

## マルチスライス CT による冠動脈石灰化 の評価；電子ビーム CT との比較

大坂美和子, 那須 雅孝, 吉岡 邦浩<sup>1</sup>

【目的】冠動脈石灰化の定量的評価がマルチスライス CT (multislice CT, MSCT) でも可能であるかを, 電子ビーム CT (electron-beam CT, EBT) との比較により明らかにする。【方法】EBT と MSCT を行った 41 例 (男性 26 例, 女性 15 例) を対象とし, 冠動脈石灰化指数 (coronary artery calcification score, CACS, Agatston スコア) と calcium volumetric score (CVS) を測定した。EBT ではスタンダードとされている心電図同期法を用いたシングルスライスステップボリュームスキャンにより撮影し, MSCT では prospective electrocardiogram (ECG)-gating 法と retrospective ECG-gating 法によって画像を収集した。【結果】MSCT で計測した CACS と CVS の EBT 法との相関係数は, それぞれ prospective gating 法で 0.936 と 0.953, retrospective gating 法で 0.983 と 0.965 であった。診断能として重要な CACS 700 未満の場合には, MSCT による CACS と CVS の EBT 法との相関係数は, prospective gating 法で 0.893 と 0.910 であり, retrospective gating 法では 0.734 と 0.750 であった。また, MSCT の prospective gating 法と retrospective gating 法による CVS の variability はそれぞれ 1.7% と 29.3% であり, CACS の variability は, それぞれ 3.0% と 40.3% であった。【結論】MSCT 法でも EBT 法と同様に冠動脈石灰化の定量的評価が可能であった。また, MSCT で冠動脈石灰化を定量的に評価するには prospective gating 法による CVS の計測が最も適していると考えられた。

KEY WORDS: electron-beam CT, multislice CT, coronary artery disease, coronary artery calcification

Osaka M, Nasu M, Yoshioka K: Determination of coronary artery calcification with multislice CT: a comparative study with electron-beam CT. J Jpn Coron Assoc 2005; 11: 69-74

### I. はじめに

冠動脈疾患は重要な死因の一つで, 初回の心血管イベントの半数以上が無症状の人々に起こるとされている<sup>1)</sup>。ほとんどの冠動脈疾患は冠動脈硬化症の終末像として臨床像を呈するため, 無症状の段階で冠動脈硬化を検出することの意義は大きく, 様々な診断法を駆使した早期発見法の報告がなされている<sup>2, 3)</sup>。

冠動脈へのカルシウムの沈着は冠動脈狭窄や心筋虚血が証明される前から始まり, 冠動脈硬化の進行と深く関わっている<sup>4, 5)</sup>。この冠動脈の石灰化を検出する方法として電子ビーム式コンピュータ断層法 (electron-beam CT, EBT) が使用されてきた<sup>6-8)</sup>。Breen らによれば, EBT で冠動脈石灰化が認められない場合には臨床上有意な冠動脈狭窄がなく<sup>9)</sup>, 高度の冠動脈石灰化が存在すれば, 冠動脈狭窄を高い特異度で診断可能とされている<sup>10)</sup>。しかし, EBT は高価で特殊な装置であり, またコントラスト分解能が低いために体幹や頭部などへの適応に乏しいことから, わが国の日常臨床の場で EBT による冠動脈石灰化評価が行われることは少ない。

一方, 従来の CT は 1 スキャンの撮像に数秒を要するため, 拍動する心臓の撮影には適していなかった。しかし, 1995 年, Shemesh らがヘリカル CT を用いて冠動脈石灰化を定量的に評価できることを初めて報告し<sup>11)</sup>, 以来 CT 法による冠動脈石灰化評価への取り組みが行われてきた。最近, スキャン時間が短く, 1 スキャンで多断面の撮影が可能なマルチスライス CT (multislice CT, MSCT) が開発され, MSCT による冠動脈石灰化の定量的評価の可能性が期待されている。

本研究の目的は, 冠動脈石灰化の定量的評価法として確立された Agatston の石灰化指数 (coronary artery calcification score, CACS)<sup>7)</sup> と Callister らの calcium volumetric score (CVS)<sup>12)</sup> とを MSCT で測定し, EBT の測定値と比較することによって, MSCT でも冠動脈石灰化の評価が可能であるか否かを明らかにすることである。

### II. 対象

1999 年 10 月から 2001 年 9 月までに岩手医科大学附属病院で, 胸痛の原因精査のため MSCT と EBT とで心臓の撮影を行った 44 例のうち, 不整脈のために MSCT で冠動脈石灰化の測定ができなかった 3 例を本研究から除外し, 41 例 (男性 26 例, 女性 15 例, 49~80 歳, 平均年齢 65.9 歳) で検討した。MSCT と EBT の撮影の間隔が前後 3 カ月以

岩手医科大学第二内科学講座, <sup>1</sup>放射線医学講座 (〒020-8505 盛岡市内丸 19-1)  
(2005.2.16 受付, 2005.6.1 受理)

表1 症例背景 (n=41)

Patient characteristics	Number of patients
Male : Female	26 : 15
Rhythm (SR : AF)	39 : 2
Hypertension	19
Angina pectoris	18
Myocardial infarction	18
Diabetes mellitus	27
Hyperlipidemia	25
Smoking	13

SR: 洞調律, AF: 心房細動.

内に行われている症例のみを対象とした(表1). また, 人工透析例, 狭心症で冠動脈ステント挿入例, 人工弁置換術後例は対象より除外した. 撮影した患者すべてに検査の目的を説明し, 同意を得た.

### III. 方 法

#### 1. MSCTによる撮影法

MSCTには東芝社製 Aquilion (4列検出器)を使用した. 心臓の撮影法として, 心電図に同期して同じ心位相をスキャンする心電図同期スキャン(prospective electrocardiogram (ECG)-gating)と, スキャンを行いながら心電図を記録して, 得られたデータから同じ心位相の画像を取り出して再構成する心電図同時記録スキャン(retrospective ECG-gating)とを用いた. 標準的な撮影条件として, ガントリー回転速度は0.5秒/回転, 出力はprospective ECG-gatingでは120 kV, 300 mA, retrospective ECG-gatingでは120 kV, 240 mAを用いた. 呼吸停止時間は約20秒(平均20心拍)で, ビーム硬化補正は行わなかった. Prospective ECG-gating法では拡張末期(R-R間隔の80%)の心臓をハーフスキャンで撮影し, 230°データによる再構成を行った. この方法は, 非ヘリカル方式でスライス幅3 mm, スライス間隔3 mm, スキャン時間は320 msである. また, retrospec-

表2 EBTとMSCTの画像パラメータ

	EBT	MSCT	
		Prospective gating	Retrospective gating
Detector	1 detector	4 detector rows	
Temporal resolution (ms)	100	320	275
Spatial resolution (mm <sup>3</sup> )	0.586×0.586×3.0	0.586×0.586×3.0	

EBT: electron-beam-CT, MSCT: multislice CT.

tive ECG-gating法ではヘリカル方式を使用し, ヘリカルピッチ0.8~1.2で拡張末期(R-R間隔の80%)の心臓をスライス幅3 mm, スライス間隔3 mmでハーフ再構成した(実効時間分解能275 ms). いずれの方法でも最大吸気での一回の呼吸停止下で, 心基部から尾側に20スライスを撮影した(図1). 撮影時の対象患者の平均心拍数は70±13/分だった.

#### 2. EBTによる撮影法

EBTには米国Imatron社製のImatron (C150-XP)を用いた. 撮影条件はガントリー回転速度0.5秒/回転, 出力は130 kV, 63 mAsを用いた. 呼吸停止時間は約20秒(平均20心拍)で, ビーム硬化補正は行わなかった. 心電図同期撮影法により拡張末期(R-R間隔の80%)に同期しながら, 呼吸停止下で心基部から尾側にスライス幅3 mm, スライス間隔3 mm, スキャン時間100 msのシングルスライスステップボリュームスキャンによって20スライスを撮影した(図1). 検査時の心拍数はMSCT撮影時と比較して有意な変化はなかった.

MSCTおよびEBTの画像パラメータを表2に示す.

#### 3. 冠動脈石灰化の評価

冠動脈石灰化の指標として, Agatstonらの方法<sup>7)</sup>に従ったCACSとCallisterらのCVS<sup>12)</sup>とを, EBTとMSCTの

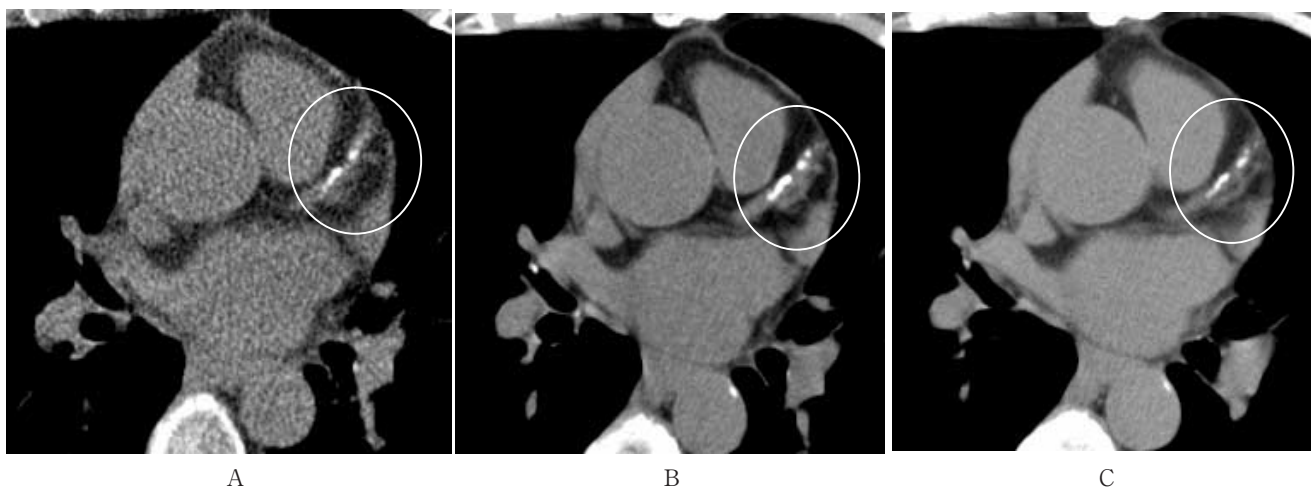


図1 左前下行枝に石灰化を認める症例

A: EBT, B: MSCT prospective 法, C: MSCT retrospective 法. EBT: electron-beam-CT, MSCT: multislice CT.

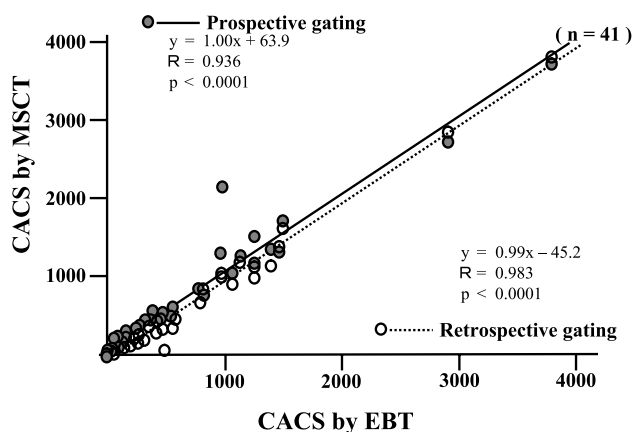


図2 EBTとMSCTによるCACSとの比較

EBT: electron-beam-CT, MSCT: multislice CT, CACS: coronary artery calcification score.

それぞれで求めた。

CACSとCVSとの計測には自動解析装置 (AccuImage, Diagnostics社製, 米国) を用い, 観測者は熟練者1人で行った。CACSでは, スライスごとに冠動脈の石灰化部分に関心領域を設定し, CT値が130 Hounsfield unit以上で, かつ石灰化面積が0.51 mm<sup>2</sup> (2ピクセル) 以上のものを有意な石灰化とした。さらに, 有意な石灰化が存在する各領域の最高CT値によって, 130~199=1, 200~299=2, 300~399=3, 400以上=4と重み付けをし, 石灰化面積にその重み付けした数値を乗じてその領域のCACSとした。各領域のCACSの総和を症例のCACSとした。

一方, CVSの計測では, コンピュータ上でスライスデータを一辺が1ピクセルに相当する立方体 (voxel) に分配し, CT値が130 Hounsfield unit以上のvoxelを数え, そのスライスでの石灰化容積とした。さらに, 全てのスライスで石灰化容積の総和を求め, この総和に1000をかけた数値をCVSとした。CVSではCACSのようなCT値による重み付けは行っていない。

EBTとMSCTの撮影の間隔は18.1±23.8日であった。

那須らは, EBTを使用してCACSが640以上であれば, 90%の特異度をもって冠動脈狭窄を診断できることを報告している<sup>13)</sup>。したがって, CACS 700未満の計測値の信頼性が, MSCTによる冠動脈硬化症の診断能に大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで, 対象のうちEBTでのCACSが700未満の28例と, 700以上の13例に分けて, MSCTとEBTによる評価を比較検討した。

#### 4. 統計学的解析

CACSとCVSは平均値±標準偏差で表し, MSCT法とEBT法との比較には対数変換してpaired t testを用いた。また, MSCTとEBTの計測値の関係は直線回帰分析法, その両者の誤差の検定はBland and Altman法によった<sup>14)</sup>。どちらも対数変換してから比較した。Variabilityは標準偏差/平均値で算出した。p<0.05を統計学的有意とした。

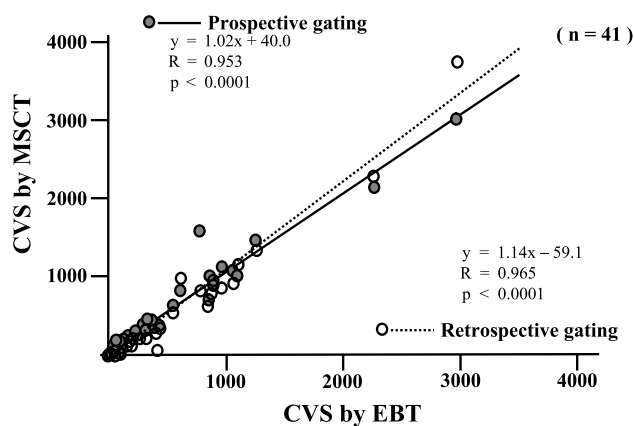


図3 EBTとMSCTによるCVSとの比較

EBT: electron-beam-CT, MSCT: multislice CT, CVS: calcium volumetric score.

## IV. 結 果

1) EBTとMSCTによるCACSとCVSの計測結果  
EBTと, MSCTのprospective gating法, MSCTのretrospective gating法によるCACSは, それぞれ592.0±786.6, 654.5±811.4, 542.7±788.1であり, また, CVSはそれぞれ463.2±617.0, 512.6±645.0, 467.7±714.2であった。MSCTの二つの方法を比較すると, CACSとCVSはともにretrospective法よりprospective法で大きい値を示した (p<0.05)。

2) EBTとMSCTによるCACS値との関係 (図2)

MSCTでのprospective gating法およびretrospective gating法によるCACSは, ともにEBTでのCACSと良好な正の相関を示した。Bland and Altman法によってEBTとMSCTとの誤差を検討すると, 誤差はprospective法で小さい傾向があった。Prospective法およびretrospective法のvariabilityは, それぞれ3.0%と40.3%であった。

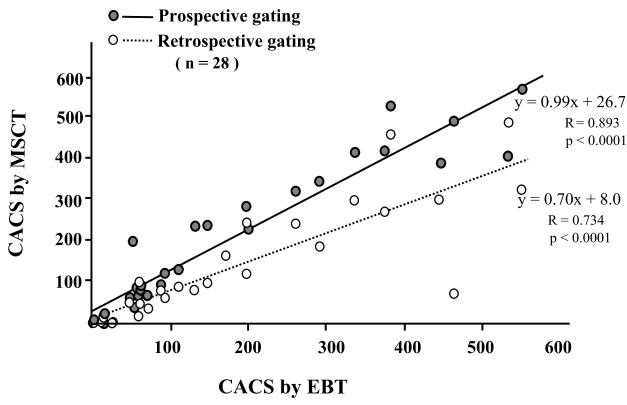
3) EBTとMSCTによるCVS値との関係 (図3)

CACSと同様に, CVSにもEBTとMSCTによる測定値の間に強い正の相関関係が存在した。また, prospective gating法とretrospective gating法の撮影法それぞれのCVSと, EBTとによる測定値の相関係数に大きな差異はなかった。MSCT法とEBT法との誤差は, MSCTのいずれの方法でもCACSよりCVSで小であった。Prospective gating法およびretrospective gating法によるCVSのvariabilityは, それぞれ1.7%と29.3%であった。

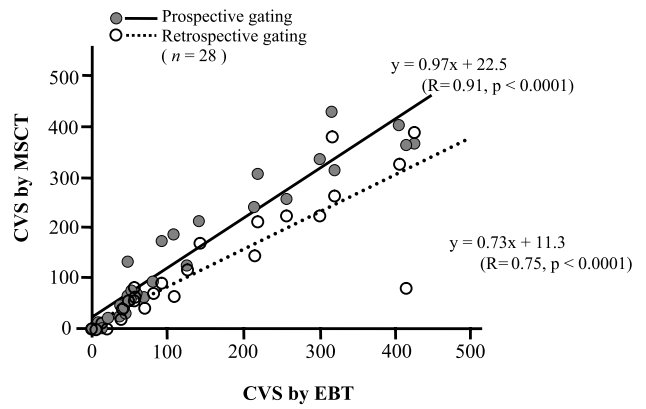
4) EBT法でCACSが700以上の例でのEBTとMSCTによる測定値の検討

EBT法でCACS 700以上を示す高度冠動脈石灰化例は, MSCTのprospective法では感度100%, 特異度92.9%, retrospective法では感度96.6%, 特異度100%で診断された。また, CVSの測定によってもprospective法の感度100%, 特異度91.7%, retrospective法の感度96.7%, 特異度90.7%と高い診断能を示した。

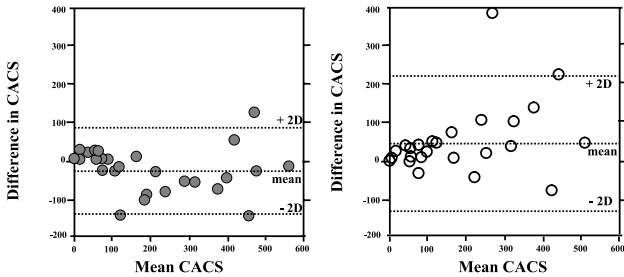




A

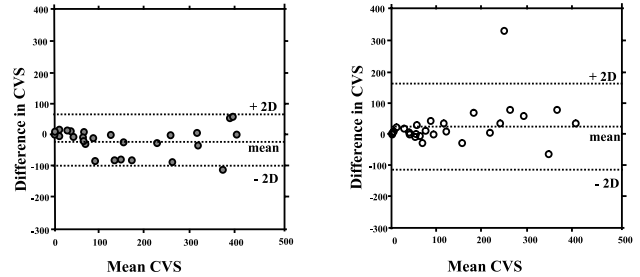


A



B

C



B

C

図4 (A) CACS < 700でのEBTとMSCTによるCACSとの比較  
 (B) CACS < 700でのEBTとMSCT prospective法によるCACSとの差  
 (C) CACS < 700でのEBTとMSCT retrospective法によるCACSとの差

図5 (A) CACS < 700でのEBTとMSCTによるCVSとの比較  
 (B) CACS < 700でのEBTとMSCT prospective法によるCVSとの差  
 (C) CACS < 700でのEBTとMSCT retrospective法によるCVSとの差

CACS: coronary artery calcification score, EBT: electron-beam-CT, MSCT: multislice CT.  
 Difference: CACS(EBT-MSCT), Mean: CACS(EBT+MSCT)/2.

CACS: coronary artery calcification score, CVS: calcium volumetric score, EBT: electron-beam-CT, MSCT: multislice CT, CVS: calcium volumetric score.  
 Difference: CVS(EBT+MSCT), Mean: CVS(EBT+MSCT)/2.

5) EBT法でCACSが700未満の例でのEBTとMSCTによる測定値の検討

EBT法でCACSが700未満の例について、MSCTのprospective法とretrospective法によるCACSおよびCVSを比較すると、いずれにおいてもretrospective法でEBTとの相関関係が小さく、その差も大であった(図4-6)。一方、prospective法ではEBT法とほぼ $y=x$ の関係に近似でき、しかもCVSはEBT法による測定値との差が最も小さくなった。しかし、prospective法とretrospective法との相関係数に有意差は認められなかった。EBT法による測定値との差はprospective法で最も小さく、CVS測定値の差は0.8%であった(図6)。

6) 特定の症例で極端なCACS, CVSの違い

MSCTのretrospective法で、CACSとCVSの値がEBT法と極端に異なる例が存在した。これは同一症例で、この症例を除いた上記検討も行ったが、結果には影響しなかった。

V. 考 察

TanenbaumらがEBT法によって冠動脈へのカルシウム沈着が検出できること<sup>6)</sup>を初めて報告して以来、冠動脈石灰化の定量的評価を目的にAgatstonの方法によるCACSの計測がEBTで行われてきた。欧米では、EBT法が胸痛を訴える患者のふりわけ<sup>15)</sup>や無症候性の虚血性心疾患患者のスクリーニング<sup>16)</sup>、あるいは心事故の予測<sup>17)</sup>に応用されている。しかし、EBTは高価で特殊な装置であり、主な適応は心疾患や大血管疾患に限られることから普及に至らず、本邦では日常の診療にCACSが計測されることはほとんどない。

一方、1995年にShemeshらが初めて2列のヘリカルCTで冠動脈へのカルシウム沈着を診断した<sup>11)</sup>。その後の装置の発展に伴ってスキャン時間が短縮し、モーションアーチファクトが少ない心臓の断層画像の撮影が可能となった。本研究では、スキャン時間がより短縮され、4列の検出器列を有するMSCTを使用して、MSCT法による冠動脈石灰化の定量的評価がEBT法と同様に可能であるか否かを検

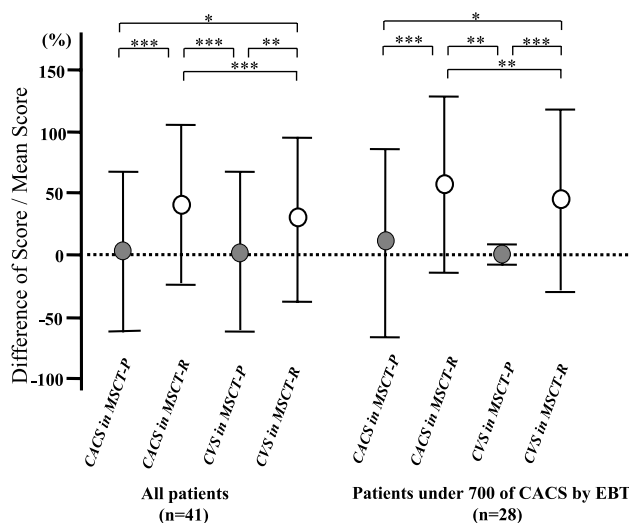


図6 全症例とCACS<700の症例とにおけるEBTとMSCTの2方法(prospective法, retrospective法)によるCACSとCVS, それぞれの差と平均の比較

\* $p<0.01$ , \*\* $p<0.001$ , \*\*\* $p<0.0001$ .

CACS: coronary artery calcification score, CVS: calcium volumetric score, EBT: electron-beam CT, MSCT: multislice CT, CVS: calcium volumetric score, MSCT-P: MSCT prospective法, MSCT-R: MSCT retrospective法.

Difference: CACS(EBT-MSCT), CVS(EBT-MSCT), Mean: CACS(EBT+MSCT)/2, CVS(EBT+MSCT)/2.

討することを目的とした。

近年, MSCTで石灰化や有意狭窄を伴わない冠動脈のソフトプラークの検出が可能となり, カテーテル検査による冠動脈造影に代わる検査法として期待されている。しかし, 造影剤を使用しなければならず, 薄いスライス幅での撮影が必要なため被曝が増える。スクリーニング法に用いる簡便で非侵襲的な検査としては, 現段階では問題が残ると思われる。

全41例の検討で, MSCT法によって計測されたCACSはEBT法での測定値と高い正の相関を示し, MSCT法でも冠動脈石灰化の定量的評価が可能であることが示された。しかし, EBT法によるCACSが低値である場合には, variabilityが著しく大きくなることが指摘されている<sup>18)</sup>。このCACSの問題を克服するために, CallisterらによってCVSが考案された<sup>12)</sup>。CVSによる評価はスライス幅やスライス時間などに影響を受けにくく, 再現性に優れていることがYoonらによって報告されている<sup>19)</sup>。そこで本研究ではCACS700以上の高度石灰化例と700未満の例に分けて, MSCT法とEBT法との関係をさらに検討した。

EBTでの高度冠動脈石灰化例は, MSCTによってもEBTと同様に高度冠動脈石灰化の診断が可能であると考えられた。また, CVSの測定によってもEBTとMSCTとは高度冠動脈石灰化ではほぼ同じ診断能を有すると考えられた。

一方, CACS700未満の例のみを対象としてEBTとMSCTとを比較検討すると, MSCTの二つの撮影法(pro-

spective法, retrospective法)によるCACSとCVSはそれぞれEBTによる測定値と正の相関を示したが, prospective法によるCACSが相関係数0.93を示したのに対して, retrospective法では相関係数は0.73だった。これに対して, prospective法によるCVSはEBT法でのCVSに最もよく相関し( $r=0.98, p<0.0001$ ), また, EBTとの差も最も小さくなった(0.8%)。以上の結果より, MSCT法による冠動脈石灰化の定量的評価には, prospective ECG-gating法によるCVSの測定が最も適していると考えられた。

また, MSCTのretrospective法で, 1例がEBT法と極端に異なる値を示した。画像を見ると, アーチファクトが他と比べ多く, 心室性期外収縮の多い症例だった。不整脈によるアーチファクトが極端な値の違いを生んだ可能性がある。

Koppらは, 冠動脈石灰化の定量的評価にはCACSよりCVSが再現性や正確性に優れていることを指摘し<sup>20)</sup>, また, KnezらはEBT法とMSCT法とによるCVSを比較し, CACSが低い領域でもCVSの差が小さいことを報告している<sup>21)</sup>。しかし, いずれの報告でもretrospective ECG-gating法(ヘリカル法)のみを使用していて, prospective法による検討は行っていない。In vitroで検討したHongらは, prospective ECG-gating法がretrospective法に比較して冠動脈石灰化の定量に適していることを報告している<sup>22)</sup>。これは本研究の結果と一致するものであった。

Prospective法とretrospective法とを比較すると, retrospective法でEBT法による測定値と相関が低い傾向があった。スキャン時間に差はあるものの, EBTとMSCTのprospective法ではコンベンショナル方式で撮影法が同じであるのに対して, retrospective法はヘリカル方式で撮影した後に画像を構成するという画像再構成法で撮影している。ヘリカル方式では画像再構成処理により, コンベンショナル方式に比較して実効スライス厚が増加してしまう傾向にある。この相違がretrospective法の相関に関与している可能性がある。また, retrospective法ではprospective法よりも被曝が数倍にもなるという大きな欠点も存在する。したがって, MSCT法による冠動脈石灰化の定量的評価法としてはEBT法と最もよく近似した値を示し, 被曝も少ないprospective法を用いたCVSによる評価が最も適切であると考えられた。

#### IV. 結 語

MSCTのprospective ECG-gating法とretrospective ECG-gating法とでCACSとCVSを測定し, EBT法による測定値と比較した。MSCT法によるCACS, CVSはEBT法による測定値と正の相関を示した。また, 診断能として重要なCACS700未満では, prospective法によるCVSの計測がEBTによる測定値と最も近似しており, MSCT法による冠動脈石灰化の定量的評価には, prospective法でCVSを計測することが適していると考えられた。

## 文 献

- 1) Tunstall-Pedoe H, Kuulasmaa K, Amouyel P, Arveiler D, Rajakangas AM, Pajak A: Myocardial infarction and coronary deaths in the world health organization MONICA project. Registration procedures, event rates, and case-fatality rates in 38 populations from 21 countries in four continents. *Circulation* 1994; **90**: 583-612
- 2) Nagai Y, Metter EJ, Earley CJ, Kemper MK, Becker LC, Lakatta EG, Fleg JL: Increased carotid artery intimal-medial thickness in asymptomatic older subjects with exercise-induced myocardial ischemia. *Circulation* 1998; **98**: 1504-1509
- 3) Gianrossi R, Detrano R, Mulvihill D, Lehmann K, Dubach P, Colombo A, McArthur D, Froelicher V: Exercise-induced ST depression in the diagnosis of coronary artery disease: A meta-analysis. *Circulation* 1989; **80**: 87-98
- 4) Mautner GC, Mautner SL, Froehlich J, Feuerstein IM, Proschan MA, Roberts WC, Doppman JL: Coronary artery calcification; assessment with electron beam CT and histomorphometric correlation. *Radiology* 1994; **192**: 619-623
- 5) Detrano R, Froelicher V: A logical approach to screening for coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1987; **106**: 846-852
- 6) Tanenbaum SR, Kondos GT, Veselik KE, Prendergast MR, Brundage BH, Chomka EV: Detection of calcific deposits in coronary arteries by ultrafast computed tomography and correlation with angiography. *Am J Cardiol* 1989; **63**: 870-872
- 7) Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R: Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; **15**: 827-832
- 8) Budhoff MJ, Georgiou D, Brody A, Agatston AS, Kennedy J, Wolfkiel C, Stanford W, Shields P, Lewis RJ, Janowitz WR, Rich S, Brundage BH: Ultrafast computed tomography as a diagnostic modality in the detection of coronary artery disease: a multicenter study. *Circulation* 1996; **93**: 898-904
- 9) Breen JF, Sheedy PF II, Schwartz RS, Stanson AW, Kaufmann RB, Moll PP, Rumberger JA: Coronary artery calcification detected with ultrafast CT as an indication of coronary artery disease. *Radiology* 1992; **185**: 435-439
- 10) Rumberger JA, Sheedy PF II, Breen JF, Fitzpatrick LA, Schwartz RS: Electron beam computed tomography and coronary artery disease: scanning for coronary artery calcification. *Mayo Clin Proc* 1996; **71**: 369-377
- 11) Shemesh J, Apter S, Rozenman J, Lusky A, Rath S, Itzhak Y, Motro M: Calcification of coronary arteries: detection and quantification with double-helix CT. *Radiology* 1995; **197**: 779-783
- 12) Callister TQ, Cooil B, Raya SP, Lippolis NJ, Russo DJ, Raggi P: Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology* 1998; **208**: 807-814
- 13) 那須和広, 吉岡邦浩: 電子ビーム CT による冠動脈石灰化指数を用いた虚血性心疾患の診断—日本人での検討—. *日本医放会誌* 2002; **62**: 701-706
- 14) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; **1** (8476): 307-310
- 15) Kennedy J, Shavelle R, Wang S, Budoff M, Detrano RC: Coronary calcium and standard risk factors in symptomatic patients referred for coronary angiography. *Am Heart J* 1998; **135**: 696-702
- 16) Arad Y, Spadaro LA, Goodman K, Lledo-Perez A, Sherman S, Lerner G, Guerci AD: Predictive value of electron beam computed tomography of the coronary arteries: 19-month follow-up of 1173 asymptomatic subjects. *Circulation* 1996; **93**: 1951-1953
- 17) Secci A, Wong N, Tang W, Wang S, Doherty T, Detrano R: Electron beam computed tomographic coronary calcium as a predictor of coronary events: comparison of two protocols. *Circulation* 1997; **96**: 1122-1129
- 18) Bielak LF, Kaufmann RB, Moll PP, McCollough CH, Schwartz RS, Sheedy PF II: Small lesions in the heart identified at electron beam CT: calcification or noise? *Radiology* 1994; **192**: 631-636
- 19) Yoon HC, Goldin JG, Greaser LE III, Sayre J, Fonarow GC: Interscan variation in coronary artery calcium quantification in a large asymptomatic patient population. *AJR Am J Roentgenol* 2000; **174**: 803-809
- 20) Kopp AF, Ohnesorge B, Becker C, Schroder S, Heuschmid M, Kuttner A, Kuzo R, Claussen CD: Reproducibility and accuracy of coronary calcium measurements with multi-detector row versus electron-beam CT. *Radiology* 2002; **225**: 113-119
- 21) Knez A, Becker C, Becker A, Leber A, White C, Reiser M, Steinbeck G: Determination of coronary calcium with multislice spiral computed tomography: a comparative study with electron-beam CT. *Int J Cardiovasc Imaging* 2002; **18**: 295-303
- 22) Hong C, Bae KT, Pilgram TK, Suh J, Bradley D: Coronary artery calcium measurement with multi-detector row CT: in vitro assessment of effect of radiation dose. *Radiology* 2002; **225**: 901-906