ノート

マルチディテクタ CT におけるハイブリッド型 逐次近似画像再構成(iDose)アルゴリズムを用いた 低線量撮像時の冠動脈石灰化の定量評価： フィルタ補正逆投影法との比較

村崎裕生¹⁾・船間芳憲²⁾・羽手村昌宏³⁾・藤岡知加子⁴⁾・富口静二⁵⁾

論文受付
2010年11月24日

論文受理
2011年1月25日

Code No. 251

1) 熊本大学大学院保健学教育部

2) 熊本大学大学院生命科学研究部先端生命医療科学部門医療技術科学講座医用理工学

3) 熊本大学医学部附属病院医療技術部診療放射線技師部門

4) 広島大学病院診療支援部放射線部門

5) 熊本大学大学院生命科学研究部先端生命医療科学部門医療技術科学講座医用画像学

緒言

Computed tomography(CT)装置を用いた Agatston スコアなどのカルシウムスコアが冠動脈石灰化を検出・

定量するために導入されている。カルシウムスコアが使用される理由としては、冠動脈の石灰化の程度とアテローム性動脈硬化の進行に相関性があるためで

Quantitative Evaluation of Calcium (content) in the Coronary Artery Using Hybrid Iterative Reconstruction (iDose) Algorithm on Low-dose 64-Detector CT: Comparison of iDose and Filtered Back Projection

Hiroo Murazaki,¹⁾ Yoshinori Funama,²⁾ Masahiro Hatemura,³⁾ Chikako Fujioka,⁴⁾ and Seiji Tomiguchi⁵⁾

1) Graduate School of Health Sciences, Kumamoto University

2) Department of Medical Physics, Faculty of Life Sciences, Kumamoto University

3) Department of Radiology, Kumamoto University Hospital

4) Department of Radiology, Hiroshima University Hospital

5) Department of Medical Imaging, Faculty of Life Sciences, Kumamoto University

Received November 24, 2010; Revision accepted January 25, 2011; Code No. 251

Summary

To evaluate the usefulness of hybrid iterative reconstruction (iDose) for quantification of calcium content in the coronary artery on 64-detector computed tomography (CT), an anthropomorphic cardiac CT phantom containing cylinders with known calcium content was scanned at tube current-time products of 15, 20, 25, and 50 mAs using 64-detector CT. The images obtained at 15, 20, 25, and 50 mAs were reconstructed using filtered back projection (FBP), and those at 15, 20, and 25 mAs were also reconstructed using iDose. Then the volume and mass of the calcium content in the cylinders were calculated and compared with the true values. The Agatston score was also evaluated. The Agatston score and mass of calcium obtained at 50 mAs using FBP were 656.92 and 159.91 mg, respectively. In contrast, those obtained at 25 mAs using iDose were 641.91 and 159.05 mg, respectively. No significant differences were found in the calcium measurements obtained using FBP and iDose. In addition, the Agatston score and mass of calcium obtained at 15 mAs and 20 mAs using iDose were not significantly different from those obtained at 25 mAs with iDose. By using iDose, accurate quantification of calcium in the coronary artery can be achieved at 15 mAs using 64-detector CT. The radiation dose can be significantly reduced in coronary artery calcium scoring without impairing the detection and quantification of coronary calcification.

Key words: coronary artery calcium (CAC), hybrid iterative reconstruction (iDose), dose reduction, filtered back projection (FBP), multidetector CT

別刷資料請求先：〒 862-0976 熊本市九品寺 4-24-1

熊本大学大学院保健学教育部 村崎裕生 宛

Fig. 1 Conceptual diagram of hybrid iterative reconstruction (iDose).

ある^{1,2)}。さらに、カルシウムスコアによって冠動脈疾患が疑われる患者の冠動脈イベントのリスクを予測することも行われている³⁻⁵⁾。カルシウムスコアは冠動脈造影検査に比べて侵襲性が低く、冠動脈病変のスクリーニングや以後の経過観察に有用である。一般的にリスクの予測には定量値が利用され、これらは冠動脈のカルシウム容積や重量などの計測および CT 値を利用した Agatston スコアなどで評価されている^{6,7)}。これらを経過観察で使用する場合、低線量での CT スキャンが望ましい。しかし、CT 検査においてスキャン線量と画像ノイズには密接な関係があり、過度の線量低減は画像ノイズを増加させ、冠動脈石灰化の検出に影響を与える⁸⁾。Rutten ら⁹⁾も低線量スキャンではノイズが増加するため冠動脈石灰化の評価において定量性が低下すると報告している。特に、Agatston スコアは最大 CT 値に基づいてスコア計算を行っており、画像ノイズに強く影響を受ける¹⁰⁾。

最近、CT 検査における撮像線量の低減を目的に逐次近似再構成法を応用した再構成法 (iDose) が CT 像の再構成に導入された。この新しい画像再構成アルゴリズムは低線量で増加する画像ノイズを低減できる特徴を持ち、filtered back projection (FBP) 法の欠点を補うものとして期待される。冠動脈石灰化の定量評価において画像再構成に iDose 法を使用することで、低線量でも従来通りの評価が可能と考えられる。

本研究の目的は、冠動脈石灰化の定量評価において、iDose 法による低線量での冠動脈石灰化の定量性を FBP 法と比較検討し、iDose 法の有用性を明らかにすることである。

1. 方法

1-1 ハイブリッド型の逐次近似法 (iDose)

本研究ではノイズ低減の目的からハイブリッド型の逐次近似法 (iDose) を使用した¹¹⁾。Fig. 1 にハイブリッド型逐次近似再構成法の概念図を示す。iDose 法は最初、raw data space (生データ領域) において、サイノグラムの逐次近似計算によりノイズ成分を除去する。次に image data space (画像データ領域) において、組織形状に関する情報と統計学的ノイズに関す

Fig. 2 Anthropomorphic phantom body with nine calcifications.

る情報を考慮して、繰り返しノイズのコントロールが行われる。これによって、低線量で発生するノイズおよびアーチファクトを軽減し、低線量での撮像を可能にするものである。

1-2 ファントム

ファントムは Anthropomorphic cardiac CT phantom (QRM, Moehrendorf, Germany) を使用した (Fig. 2)。ファントムのサイズは、幅 300 mm、高さ 200 mm、奥行き 100 mm である。このファントムは肺、脊椎、軟部組織等価物質でできている。心臓の位置には、容積とカルシウム密度が異なる円柱状の模擬冠動脈石灰化を 9 か所に挿入されている。模擬冠動脈石灰化の直径はそれぞれ 1.0, 3.0, 5.0 mm で、カルシウム密度は、それぞれのサイズで 200, 400, 800 mg HA/cm³ である。また、模擬石灰化の総カルシウム重量は、167.70 mg である。

1-3 撮像条件

CT 装置は 64 列マルチディテクタ CT 装置 (Brilliance 64, Philips Healthcare, Cleveland, Ohio) を使用した。本実験において mAs 値は 50 mAs を標準線量とし、さらに mAs 値を 3 段階 (15, 20, 25 mAs) に変更し撮像した。撮像はそれぞれの mAs 値で 3 回行った。スキャンモードは step-and-shoot モードで心電図同期を行い、心拍数は 60 bpm を使用した。また、コリメーション 40×0.625 mm、管電圧 120 kV、回転時間 0.42 s、スキャン範囲 100 mm とした。それぞれの撮像条件における CTDI_w は、15, 20, 25, 50 mAs でそれぞれ、1.1, 1.4, 1.8, 3.5 mGy であった。

1-4 画像再構成

標準線量 50 mAs の収集データは、FBP 法を用いて再構成を行った。また 15, 20, 25 mAs においては FBP 法および iDose 法の両方で再構成を行った。FBP 法および iDose 法での再構成条件はスライス厚

Table 1 Values of image noise using FBP and iDose reconstruction algorithms at different tube current- time products (mAs) and iDose levels

mAs	Image Noise (HU)				
	FBP	iDose iDose level 50%	iDose iDose level 60%	iDose iDose level 70%	iDose iDose level 80%
50	15.4				
25	22.3	18.7	16.8	14.6	12.1
20	25.6		19.3	16.8	14.0
15	27.7			18.3	15.4

2.5 mm, マトリックスサイズ 512×512, FOV 220 mm, 再構成関数 standard, 心電図の R-R 間隔 75% で, 体軸横断像を作成した。

iDose 法では iDose level(%) を変更することで, 低減した線量によるノイズの増加が補正可能であり, それに伴い線量レベルが改善される。線量レベル(dose level)は以下の式により計算される。

$$\text{dose level} = \frac{100 - \text{dose reduction}(\%) }{100} \times \frac{100}{100 - \text{iDose level}(\%) } \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

例えば, 25 mAs においては iDose level を 50, 60, 70, 80% と設定した場合, 50 mAs の CTDI_w と比較して 100, 125, 167, 250% の線量レベルとなり, この改善された線量レベルをもとに画像ノイズも改善される。今回の場合, 50 mAs の 100% 線量に相当する iDose level のメーカー推奨値は 15 mAs で 70%, 20 mAs で 60%, 25 mAs で 50% であった。

1-5 検討方法

データ収集後, すべての再構成画像は CT ワークステーション(extended brilliance workspace (EBW)) に転送し Agatston スコア, カルシウム容積, およびカルシウム重量の算出を行った。Agatston スコアの定義はスライス厚 3 mm であり, 2.5 mm のスライス厚から 3 mm のスライス厚に正規化して表示した。カルシウム重量に関しては, 各サイズにおける模擬石灰化の重量も測定した。閾値設定はワークステーション上, Agatston スコアで 130 HU, カルシウム容積, カルシウム重量においてはカルシウム密度 100 mg HA/cm³ と自動で設定される。

カルシウム重量の計算はカルシウム容積にカルシウム密度を乗じて求められる。カルシウム密度はワークステーション内に密度に対する CT 値が事前に設定されており, 測定した CT 値の計算から変換される。

すべての再構成画像について画像ノイズ(CT 値の標準偏差)の測定を行った。ノイズ値は, 円形関心領域(132 mm²)を水等価物質の中央部に配置し測定を

行った。3 回のスキャンから得られた画像をそれぞれ測定し平均値を結果として表示した。ただし, 関心領域のサイズ, 位置はすべての測定で同じになるように設定した。

Agatston スコア, カルシウム容積およびカルシウム重量の変動係数(CV)は平均値と標準偏差から以下の式にて計算した。

$$CV = \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

また, カルシウム重量に関しては測定値(容積×カルシウム密度)と真値との誤差を calcium mass error (%) とし算出し評価した。

$$\text{calcium mass error} = \left| \frac{\text{measured calcium mass} - \text{physical calcium mass}}{\text{physical calcium mass}} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

1-6 統計解析

Agatston スコア, カルシウム容積, カルシウム重量における有意差検定を行うため, ノンパラメトリックの多重比較法であるスティーラの検定を使用した。50 mAs(FBP)によって得られたスコアをコントロールとした。統計学的な有意水準は $P < 0.05$ とした。

2. 結果

2-1 画像ノイズ

Table 1 に FBP 法と iDose 法に関して mAs 値を変化させた場合の画像ノイズ値を示す。FBP 法の場合, 画像ノイズは 15, 20, 25, 50 mAs でそれぞれ, 27.7, 25.6, 22.3, 15.4 HU となった。mAs が減少するにつれて, 画像ノイズは増加する傾向にあった。FBP 法と iDose 法を比較した場合, 同じ mAs でも iDose 法を使用することによって画像ノイズは減少した。また, iDose level の増加に対して, 画像ノイズは減少する傾向にあった。50 mAs と同等の画像ノイズに改善するために, 15 mAs(iDose level 70%), 20 mAs(iDose level 60%), 25 mAs(iDose level 50%) でレベルを決定したが, その際の画像ノイズはそれぞれ

Table 2 Mean value and coefficient of variation (CV) for Agatston score, total volume, and total mass of calcium. The same image noise level was seen at 50 mAs using FBP and 15, 20, and 25 mAs using iDose.

	Tube current-time product			
	50 FBP	25 iDose level 50%	20 iDose level 60%	15 iDose level 70%
Agatston score				
Mean	656.92	641.91	663.08	636.26
CV (%)	1.80	3.05	0.53	1.59
Total volume				
Mean (mm ³)	605.29	603.51	611.75	591.59
CV (%)	1.04	2.11	2.11	1.96
Total mass				
Mean (mg)	159.91	159.05	162.97	159.59
CV (%)	1.58	2.57	1.25	2.93

Value shows a no statistical significance between scans obtained with 50 mAs (FBP) and scans obtained with iDose ($P>0.05$).

Table 3 Mean value and coefficient of variation for Agatston score, total volume, and total mass of calcium. Different image noise levels were seen at 50 mAs using FBP and 20 mAs using iDose.

	50 mAs FBP	20 mAs		
		iDose level 60%	iDose level 70%	iDose level 80%
Agatston score				
Mean	656.92	663.08	660.36	658.36
CV (%)	1.80	0.53	0.48	0.67
Total volume				
Mean (mm ³)	605.29	611.75	599.90	597.75
CV (%)	1.04	2.11	2.47	2.75
Total mass				
Mean (mg)	159.91	162.97	162.24	162.04
CV (%)	1.58	1.25	1.10	1.27

Value shows a no statistical significance between scans obtained with 50 mAs (FBP) and scans obtained with iDose ($P>0.05$).

れ, 18.3, 19.3, 18.7 HU となり, ほぼ同等であった。しかし, 50 mAs(FBP)の画像ノイズと比較するとやや高い傾向にあった。

2-2 ノイズが同等の場合におけるカルシウム定量値の比較

Table 2 に 50 mAs(FBP)に対し, 画像ノイズレベルが同等である 15, 20, 25 mAs(iDose)の Agatston スコア, カルシウム容積および重量の平均値と CV を示す。Agatston スコアおよびカルシウム容積において, 線量を 15 mAs まで低減し, iDose level を 70%と大きくすると 50 mAs(FBP)に比べて定量値が低下する傾向がみられ, Agatston スコアは 3.1% ($P>0.05$), カルシウム容積で 2.3% ($P>0.05$)低下した。しかし, カルシウム重量においては, 15 mAs(iDose level 70%)でも 50 mAs の場合と同等の値が得られた ($P>0.05$)。

その他の定量値も同様に 50 mAs(FBP)に対し有意差はみられなかった ($P>0.05$)。変動係数は, 線量の低減率や iDose level には関係せず, 一定であった。

2-3 iDose level の定量値への影響

Table 3 は 20 mAs での iDose level の違いによるカルシウム定量値の比較である。Agatston スコア, カルシウム容積および重量のすべてにおいて, iDose level を大きくすると, スコアは若干減少する傾向であった。しかし, スコアは減少するものの 50 mAs (FBP)に対し有意差はみられなかった ($P>0.05$)。変動係数は, iDose level の大きさによらずすべての定量値において同程度であった。

2-4 カルシウム重量

Table 4 に 50 mAs(FBP) および 20 mAs(iDose)で

Table 4 Comparison of measured calcium mass with physical calcium mass obtained at 50 mAs using FBP and at 20 mAs using iDose

Calcium cylinder diameter and density (mg HA/cm ³)	Physical calcium mass (mg)	Measured calcium mass (mg)			
		50 mAs FBP	20 mAs iDose level 60%	20 mAs iDose level 70%	20 mAs iDose level 80%
Total	167.70	159.91	162.97	162.24	162.04
5-mm ϕ					
800	78.50	85.03	86.53	86.34	86.40
400	39.30	36.61	36.40	36.15	36.06
200	19.60	13.44	13.43	13.23	13.12
3-mm ϕ					
800	17.00	15.71	16.67	16.68	16.59
400	8.50	6.59	7.34	7.29	7.32
200	4.20	2.13	2.23	2.19	2.19
1-mm ϕ					
800	0.60	0.41	0.55	0.54	0.54

Fig. 3 Comparison of calcium mass error between measured and physical calcium mass at 50 mAs using FBP and at 20 mAs using iDose.

(a) 5-mm ϕ calcium cylinder, (b) 3-mm ϕ calcium cylinder, and (c) 1-mm ϕ calcium cylinder.

a	c
b	

得られた、各サイズにおける模擬石灰化部のカルシウム重量を示す。直径 5 mm でカルシウム密度 800 mg HA/cm³ の部位では、50 mAs(FBP), 20 mAs(iDose level 60%), 20 mAs(iDose level 70%), 20 mAs(iDose level 80%)で、それぞれ 85.03, 86.53, 86.34, 86.40 mg と真値の 78.5 mg に対して高値を示した。しかし、それ以外の模擬石灰化部では、50

mAs(FBP), 20 mAs(iDose)ともに真値より低値であった。

Fig. 3a~c に 50 mAs(FBP), 20 mAs(iDose)によるカルシウム重量の測定値と真値の誤差を示す。直径 5 mm の部位では、カルシウム密度にかかわらず 50 mAs(FBP), 20 mAs(iDose)についてカルシウム重量の誤差に差はなかった(Fig. 3a)。直径 3 mm の部位で

は、カルシウム密度が 400, 800 mg HA/cm³ の場合、50 mAs(FBP) に対し 20 mAs(iDose) で誤差は小さく、それぞれ約 5.0%, 8.0% であった。しかし、カルシウム密度が 200 mg HA/cm³ の部位では、50mAs(FBP) と 20 mAs(iDose) の誤差は同等であった (Fig. 3b)。直径 1 mm でカルシウム密度が 800 mg HA/cm³ の部位では、50 mAs(FBP) に対し 20 mAs(iDose) では誤差は約 22% 小さい値であった (Fig. 3c)。

3. 考 察

3-1 線量低減と iDose level

本研究では、線量を低減し iDose 法を使用することで FBP 法と低線量画像に対してメーカ推奨値で iDose level を変化させノイズ量を同等とした場合、すべての定量値において FBP 法と同等の結果が得られた。特にカルシウム重量については、Agatston スコアやカルシウム容積に対し、より安定した値が得られた (Table 2)。iDose level を変更した場合、すべての定量値において、iDose level を高くするにつれて定量値が減少する傾向がみられた (Table 3)。これは、iDose level を大きく設定したことで、画像ノイズだけでなくカルシウム部分の信号まで低下したためであると考え。特に、Agatston スコアに関しては、計算に最大 CT 値を使用している。そのためスコアは画像ノイズの影響を強く受け、iDose level の増加にともないカルシウム部分の最大 CT 値が低下し、Agatston スコアが低い値を示したものと考え。iDose level と各定量値を考慮すると、画像ノイズの過度の低減を意識して iDose level の設定を大きくすると値自体も低下するため、今回の結果から線量を低減するには線量低減前の基準線量とノイズが同程度となるような iDose level の設定で十分であると考え。

3-2 石灰化の大きさとカルシウム密度の影響

今回の使用したファントムにおいて、直径 1 mm でカルシウム密度が 200, 400 mg HA/cm³ の模擬石灰化部は、検出することはできなかった。これは部分容積効果により模擬石灰化部の CT 値が閾値 (130 HU または 100 mg HA/cm³) より常に小さかったためと考えられる。本研究において、iDose 法を使用し画像ノイズを補正した場合でも、本来閾値以下のカルシウムを検出することは難しく FBP 法を用いた場合と同様の結果が得られている。したがって、iDose 法を使用しても非常に小さい石灰化でカルシウム密度も低いものの検出は困難であることが示唆される。一方、直径 3 mm でカルシウム密度が 400, 800 mg HA/cm³ の部および、直径 1 mm でもカルシウム密度が 800 mg HA/cm³ の部は iDose 法を使用することで、FBP 法と

比較し真値に近い測定値の算出が可能であった (Fig. 3b~c)。このようにカルシウムの CT 値が閾値を超える場合には iDose 法を使用することで定量性は向上する。

3-3 臨床応用の可能性について

冠動脈石灰化の定量評価は冠動脈疾患無症候性患者に対する心事故のリスク評価や非典型的な胸部症状を有する患者の冠動脈疾患のスクリーニングとして推奨されている⁶⁾。Budoff ら¹²⁾は無症候者と Agatston スコア別の累積生存曲線について報告し、スコアの増加とともに生存率が低下し、1000 を超える場合は追跡期間 12 年で生存率は 76.9% に低下すると述べている。また、Rumberger ら⁷⁾はスコア =0 (very low risk), スコア >0~10 (low risk), スコア >10~100 (moderate risk), スコア >100~400 (moderately high risk), スコア >400 (high risk) のようなリスクの層別化が可能と報告している。冠動脈石灰化の定量評価に対する精度はファントムのスキャンとは異なり臨床では、心臓のモーションアーチファクトの影響から再現性はファントムと比較して、さらに低下する^{13~16)}。McCollough ら¹⁰⁾の報告では、同一患者・装置における Agatston スコアのパーセント誤差 (2 値の差をその平均値で除したもの) は 19~37% 程度であると述べている。また、心臓のモーションアーチファクトの影響によりカルシウムスコアが上昇することも知られている¹⁷⁾。本研究では線量低減を行い、iDose 法を使用した場合、すべての定量値で値の変動係数はおよそ 3% 以下であった。したがって、iDose 法を使用した場合のモーションアーチファクトの影響については今後の課題であるが、臨床でも十分に使用可能と考える。

われわれの研究における制限は、今回、どのスライス位置でも同じような X 線吸収であるファントムを使用した。ただし、画像ノイズはスキャンパラメータだけでなくスキャンされる解剖学的領域にも依存する。Raggi ら¹⁸⁾は、electron-beam CT において、心基部に比べて心尖部の方が、画像ノイズが増加すると報告している。これは、肝臓や横隔膜で X 線吸収が大きいためである。われわれの検討ではこの影響まで含んだ結果を示すことは困難であった。臨床においては、この潜在的なノイズの変化が低線量スキャンにおいて、カルシウム定量値に影響してくる可能性もあるが、iDose 法を使用することで解決可能であると期待される。また、iDose level の設定に伴う Agatston スコアの変化は、画像ノイズの影響および iDose 法による処理の影響が複合して結果に反映され、分けて評価を行うことは難しい。しかし、今後検討する必要があると考える。

4. 結 語

本研究では、カルシウムスコアの CT スキャンにおいて、iDose 法を併用することで線量低減およびスコアの改善について検討を行った。カルシウムスコアに iDose を併用することにより、従来より使用されている FBP と比較し、スキャン線量の低減が可能である

とともにカルシウムスコアの改善もみられた。カルシウムスコアを目的とした CT スキャンに iDose を併用することで、ファントム実験においては少なくとも 50% の線量低減が可能であり、臨床においてもカルシウムスコアを維持した状態で更なるスキャン線量の低減が可能であると期待される。

参考文献

- 1) Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15(4): 827-832.
- 2) Rumberger JA, Simons DB, Fitzpatrick LA, et al. Coronary artery calcium area by electron-beam computed tomography and coronary atherosclerotic plaque area. A histopathologic correlative study. *Circulation* 1995; 92(8): 2157-2162.
- 3) Arad Y, Goodman KJ, Roth M, et al. Coronary calcification, coronary disease risk factors, C-reactive protein, and atherosclerotic cardiovascular disease events: the St. Francis Heart Study. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46(1): 158-165.
- 4) Greenland P, LaBree L, Azen SP, et al. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004; 291(2): 210-215.
- 5) Shaw LJ, Raggi P, Schisterman E, et al. Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality. *Radiology* 2003; 228(3): 826-833.
- 6) Greenland P, Bonow RO, Brundage BH, et al. ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography) developed in collaboration with the Society of Atherosclerosis Imaging and Prevention and the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49(3): 378-402.
- 7) Rumberger JA, Brundage BH, Rader DJ, et al. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin Proc* 1999; 74(3): 243-252.
- 8) Bielak LF, Kaufmann RB, Moll PP, et al. Small lesions in the heart identified at electron beam CT: calcification or noise? *Radiology* 1994; 192(3): 631-636.
- 9) Rutten A, Isgum I, Prokop M. Coronary calcification: effect of small variation of scan starting position on Agatston, volume, and mass scores. *Radiology* 2008; 246(1): 90-98.
- 10) McCollough CH, Ulzheimer S, Halliburton SS, et al. Coronary artery calcium: a multi-institutional, multimanufacturer international standard for quantification at cardiac CT. *Radiology* 2007; 243(2): 527-538.
- 11) 菅原 崇. iDose- 最大 80% の被ばく低減を実現する画像再構成法. *Innervision* 2010; 25(10):68-69.
- 12) Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST, et al. Long-term prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25,253 patients. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49(18): 1860-1870.
- 13) Detrano RC, Anderson M, Nelson J, et al. Coronary calcium measurements: effect of CT scanner type and calcium measure on rescan reproducibility—MESA study. *Radiology* 2005; 236(2): 477-484.
- 14) Hong C, Bae KT, Pilgram TK, et al. Coronary artery calcium quantification at multi-detector row CT: influence of heart rate and measurement methods on interacquisition variability initial experience. *Radiology* 2003; 228(1): 95-100.
- 15) Ulzheimer S, Kalender WA. Assessment of calcium scoring performance in cardiac computed tomography. *Eur Radiol* 2003; 13(3): 484-497.
- 16) Wang S, Detrano RC, Secci A, et al. Detection of coronary calcification with electron-beam computed tomography: evaluation of interexamination reproducibility and comparison of three image-acquisition protocols. *Am Heart J* 1996; 132(3): 550-558.
- 17) Brown SJ, Hayball MP, Coulden RA. Impact of motion artefact on the measurement of coronary calcium score. *Br J Radiol* 2000; 73(873): 956-962.
- 18) Raggi P, Callister TQ, Cooil B. Calcium scoring of the coronary artery by electron beam CT: how to apply an individual attenuation threshold. *AJR Am J Roentgenol* 2002; 178(2): 497-502.

図表の説明

Fig. 1 ハイブリッド型逐次近似再構成法(iDose)の概念図

Fig. 2 9つの模擬冠動脈石灰化が入った模擬人体ファントム

Fig. 3 50 mAs(FBP)と 20 mAs(iDose)における測定値と真値間のカルシウム重量誤差の比較
(a)5-mm ϕ , (b)3-mm ϕ , (c)1-mm ϕ の模擬冠動脈石灰化の場合

Table 1 異なる mAs と iDose level における FBP 法と iDose 法を使用した場合の画像ノイズ

Table 2 Agatston スコア, 総カルシウム容積および重量の平均値および変動係数
50 mAs(FBP)と 15, 20, 25 mAs(iDose)間で等しいノイズレベルの場合.

Table 3 Agatston スコア, 総カルシウム容積および重量の平均値および変動係数
50 mAs(FBP)と 20 mAs(iDose)間で異なる画像ノイズレベルの場合.

Table 4 50 mAs(FBP)と 20 mAs(iDose)で得られたカルシウム重量の測定値と真値の比較