

## 心臓 CT 撮影における ECG-modulation 法の線量挙動

小野寺 崇<sup>1</sup>, 佐藤和宏<sup>2</sup>, 石黒彩菜<sup>3</sup>, 里村彩加<sup>1</sup>  
小野勝範<sup>1</sup>, 梁川 功<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東北大学病院 診療技術部 放射線部門

<sup>2</sup>東北大学大学院医学系研究科 保健学専攻

<sup>3</sup>仙台オープン病院 診療支援部 診療放射線室

### Behavior of Radiation Dose with ECG-modulation Method in Cardiac CT

Shu ONODERA<sup>1</sup>, Kazuhiro SATO<sup>2</sup>, Ayana ISHIGURO<sup>3</sup>, Ayaka SATOMURA<sup>1</sup>,  
Katsunori ONO<sup>1</sup> and Isao YANAGAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Technology, Tohoku University Hospital

<sup>2</sup>Health Sciences, Tohoku University Graduate School of Medicine

<sup>3</sup>Department of Radiological Technology, Sendai Open Hospital

Key words : Cardiac Computed Tomography, ECG-modulation, Image Noise

Effective dose in cardiac Computed Tomography (CT) is very high compared with the other CT examinations. We can choose two methods to reduce the effective dose. One is prospective ECG gating, the other is ECG-based tube current modulation. But in the case of patients with high heart rates, we need to use only ECG modulation. Because we have to maintain accuracy of diagnostic imaging.

We investigated the length of time to change tube current and the effects of dose reduction. There was a gap between set phase and cardiac phase required maximum dose in both cases. In addition, there was a difference in characteristics of current rise time and current fall time between the two CT scanners.

#### 1. 緒 言

冠動脈に代表される心臓の Computed Tomography (以下, CT) 検査は他の部位の検査と比較して実効線量は非常に高い<sup>1-5)</sup>。心臓 CT 検査の被曝低減技術として prospective gating 法 (以下, prospective 法), ECG-modulation 法 (以下, modulation 法) を用いた撮影がある<sup>6)</sup>。prospective 法では, 冠動脈評価に適した心位相のみに必要最大線量を照射するため, 被曝線量は低減されるが特定の心位相画像しか得ることができない。一方, modu-

lation 法では全心位相に X 線を照射するが, 管電流変調機構により冠動脈評価に必要な心位相の照射線量を低減する。そのため,  $\beta$  遮断薬を使用できない症例や高心拍症例に対しては modulation 法を用いることで診断能を確保することが可能となる。

しかしながら, 非常に速い心臓の動きに追従して管電流を変調するには相当な制御能力が必要である。そのためユーザーの設定値に対し, 管電流変調機構がどのように動作しているのかを把握することは患者の被曝を管理するうえで非常に重要

である。特に管電流変化に要する時間や低線量撮影時の線量低減率は装置やスキャン方式による差が大きく、装置ごとの特性を十分に理解しておく必要がある。そこで本研究では、modulation法を用いた際の管電流変調機構の挙動を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方 法

### 2-1. 使用機器

CT装置はSOMATOM Definition Flash（以下、Flash：SIEMENS社製）およびAquilion ONE（以下、Aquilion：東芝社製）を使用した。Flashは2管球搭載型の装置であり、時間分解能に優れる。Aquilionは0.5 mm×320列（160 mm）の面検出器を搭載しており、心臓全体を1回転で撮影することが可能である。これら2装置のスキャン方式と心臓CT時に設定可能な管電流変調機構を図1に示す。modulation法は、各スキャン方式で設定可能である。また螺旋軌道スキャンの呼称について、SIEMENS社ではSpiral scan、東芝社ではHelical scanとしているため本稿でも同様の表記とした。

### 2-2. 同一装置で異なるスキャン方式における線量の変化

FlashではStep & shootおよびSpiral scan、AquilionではVolume scanおよびHelical scanを用いて20 cmΦ円柱ファントムをmodulation法にて撮影した。装置には心電図のデモモードから心拍数

CT装置	スキャン方式	管電流変調機構
Flash	Step & shoot	prospective gating ECG-modulation full scan
	Spiral scan	prospective gating ECG-modulation retrospective gating
Aquilion	Volume scan	prospective gating ECG-modulation full scan
	Helical scan	prospective gating ECG-modulation retrospective gating

図1. 本研究で使用したCT装置のスキャン方式と心臓CT時に設定可能な管電流変調機構

60 beats per minute (bpm) を与え、R-R間の65%~80%に必要最大線量を照射する設定とした。その他の心位相は各装置で設定可能な最小線量とした。この最小線量は必要最大電流値に対する低減率で設定することが可能で、本測定においてFlashではStep & shootが80%、Spiral scanが96%、AquilionではVolume scan、Helical scanともに80%とした。ファントムを撮影後、同一断面を心位相0%~99%で画像再構成し、ファントム中央部に設定した関心領域内の雑音標準偏差(SD値)から各心位相撮影時の相対線量や管電流変化に要する時間を推定した。

### 2-3. 各装置のmodulation法を用いた際の被曝低減効果

心機能解析などを検査目的とした場合、full scanやretrospective gating法が用いられる。これらの方法では管電流変調は行わず、全心位相に対し必要最大線量を照射する。full scan、retrospective gating法に対するmodulation法を用いた際の被曝低減効果を検討するため、各撮影時に装置に表示されたCTDI<sub>vol</sub>の値で比較した。

## 3. 結 果

### 3-1. 同一装置における各スキャン方式の線量挙動

#### 3-1-1. Flashにおける各スキャン方式の線量挙動

Flashにおける各スキャン方式の線量挙動の結果を図2に示す。両スキャン方式ともに、必要最大線量を照射するよう設定した心位相に対し、±5%程度幅を持たせて照射していた。また、必要最大線量照射中は両スキャン方式とも安定した出力を保持していた。設定線量までの立ち上がり、立下りに必要な時間はStep & shootのほうが短かった。また、低線量部における線量低減率については両スキャン方式とも設定値(Step & shoot: 80%, Spiral scan: 96%)を下回っていた。

#### 3-1-2. Aquilionにおける各スキャン方式の線量挙動

Aquilionにおける各スキャン方式の線量挙動の結果を図3に示す。Flash同様両スキャン方式と

心臓 CT 撮影における ECG-modulation 法の線量挙動

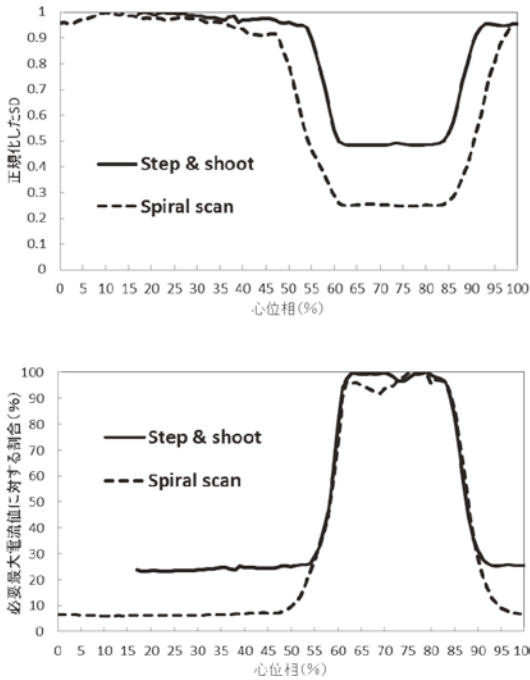


図 2. Flash における各スキャン方式の線量低減の挙動  
 上は各心位相画像の SD 値を最大 SD 値で正規化した結果  
 下は各心位相画像の SD 値から相対線量を推定した結果

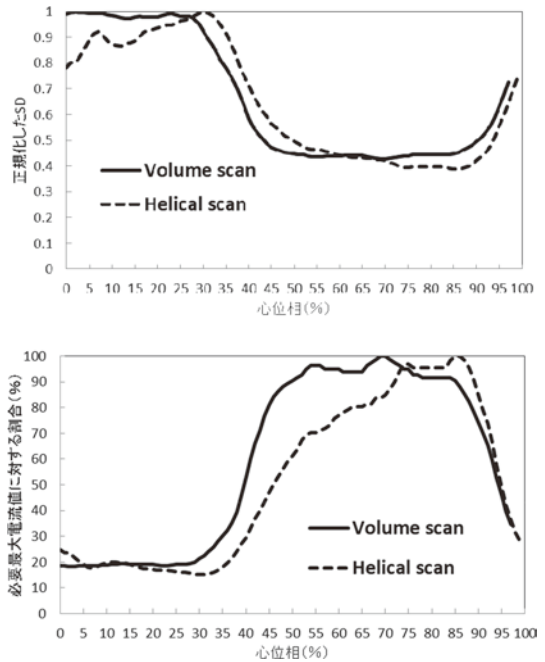


図 3. Aquilion における各スキャン方式の線量低減の挙動  
 上は各心位相画像の SD 値を最大 SD 値で正規化した結果  
 下は各心位相画像の SD 値から相対線量を推定した結果

もに、必要最大線量を照射するように設定した心位相に対し $\pm 10\%$ 程度幅を持たせて照射していた。Helical scan では必要最大線量照射中において出力のばらつきが見られた。設定線量までの立ち上がり、立下りに要する時間は両スキャン方式とも同程度であった。また、低線量部における線量低減率については両スキャン方式とも設定値 (Volume scan, Helical scan: 80%) に対し正確な挙動を示した。

3-2. 各装置における modulation 法を用いた際の被曝低減効果

3-2-1. Flash における modulation 法を用いた際の被曝低減効果

Flash について、各スキャン方式における modulation 法を用いた際の full scan, retrospective gating 法に対する被曝低減効果の結果を図 4 に示

す。両グラフともそれぞれ full scan, retrospective gating 法で撮影したときの  $CTDI_{vol}$  の値で正規化している。Step & shoot で撮影したときは full scan と比較して約 48% の  $CTDI_{vol}$  となり、Spiral scan で撮影したときは retrospective gating 法と比較して約 35% の  $CTDI_{vol}$  となった。

3-2-2. Aquilion における modulation 法を用いた際の被曝低減効果

Aquilion について各スキャン方式における modulation 法を用いた際の full scan, retrospective gating 法に対する被曝低減効果の結果を図 5 に示す。両グラフともそれぞれ full scan, retrospective gating 法で撮影したときの  $CTDI_{vol}$  の値で正規化している。Volume scan で撮影したときは full scan と比較して約 64% の  $CTDI_{vol}$  となり、Helical scan で撮影したときは retrospective gating

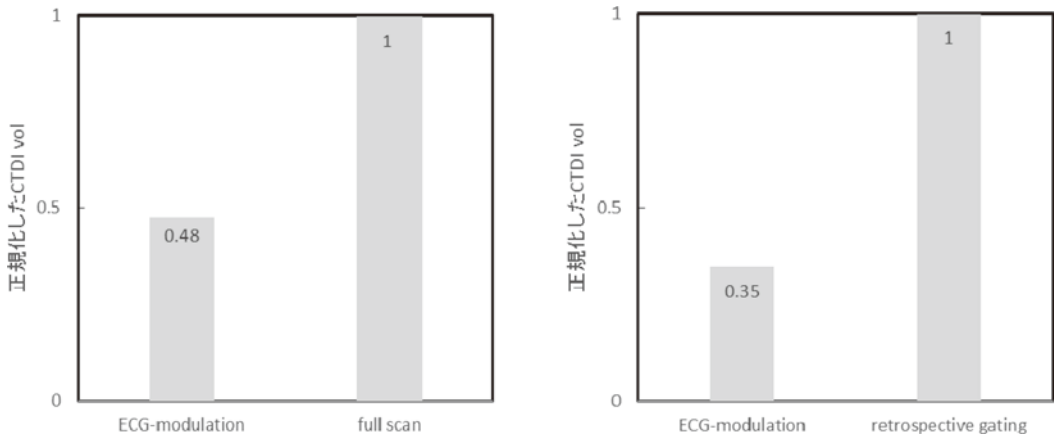


図4. Flashについて各スキャン方式における modulation法を用いた際の full scan, retrospective gating に対する線量低減効果  
左は Step & shoot  
右は Spiral scan

法と比較して約 71% の CTDI<sub>vol</sub> となった。

#### 4. 考 察

modulation 法において、管電流変調機構がユーザーの設定値どおりに動作しているのかを把握しておくことは患者の被曝を管理するうえで非常に重要である。本研究では各心位相撮影時の挙動に

加え、管電流変化に要する時間や出力のばらつきを検討した。より詳細に装置の特性を理解することで正確な被曝管理が可能となる。

両装置とも設定した心位相 (65%~80%) に対し、幅を持たせて必要最大線量を照射していた(図2, 図3)。不整脈症例の際は最適心位相で管電流が低くなり画像劣化をきたすことがある。心拍変

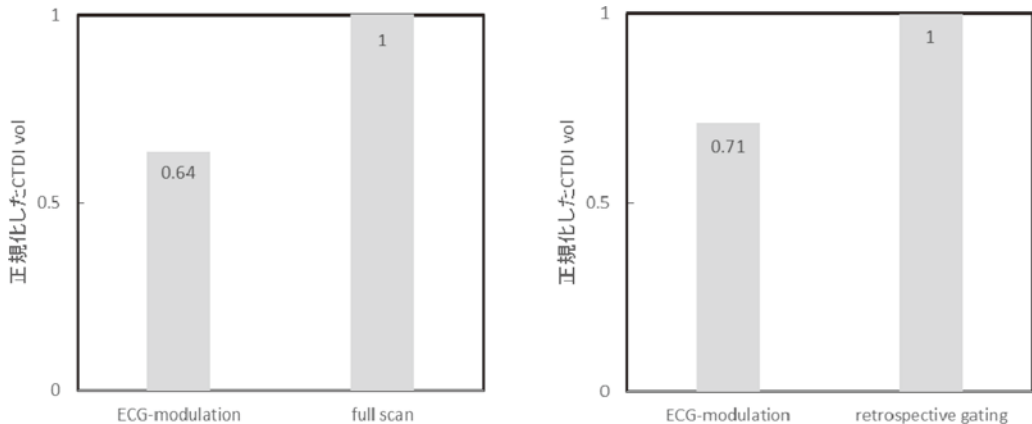


図5. Aquilionについて各スキャン方式における modulation法を用いた際の full scan, retrospective gating 法に対する線量低減効果  
左は Volume scan  
右は Helical scan

動症例においても診断に適した画像が得られるようにこのような設計になっているものと考ええる。

Flash における modulation 法で撮影したときの full scan, retrospective gating 法に対する被曝低減効果は Spiral scan のほうが優れる結果となった (図 4)。Step & shoot のほうが管電流の立ち上がり, 立下りに要する時間が短いにもかかわらずこのような結果になったのは低線量照射時の線量低減率が大きく影響したものと考えられる。この結果より, 低線量部の心位相で再構成した画像でも診断能がある程度確保できる環境にあるならば, modulation 法での心臓 CT は Spiral scan で撮影すべきである。

Aquilion における modulation 法で撮影したときの full scan, retrospective gating 法に対する被曝低減効果は Volume scan のほうが優れる結果となった (図 5)。Aquilion において低線量照射時の線量低減率は両スキャン方式で同じ値であるため full scan および retrospective gating 法に対する被曝低減効果も同等であるべきである。しかし, Helical scan において必要最大線量照射中に線量のばらつきが生じた結果, 被曝低減効果に差がでたものと考えられる。Helical scan を用いた心臓 CT は体軸方向にデータの欠損がないようにピッチファクタを小さく設定するため被曝線量は増加する<sup>7-9)</sup>。以上のことから modulation 法での心臓 CT は被曝低減効果に優れ, 設定した心位相で安定して最大線量を出力する Volume scan で撮影すべきである。

本研究では装置の制限により心拍数 60 bpm での検討しか行っていない。より高心拍な症例に対しては時間分解能の観点からスキャン回数や再構成法, ピッチファクタなど様々なパラメータが変化するため, より詳細な検討が必要である。また, 結果に示した  $CTDI_{vol}$  の値は装置の表示値であるため実臨床での撮影を完全に反映しているとはいえない。高精度の線量計と, より心臓に模したファントムを用いて高線量部における線量と画質の整合性の検討を今後の課題としたい。

## 5. 結 論

本研究では 2 種類の CT 装置において, 再構成画像の SD 値や装置に表示される  $CTDI_{vol}$  の値から modulation 法を用いた心臓 CT 時における線量の挙動について検討した。その結果, 必要最大線量を照射するよう設定した心位相と実際に照射している心位相との乖離がみられた。また, 管電流の立ち上がり, 立ち下がり特性や低線量部の線量低減効果についてスキャン方式で差が生じることを明らかにした。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり, ご理解ご協力をいただいた東北大学病院診療技術部放射線部門諸兄に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Mettler, F.A., Huda, W., Yoshizumi, T.T., Mahesh, M. : Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine : a catalog, *Radiology*, **248**(1), 254-263, 2008
- 2) Primak, A.N., McCollough, C.H., Bruesewitz, M.R., Zhang, J., Fletcher, J.G. : Relationship between noise, dose, and pitch in cardiac multi-detector row CT, *Radiographics*, **26**(6), 1785-1794, 2006
- 3) Shuman, W.P., Branch, K.R., May, J.M., Mitsumori, L.M., Lockhart, D.W., Dubinsky, T.J., Warren, B.H., Caldwell, J.H. : Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries : comparison of image quality and patient radiation dose, *Radiology*, **248**(2), 431-437, 2008
- 4) Huang, B., Li, J., Law, M.W., Zhang, J., Shen, Y., Khong, P.L. : Radiation dose and cancer risk in retrospectively and prospectively ECG-gated coronary angiography using 64-slice multidetector CT, *Br. J. Radiol.*, **83**(986), 152-158, 2010
- 5) Einstein, A.J., Henzlova, M.J., Rajagopalan, S. : Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography, *JAMA*, **298**(3), 317-323, 2007
- 6) 児玉和久, 栗林幸夫, 小室一成 : 即戦力 心臓 CT 実践ガイド, 診断と治療社, 東京, 2011, 17-18
- 7) Hirai, N., Horiguchi, J., Fujioka, C., Kiguchi, M., Yama-

- moto, H., Matsuura, N., Kitagawa, T., Teragawa, H., Kohno, N., Ito, K. : Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography : assessment of image quality, stenosis, and radiation dose, *Radiology*, **248**, 424-430, 2008
- 8) 児玉和久, 栗林幸夫, 小室一成 : 即戦力 心臓 CT 実践ガイド, 診断と治療社, 東京, 2011, 110-111
- 9) 佐野始也, 松谷英幸, 近藤武, 藤本信一郎, 関根貴子, 新井雄大, 森田ひとみ, 高瀬真一 : 320 列面検出器 CT を用いた前向き心電図同期冠動脈撮影の心拍数別撮影プロトコルにおける被ばくと画質の検討, *日本放射線技術学会雑誌*, **67**(11), 1398-1407, 2011