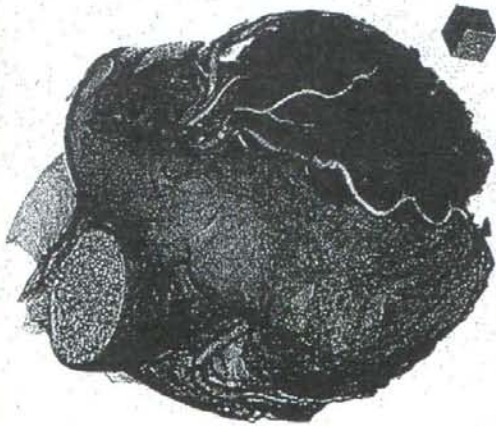
# 代表的心血管疾患の最新画像診断

## 心血管系の構造

中沢一雄/原口 亮/東 得浩

X線CT表露の進歩により、非侵襲的に心血管系の詳細な三次元像や断面像を描出できるようになった。

図1 心臓ボリュームレンダリング



黄色部は右室、右房、肺動脈。  
赤色部は左室、左房、上行大動脈。

ボリュームレンダリングとは、三次元データを二次元のスクリーンに投影し、人間が直感的に把握できる画像を作成するコンピュータグラフィックスの手法である。三次元データの各要素に対して濃淡値に依した色と透明度を計算して描画し、目的に応じた様々な画像を得ることができる。

※ A: anterior(患者前面), H: head(患者頭側),  
L: left(患者左側), R: right(患者右側)。

図2 胸部内で的心脏位置

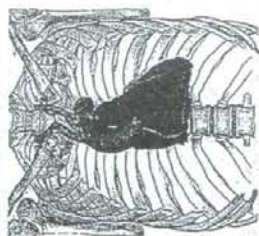


図3 大動脈起始部および冠動脈



図4 血管造影内視鏡による大動脈瘤からみた大動脈弁

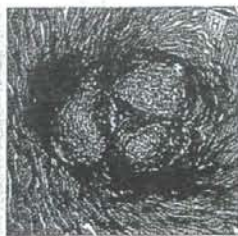
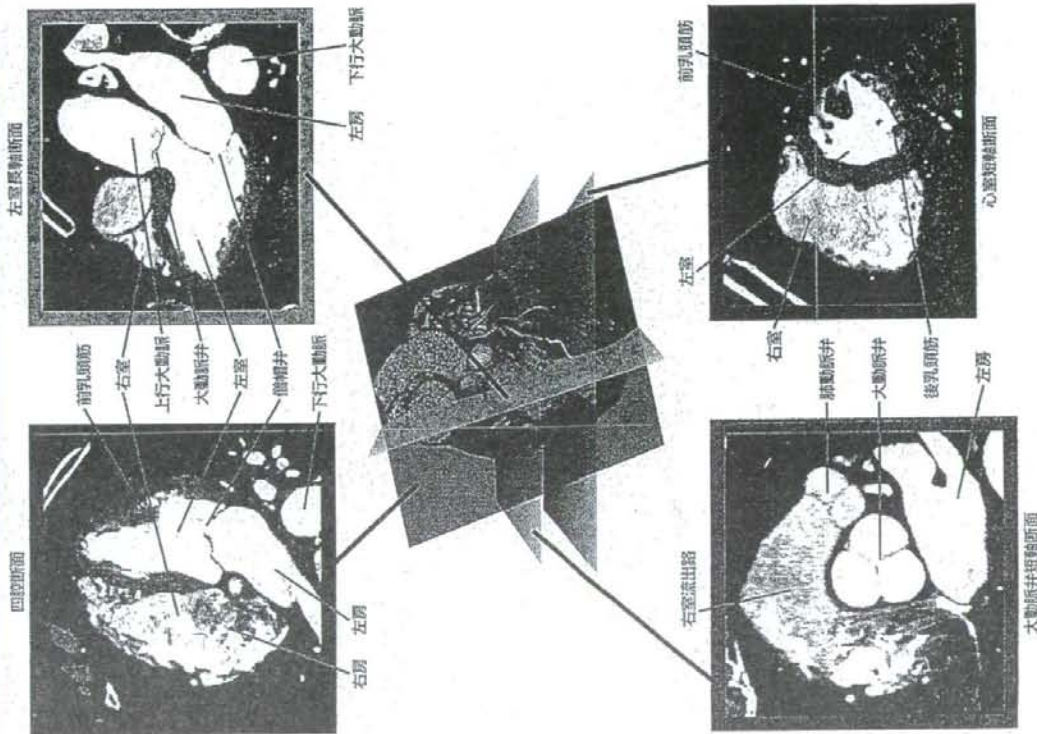


図5 CT断層像



## Dual source CT を用いた冠動脈 CTA

東 将浩<sup>\*1</sup> 堀 祐郎<sup>\*1</sup> 中澤哲郎<sup>\*1</sup> 神崎 歩<sup>\*1</sup> 福田哲也<sup>\*1</sup>  
 山田直明<sup>\*1</sup> 魚谷健祐<sup>\*1,3</sup> 木曾啓祐<sup>\*1</sup> 内藤博昭<sup>\*1</sup> 坪 宏一<sup>\*2,4</sup>

## ■ はじめに

マルチスライス CT の列数の増加, ガントリー回転速度の高速化により, 心電図同期 CT が, 簡便に行えるようになった<sup>1)</sup>。特に, 64 列マルチスライス CT の登場により, 冠動脈 CT の検査数が飛躍的に増加し, 診療報酬においても, 冠動脈 CT 加算が算定できるようになった。

しかし, 冠動脈 CT は, すべての患者において良好な画像が得られるのではなく, 撮影時の注意や, 撮影後の処理も必要である。また, 高心拍<sup>2)</sup>や不整脈患者, 石灰化やステント留置例など解決すべき問題も多い。

二管球搭載型マルチスライス CT (dual-source CT, DSCT) は, 1 台の CT 装置に, 2 組の管球—検出器システムが直交した状態で搭載されている (図 1)。管球回転時間は 330 ミリ秒であり, 心電図同期撮影の際の時間分解能は, 患者の心拍数にかかわらず 83 ミリ秒となる<sup>3)</sup>。この優れた時間分解能により, 高心拍数患者においても, 心拍をコントロールすることなく, 冠動脈 CT が実施可能と報告されている<sup>4)</sup>。本研究の目的は, DSCT を用いた冠動脈 CT を心臓カテーテル検査による冠動脈造影と比較し, 冠動脈描出能の評価, 冠動脈狭窄病変に対する診断能を評価することにある。

## ① 対象と方法

2007 年 9 月～2008 年 3 月の間に, 大動脈瘤の術前検査として胸部 CT と冠動脈造影が予定されている症例のうち, 研究に対して文章による同意が得られた連続 48 症例を対象とした (男性 36 例, 女性 12 例, 平均年齢 70 歳)。平均体重 61kg (35～86kg)。

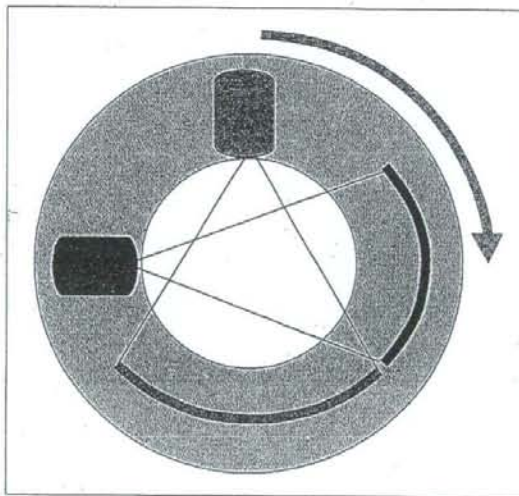


図 1 DSCT のシエマ

DSCT には X 線管と検出器のシステムが二組, お互いが直交する形で搭載されている。X 線管は同じだが, 検出器の角度が異なる。

\*1 M. Higashi, Y. Hori, T. Nakazawa, S. Kanzaki, T. Fukuda, N. Yamada, K. Uotani, K. Kiso, H. Naito 国立循環器病センター 放射線診療部 \*2 K. Akutsu 同 心臓血管内科 \*3 現 神戸大学医学部放射線科 \*4 現 日本医科大学千葉北総病院集中治療室  
 [索引用語: Dual source CT を用いた冠動脈 CT]

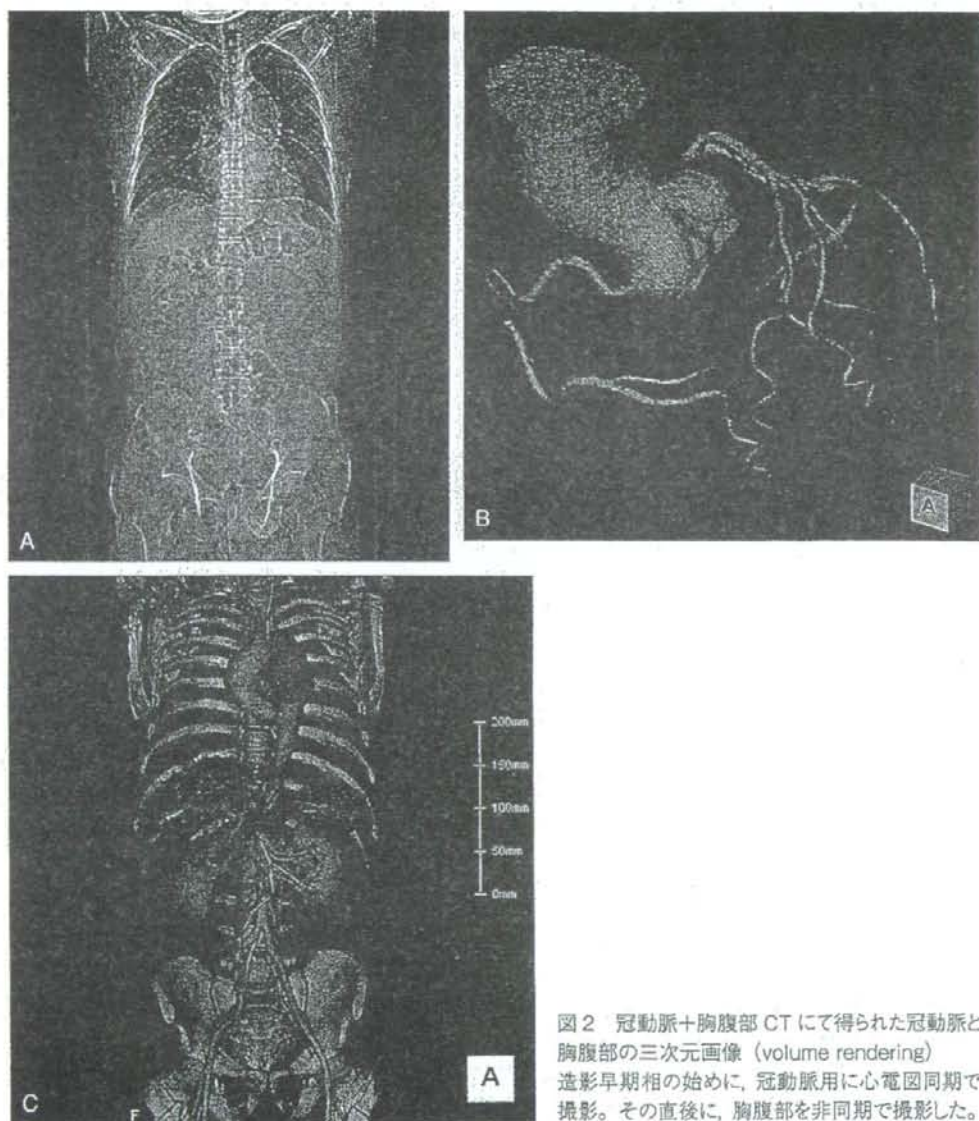


図2 冠動脈+胸腹部 CT にて得られた冠動脈と胸腹部の三次元画像 (volume rendering) 造影早期相の始めに、冠動脈用に心電図同期で撮影。その直後に、胸腹部を非同期で撮影した。

緊急症例、ヨード造影剤に対するアレルギー、透析のされていない中等度以上の腎機能障害例、冠動脈バイパス術が施行されている例、心房細動症例は除外した。冠動脈 CT にて正常冠動脈と判断された例は、冠動脈造影を行わない条件下にて、本研究は倫理委員会の承認を得た。

使用した CT 装置は、2 管球搭載型 64 スライス CT (SOMATOM Definition, Siemens)。冠動

脈 CT を造影早期相の胸腹部 CT の撮影前に行い、1 回の CT 検査、1 回の造影剤注入にて、冠動脈 CT、胸腹部 CT を撮影した (図 2)。冠動脈 CT の撮影範囲は、冠動脈が描出される最も頭側のスライスの 2cm 頭側から、心臓が含まれる最も尾側のスライスの 2cm 足側までとした。検出器は  $32 \times 0.6\text{mm}$ 、x-flying focal spot によりスライス収集は  $64 \times 0.6\text{mm}$  となる。ガントリーの回転時間は 0.33 秒。管電圧

表1 本研究における冠動脈+胸腹部CTの造影プロトコール

造影剤 (iohexol 350mgI/ml or Iopamidol 370mgI/ml)
二相注入 (注入速度) x (注入時間)
第一相: (0.06ml/kg・sec) x (冠動脈CT撮影時間+6秒)
(注入速度: min 3ml/sec, max 5ml/sec)
第二相: (0.03ml/kg・sec) x (胸腹部CT撮影時間+5秒)
(注入速度: min 1.5ml/sec, max 2.5ml/sec)
後押し用生理食塩水 0.03ml/kg・sec 25ml
bolus tracking法: 上行大動脈CT値 > 単純CT + 100H.U.
ヘータ遮断薬の投与なし
ミオコルズプレー舌下投与

は120kV、管電流は380mAs/rotation。ビームピッチは患者心拍数に依存した可変式であり、高心拍数では大きくなる(0.2~0.5)。全例、ニトログリセリンの舌下投与を行った。CT撮影のためのβ遮断薬は使用しなかった。

表1に本研究における造影剤の使用法を示す。造影剤は、イオパミドール370mgI/mlまたはイオヘキソール350mgI/mlを使用し、二相注入と生理食塩水による後押しをした。一相目の注入速度は、0.06ml/kg・sec(最低3ml/sec, 最高5ml/sec)、注入時間は、冠動脈CTの撮影時間に6秒を加えた時間とした。二相目の注入速度は、0.03ml/kg・sec(最低1.5ml/sec, 最高2.5ml/sec)、つまり第一相の半分の注入速度、注入時間は、胸腹部CTの撮影時間に5秒を加えた時間とした。

撮影開始のタイミングはbolus tracking法により決定した。上行大動脈に関心領域を設定し、閾値は、単純CTプラス100H.U.以上とした。

画像再構成は、FOV = 20cm, スライス厚 = 0.6mm, 再構成間隔 = 0.3mm, 再構成関数 = B26fで行った。再構成心時相の決定には、まず、本体に搭載されている最適拡張期、最適収縮期を抽出する機能を使用した。アーチファクトにより、三次元画像処理に適さないと判断した場合には、マニュアルにて、最適心時相を探索した。

ワークステーション(ZIOSTATION, ZIOSOFT)上で、MIP, CPRを作成した。内径1.5mm以上の冠動脈に対して、AHA分類によるセグメントごとに、有意狭窄の有無が判断可能かどうかを判定した。冠動脈造影が行われた症例に対しては、50%を超える

狭窄の有無を判定し、冠動脈造影の結果と比較した。

## ② 結 果

全症例で検査を施行できた。撮影時の平均心拍数は、毎分64回(43~107回)。冠動脈CTの撮影時間は、平均9.1秒(4.7~13.4秒)。使用造影剤は、平均91ml(66~144ml)となった。

607セグメント中571セグメントで評価可能であった。評価不能は36セグメント(5.9%)であった。評価不能の原因は、モーションアーチファクトが22セグメント、石灰化が5セグメント、ステントが9セグメントであった。

13症例において、冠動脈CTにて正常冠動脈と診断し、冠動脈造影は行わなかった(図3)。35例にて冠動脈造影と比較した。409セグメント中391セグメントにおいて、狭窄の有無が一致した(図4, 5)。感度86%, 特異度97%, 正診率96%, 陽性予測率(positive predictive value, PPV)76%, 陰性予測率(negative predictive value, NPV)98%となった(表2)。

表2 結果

CT	CAG	
	なし	あり
なし	354	6
あり	12	37

感度 = 86%, 特異度 = 97%, 正診率 = 96%  
陽性予測率 = 76%, 陰性予測率 = 98%

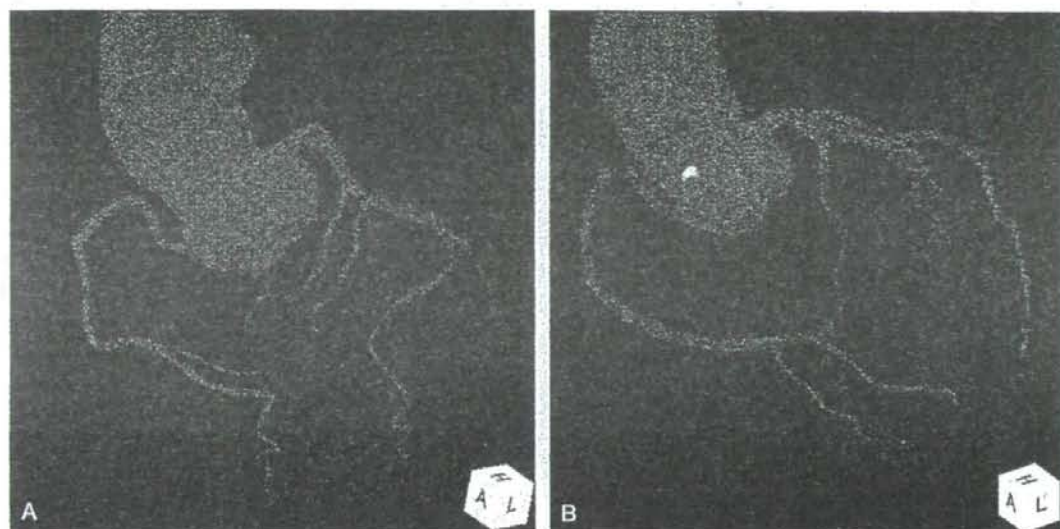


図3 冠動脈 CT, MIP 像

A, B 冠動脈 CTにて, 正常冠動脈と判断され, 冠動脈造影が省略された例。平均心拍数 46 回 / 分。

### ③ 考 察

マルチスライス CT を用いた冠動脈 CT は, 4 列の時代から報告されている。その当時から, 高い特異度, 陰性予測率 (NPV) を示していた。つまり, 有意狭窄のない冠動脈を有意狭窄なしと診断し, 冠動脈 CT で有意狭窄がない場合は, 実際に狭窄がない確率が非常に高い検査といえる。しかし, モーションアーチファクトや石灰化により診断できない領域が多いこと, 狭窄を過大評価し疑陽性が比較的多いことが問題と

してあげられていた (表 3)。

CT の進歩により, 時間分解能, 空間分解能が向上し, 撮影時間の短縮とあわせ, 診断可能領域の割合が増え, 感度も上昇してきている (表 3)。しかし, 従来型のマルチスライス CT では, 時間分解能の制限により, 高心拍数の患者ではアーチファクトが多くなり, 診断能が低下する傾向にあった。そのため, ベータ遮断薬の使用や, ガントリーの回転時間を調整する必要があった。

一方, DSCT においては, すべての心拍数に対し

表 3 冠動脈 CT の描出能, 狭窄に対する診断能の報告

	対象血管	評価可能 (%)	狭窄度	感度 (%)	特異度 (%)	NPV (%)	
Nieman et al <sup>6)</sup>	4-MSCT	≥ 2.0mm	70	≥ 50%	82	93	97
Achenbach et al <sup>6)</sup>	4-MSCT	≥ 2.0mm	68	≥ 70%	91	84	98
Nieman et al <sup>7)</sup>	16-MSCT	≥ 2.0mm	93	> 50%	95	86	97
Achenbach et al <sup>8)</sup>	16-MSCT	≥ 1.5mm	96	> 50%	94	96	99
Ropers et al <sup>9)</sup>	64-MSCT	> 1.5mm	96	> 50%	93	97	100
Scheffel et al <sup>4)</sup>	DSCT	> 1.5mm	98.6	> 50%	96.4	97.5	99.4
本研究	DSCT	≥ 1.5mm	94	> 50%	86	97	98

NPV : negative predictive value

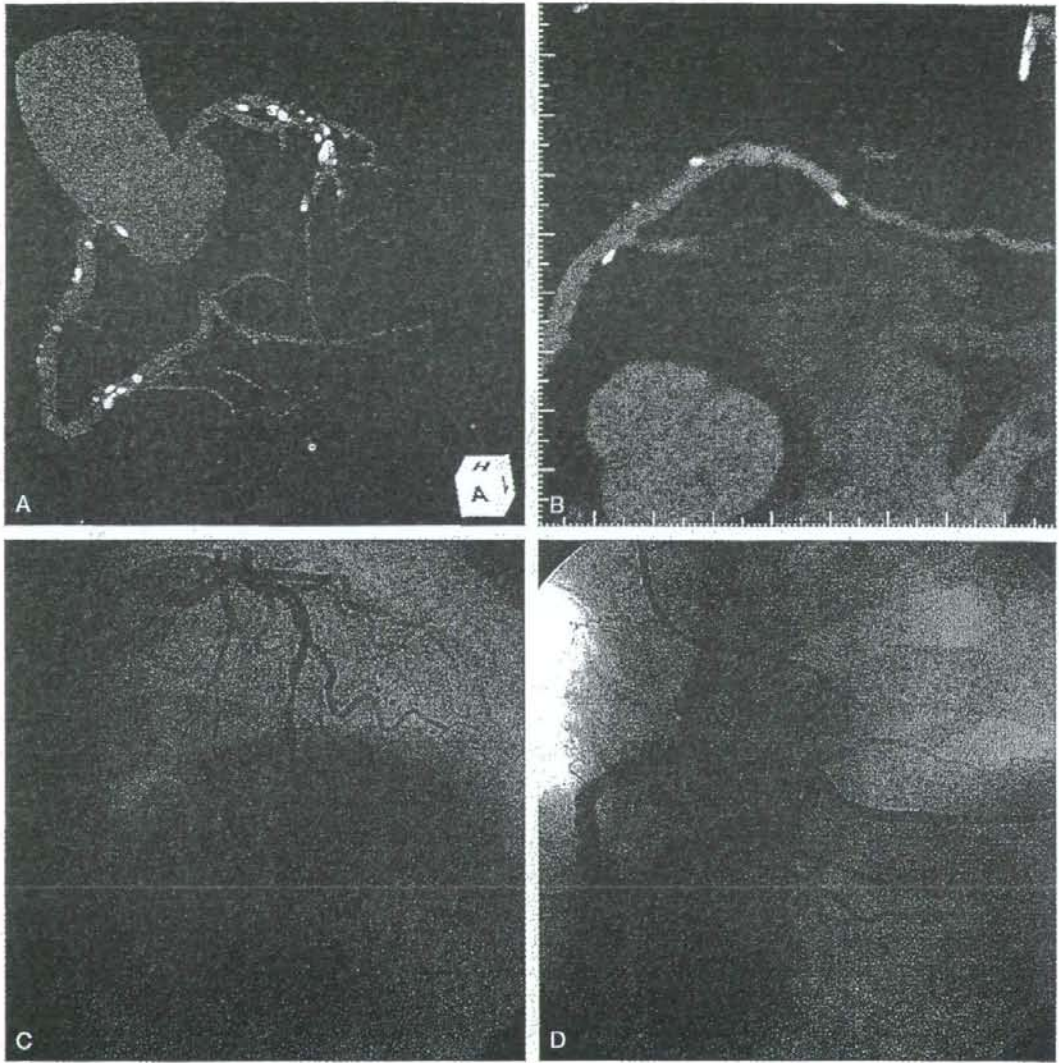


図4 冠動脈CTと冠動脈造影の対比, 狭窄部の対比  
 A MIP像 B CPR像 C 左冠動脈造影 D 右冠動脈造影

て83ミリ秒という時間分解能を有するため, これら高心拍数の患者においても心拍数のコントロールなしに, 冠動脈CTが可能と報告されている<sup>4)</sup>。今回の我々の検討においても, 心拍数をコントロールすることなく, 良好な画像を得ることができた。

我々の施設では, 大動脈瘤の術前検査として, 胸腹部の造影CTを行い, 大動脈の三次元画像を作

成している。一方, 冠動脈造影は, 胸部大動脈瘤では全例, 腹部大動脈瘤では冠動脈疾患のリスクが高い症例に対して施行している。つまり, 大動脈瘤の術前患者群は, CTと冠動脈造影の両方が行われる確率が高い患者群となる。胸腹部CTに冠動脈CTを組み込み1回の検査とすることで, 検査に対する患者の負担を減らした研究を行った。本研究は, 純



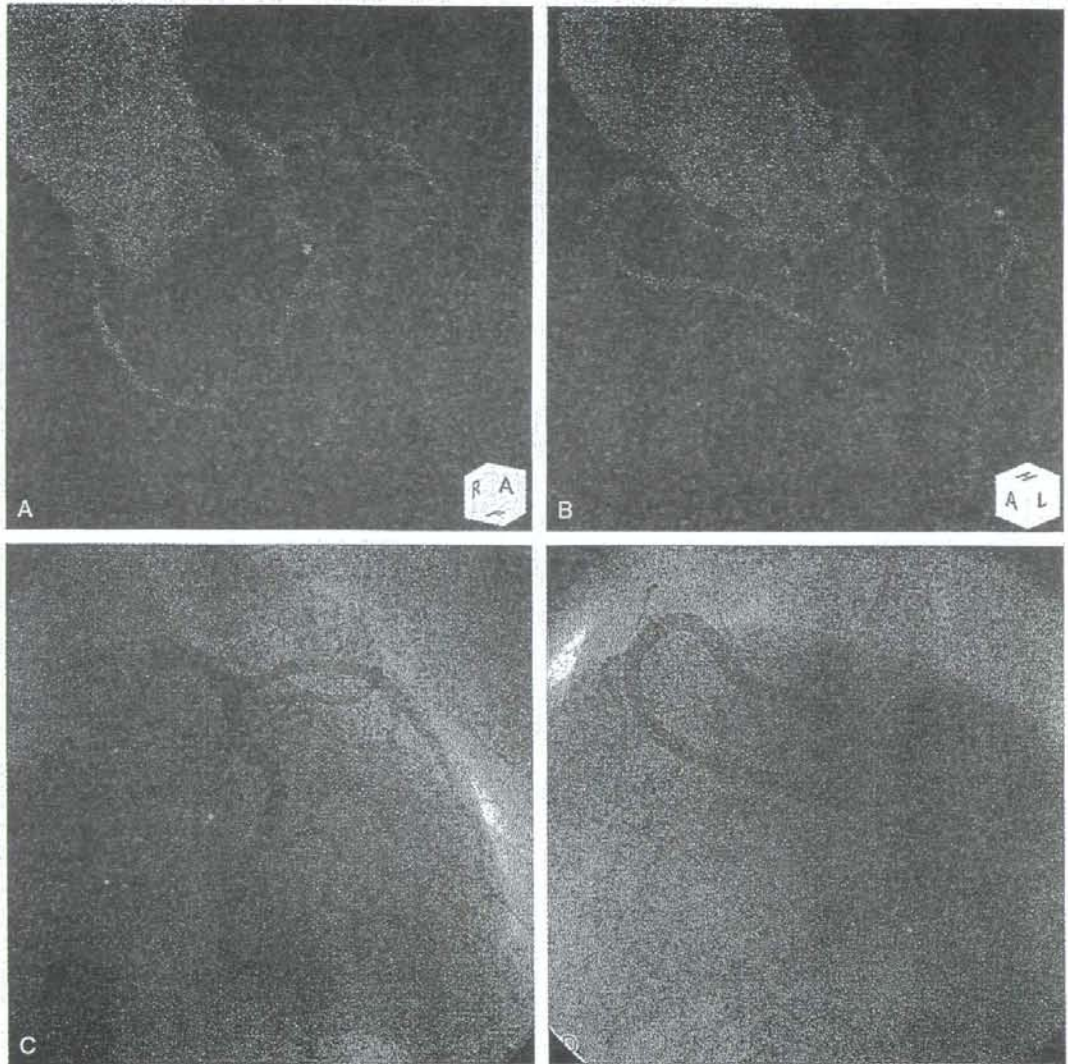


図5 冠動脈CTと冠動脈造影の対比, 高心拍数症例  
 A, B MIP像 C 左冠動脈造影 D 右冠動脈造影 撮影時の平均心拍, 毎分107回。

枠な冠動脈CTのみの撮影ではないが、造影早期相の前半に冠動脈CT撮影しているため、冠動脈CTのみの場合でも、同様の診断能が得られると期待している。

冠動脈CTにおいては、評価可能な領域を増やすためアーチファクトや石灰化を含む領域を無理に判定すると、正診率が低下する可能性がある。逆に、正

診率を高いレベルに保とうとすると、評価不能な領域が増えるかもしれない。冠動脈CTの特徴は、やはり高い陰性予測率である。つまり、冠動脈CTで狭窄がないと判断した場合、狭窄のある可能性がきわめて低い。これを前提にしたうえでCTを利用する方が、冠動脈CTの特性を生かせると思われる。

冠動脈CTの適応に関しては、症状を有する中等

度の pre-test probability 患者に対して有用性が高いとされている<sup>10)</sup>。これは、危険因子が多い症例では、診断できない場合も多く、狭窄が疑われた場合にも、CTでは完結せず冠動脈造影が実施される可能性が高いことによる。また危険因子が少ない症例では、被曝や造影剤の副作用（患者の不利益）と、狭窄が発見される（患者の利益）確率を考えた場合、患者利益の方が低いと考えられるからである。しかし、危険因子が低い症例は石灰化が少ない可能性が高く、CTで検査を完結できる可能性が高いと予想される。今回検討した患者群のように、冠動脈CTにより冠動脈造影が省略できるのであれば、冠動脈CTの有用性は非常に高いと考える。

## ■ ま と め

DSCTを用いた冠動脈CTAを行い、冠動脈造影との比較をした。β遮断薬を使用することのない条件下で、診断可能なセグメントが94%であった。冠動脈狭窄に対する陰性予測率が高かった（98%）。

## 文 献

- 1) Achenbach S: Computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 48:1919-1928, 2006
- 2) Giesler T et al: Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection. *AJR* 179:911-916, 2002
- 3) Flohr T et al: First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol* 16:256-268, 2006
- 4) Scheffel H et al: Accuracy of dual-source CT coronary angiography: first experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol* 16:2739-2747, 2006
- 5) Nieman K et al: Usefulness of multislice computed tomography for detecting obstructive coronary

artery disease. *Am J Cardiol* 89:913-918, 2002

- 6) Achenbach S et al: Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 103:2535-2538, 2001
- 7) Nieman K et al: Reliable noninvasive coronary angiography with fast sub-millimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 106:2051-2054, 2002
- 8) Achenbach S et al: Detection of coronary artery stenoses using multi-detector CT with 16 3 0.75 collimation and 375 ms rotation. *European Heart Journal* 26:1978-1986, 2005
- 9) Ropers D et al: Usefulness of multidetector row computed tomography with 64 0.6 mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 97:343-348, 2006
- 10) Robert C et al: Criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging. *JACC* 48:1475-1497, 2006

## Summary

### Coronary CT angiography with dual-source CT

The purpose of this study was to assess the diagnostic accuracy of dual-source computed tomography (DSCT) for evaluation of coronary artery disease (CAD). DSCT has high temporal resolution (83 msec in any RR interval). DSCT-CAG was performed in consecutive pre-operative 48 patients with aortic aneurysm or dissection. Assessable segments were 571 of 607 (94%). DSCT-CAG was compared with conventional CAG in 35 patients. Segment based sensitivity, specificity, positive and negative predictive value for evaluating CAD were 86%, 97%, 76%, and 98%, respectively.

Masahiro Higashi et al  
Department of Radiology  
National Cardiovascular Center