

冠動脈 CT におけるフル再構成法を用いた 被ばく線量および画質改善効果の検討

柴田大輔・外山 宏

(藤田保健衛生大学大学院医学研究科・放射線医学教室)

1. 緒 言

近年、冠動脈造影 CT angiography (CTA) 検査は虚血性心疾患の診断ツールとして広く普及しており、狭窄率の評価だけでなく 3 次元的情報や血管壁プラークの性状等の情報が得られる検査として有用性が評価されている¹⁻⁴。

これまで冠動脈 CT 検査においては、動体を撮影するという特性のため一般的にハーフ再構成法が用いられてきた⁵。同方法は管球一回転のうち約 180° 分のデータを用いるため時間分解能に優れるが、360° 分の全投影方向データを利用するフル再構成法と比較してデータ量の減少による画像劣化が避けられない。フル再構成法を用いる事で画像の均一性向上や管球位置依存性のアーチファクト軽減が期待できるが、このメリットよりも時間分解能の低下によるモーションアーチファクトの影響が大きいため、これまで一般的には実用化されてこなかった。

320 列 area detector computed tomography (ADCT) の最新機種である Aquilion ONE Vision edition (東芝メディカルシステムズ社製) では、管球の最高回転速度が一回転あたり 0.275 秒と従来より高速化したことにより時間分解能が改善しており、低心拍時ではフル再構成法が利用可能とされている⁹。

フル再構成法を用いる事で、ハーフ再構成法を用いる場合と同等の standard deviation (SD) を保つために必要となる線量が低減できるとの報告があるが⁹、視覚的な画質改善効果についての報告は、我々の知る限りこれまで見られていない。

本検討では、フル再構成法における被ばく低減効果および画質改善効果について検討した。

2. 方 法

本研究は、本大学の疫学・倫理審査委員会の承認を得て行った。

2-1 対 象

本大学病院にて 2012 年 6 月から 2012 年 12 月までの間に 320 列 ADCT を用いて冠動脈 CTA を施行した連続 252 例中、整脈かつ心拍数が 50 回/分以下であった 50 症例を対象とし、フル再構成群とハーフ再構成群それぞれ無作為で交互に各 25 例ずつに振り分けて検討を行った。

2-2 使用機器および撮影条件

CT 装置は Aquilion ONE Vision edition を使用した。

撮影条件は 2 群間で線量設定以外は同等とした。フル再構成法群の線量設定は管電圧 120kV または 135kV で、管電流は automatic exposure control (AEC)¹⁰ 機能を用いて指定画像ノイズの Stantard Deviation (SD) 値を 32.5 とした (250 ~ 580mA)。ハーフ再構成法群の線量設定は管電圧 120kV または 135kV で、管電流は AEC 機能を用いて指定 SD を 27.5 とした (200 ~ 750mA)。スキャン方法は管球と寝台の位置移動無しに撮影を行うノンヘリカルスキャンを使用し、管球回転時間は 0.275 秒/回転とした。Prospective CTA モード¹¹を使用し、心電図同期撮影における曝射心位相は R-R 間隔の 70-80% を基本とした。撮影範囲 (撮影列数) は、直前に撮影したカルシウムスコア測定用の単純 CT 画像を参照して冠動脈起始部から末梢までを含めた最小限の範囲で設定した。撮影スライス厚は 0.5 mm、画像スライス厚は 0.5mm、再構成間隔は 0.25mm とした。

2-3 造影プロトコルおよび前処置

造影剤はヨード濃度 300 または 370mgI/mL を使用した。造影剤使用量は 20.4mgI/kg/秒、注入時間は 12 秒を基準とし、生理食塩水 20mL で後押しした。造影剤注入開始の 13 秒後から bolus tracking 法¹²でのスキャンを開始し、上行大動脈の CT 値が 150 Hounsfield Unit (H. U.) に達した時点で本スキャンを開始した。

禁忌がない限り撮影前処置として、評価可能な冠動脈セグメントを増加させる目的で硝酸イソソルビド（ニトロールスプレー®）の舌下噴霧を全例に、心拍数コントロールの目的でランジオリール塩酸塩（コアベータ®）の静注を必要に応じて行った。

2-4 検討項目

1) 2群間で被ばく線量および画質に影響し得る背景因子についての差異が無いかを検討した。

2) 2群間で被ばく線量の指標となるCT Dose Index (CTDI), dose length product (DLP) について比較した。

3) 2群間で画質の視覚的評価を比較した。鮮鋭性、シャワー状アーチファクト、画像ノイズの3項目について、放射線科医師3名（放射線診断経験20年目、7年目、3年目）により、良（3点）、可（2点）、不可（1点）の三段階で個別に評価を行った。鮮鋭性については血管辺縁の形状がより鮮明となるものを高得点として評価した。シャワー状アーチファクトは椎体から線状に延びる偽像が少ないものを高得点として評価した。画像ノイズについては視覚的に画像のざらつきが少ないものを高得点として評価した。

2-5 統計学的処理

2群間での背景因子および被ばく線量、評価点の比較はいずれも wilcoxon's signed-rank test により検定を行い、有意水準は5%とした。

3. 結果

3-1 背景因子の比較

性別、体重、心拍数、撮像範囲など画質に影響し得る背景因子についてはいずれも2群間で有意差を認めなかった（表1）。

3-2 被ばく線量の比較

CTDIvol はハーフ再構成群で12.0 (9.15-16.0) mGy, フル再構成群で11.3 (6.0-14.1) mGy, DLP はハーフ再構成群で151.7 (113.4-198.1) mGy・cm, フル再構成群で136.2 (71.6-185.1) mGy・cmと、CTDIvol およびDLPのいずれにおいても有意差が無かった（図1、表2）。

3-3 画質評価の比較

鮮鋭性の評価点はハーフ再構成群で3.0 (2.0-3.0), フル再構成群で3.0 (3.0-3.0) であり有意差を持ってフル再構成群が高得点を示した ($P=0.0015$)。シャワー状アーチファクトの評価点はハーフ再構成群で2.0 (2.0-2.0), フル再構成群で3.0 (3.0-3.0) であり有意差を持ってフル再構成群が高得点を示した ($P<0.0001$)。画像ノイズの評価点はハーフ再構成群で2.0 (2.0-3.0), フル再構成群で3.0 (3.0-3.0) であり有意差を持ってフル再構成群が高得点を示した ($P<0.0001$)。いずれの

表1 二群間における患者背景因子の比較

	ハーフ再構成群	フル再構成群	
性別	男性:20人, 女性5人	男性:20人, 女性5人	
体重	62.0(51.0-63.5)	63.0(53.0-69.0)	0.3926
年齢	68(62-75)	72(63-76)	0.7633
心拍数	47.4(45.9-49.0)	47.0(45.0-48.0)	0.4251
撮像範囲	120(120-128)	120(120-128)	0.7645
	median (IQR)	median (IQR)	P値

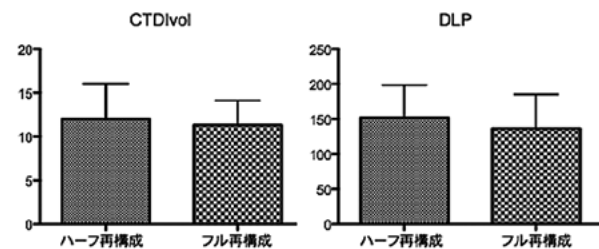


図1 二群間における被ばく線量の比較
CTDIvol および DLP のいずれにおいても有意差は無い。

表2 二群間における被ばく線量の比較

	ハーフ再構成群	フル再構成群	
CTDI	12.0(9.15-16.0)	11.3(6.0-14.1)	0.0951
DLP	151.7(113.4-198.1)	136.2(71.6-185.1)	0.1036
	median (IQR)	median (IQR)	P値

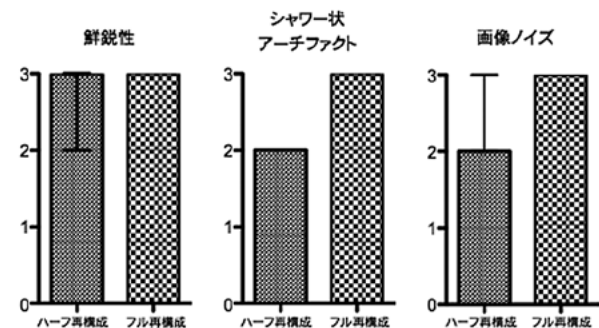


図2 二群間における画質評価の比較
いずれの評価項目についてもフル再構成群が有意差を持って高得点である。

表3 二群間における画質評価の比較

	ハーフ再構成群	フル再構成群	
鮮鋭性	3.0(2.0-3.0)	3.0(3.0-3.0)	0.0015
シャワー状アーチファクト	2.0(2.0-2.0)	3.0(3.0-3.0)	<0.0001
画像ノイズ	2.0(2.0-3.0)	3.0(3.0-3.0)	<0.0001
	median (IQR)	median (IQR)	P値

評価項目についてもフル再構成群が有意差を持って高得点であった（図2、表3）。

4. 考 察

冠動脈造影 CT において、線量を低減させたプロトコルで撮影しフル再構成法により作成した画像と、従来通りの線量で撮影しハーフ再構成により作成した画像の二群間で、被ばく線量および画質について比較検討を行った。被ばく線量については2群間の比較で有意な差異が無かったが、フル再構成法を用いる事で、画質が有意に改善されることが明らかとなった。

被ばく線量については、撮影時の線量設定を下げているにもかかわらず、2群間の比較において有意な差が得られなかった。線量設定および被ばく線量に影響し得る患者要因として、性別、体重、心拍数、撮像範囲などの条件に差異は無かったが、今回検討に含めていない曝射時間の差異は検討の余地が残る。機器の設定上、曝射時間は指定された曝射心位相を基に、撮影心拍の直前2心拍から曝射開始および停止のタイミングを決定するため、撮影直前の心拍変動が大きい場合は想定以上に長い曝射になる可能性があると考えられた。本検討では撮影前の心拍を記録しておらず検証できなかったが、偶発的な要因ではあるも被ばく線量を左右する可能性があり、今後の追加検討も必要と考える。また、今後症例数を重ねることで有意差が得られるかもしれない。いずれにしても、画質の劣化を伴う事無く撮影時の線量が低減させられているので、同法は被ばく低減の一助となることが期待される。

画質評価の比較では、いずれの項目においても有意差を持ってフル再構成が高得点であったが、鮮鋭性については他の項目に比して二群間の差異がやや小さかった。これは、血管辺縁の形態を規定する因子として、画像データ量の増加による画質改善効果に反して、フル再構成法の弊害であるモーションアーチファクトが少なからず影響した可能性を考えた。シャワー状アーチファクトについてはフル再構成群で有意に高得点であったが、これは画像再構成法の差異およびアーチファクトの原理に矛盾しない結果であった。画像ノイズについては、佐野らの検討では線量を半減させた撮影において、フル再構成画像とハーフ再構成画像でノイズの定量値に差が無いとしているが、本研究では線量を三割減としており、得られたフル再構成画像の優位性は予想される結果に矛盾のないものであった。加えて、定量値のみならず視覚的な画質改善効果も示されたとと言える。

5. 結 語

低心拍症例における冠動脈造影 CT において、フル再構成法を用いる事で、線量設定を低下させつつ撮影画質を改善させることができた。

謝 辞

本研究に際し、貴重な症例を提供して頂いた藤田保健衛生大学循環器内科教室、心臓血管・呼吸器外科教室の皆様へ深謝致します。冠動脈 CT 検査に際し、御協力と奨励を賜りました藤田保健衛生大学 放射線医学教室、病院放射線部の皆様へ感謝致します。

文 献

- 1) Budoff MJ, Liu S, Chow D, Flores F, Hsieh B, Gebow D, DeFrance T, and Ahmadi N : Coronary CT angiography versus standard of care strategies to evaluate patients with potential coronary artery disease ; effect on long term clinical outcomes. *Atherosclerosis*. 2014 ; 237 : 494 – 498.
- 2) van Velzen JE, Schuijff JD, de Graaf FR, Boersma E, Pundziute G, Spanó F, Boogers MJ, Schalij MJ, Kroft LJ, de Roos A, Jukema JW, van der Wall EE, and Bax JJ : Diagnostic performance of non-invasive multidetector computed tomography coronary angiography to detect coronary artery disease using different endpoints : detection of significant stenosis vs. detection of atherosclerosis. *Eur. Heart J.* 2011 ; 32 : 637 – 645.
- 3) Tomizawa N, Hayakawa Y, Nojo T, and Nakamura S : Improving the diagnostic performance of the real world coronary computed tomography angiography including uninterpretable segments. *Int. J. Cardiol.* 2014 ; 176 : 975 – 979.
- 4) Motoyama S, Kondo T, Anno H, Sugiura A, Ito Y, Mori K, Ishii J, Sato T, Inoue K, Sarai M, Hishida H, and Narula J : Atherosclerotic plaque characterization by 0.5-mm-slice multislice computed tomographic imaging. *Circ. J.* 2007 ; 71 : 363 – 366.
- 5) Abbbara S, Arbab-Zadeh A, Callister TQ, Desai MY, Manuwa W, Thomson L, and Weigold WG : SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography : a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2009 ; 3 : 190 – 204.
- 6) 堀内哲也, 中西 知, 秋野成臣 : X線コンピュータ断層撮影装置. 公開 2013-166018 号. 2013 ; 8 – 29.
- 7) Yang CK, Orphanoudakis SC, and Strohhenn JW : A simulation study of motion artifacts in computed tomography. *Phys. Med. Biol.* 1982 ;

- 27 : 51 – 61.
- 8) Saito H, Watabe N, Nitta T, Takahashi S, and Sakamoto K : Motion Artifact on Chest Computed Tomogram : Full Scan Versus Half Scan. *Nippon acta radiologica*. 1994 ; 54 : 340 – 344.
 - 9) 佐野始也, 松谷英幸, 近藤 武, 藤本進一郎, 高村和久, 関根貴子, 新井雄大, 森田ひとみ, 高瀬真一 : 低管電流撮影・フル再構成による前向き心電図同期 320 列面検出器 CT 冠動脈血管造影. 日放線技会誌. 2013 ; 69 : 244 – 250.
 - 10) 白坂 崇, 船間芳憲 : 64 列 MDC を用いた CT-AEC における設定最大管電流の影響 : 線量低減率と画像ノイズの変動との関係. 日放線技会誌. 2009 ; 65 : 295 – 300.
 - 11) 山口隆義, 井田義宏, 石風呂実 : 心臓 CT. 医療科学社, 東京. 2012 ; pp.5 – 7.
 - 12) 山口隆義, 高橋大地 : 新しい造影方法である test bolus tracking 法の開発と冠状動脈 CT 造影検査における有用性について. 日放線技会誌. 2009 ; 65 : 1032 – 1040.

(平成 27 年 8 月 8 日受理)