

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：31201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21591576

研究課題名（和文） 320列面検出器型CTを用いた超低侵襲心臓画像診断法の開発

研究課題名（英文） Development of the less invasive cardiac imaging method using 320-detector row CT

研究代表者

吉岡 邦浩（YOSHIOKA KUNIHIRO）

岩手医科大学・医学部・准教授

研究者番号：70210648

研究成果の概要（和文）：

320列面検出器型CTによる「前向き心電図同期撮影法による1心拍撮影」を用いることで、低被ばくの心臓撮影が可能であることを明らかにした。本法を冠動脈ステントが留置された102例を対象として調査したところ、ステント内再狭窄の診断精度は感度100%、特異度87.8%で、実効線量は約4.8 mSvであった。また、逐次近似再構成法を用いればさらに約32%の被ばく低減が可能であった。また、本法を応用したサブトラクション冠動脈CTを高度石灰化症例に対して試みた。

研究成果の概要（英文）：

We developed the low radiation dose cardiac imaging method by “single-beat scan with prospective ECG-gating” using a 320-detector row CT. The diagnostic accuracy of this method for coronary in-stent restenosis was 100% of sensitivity, specificity 87.8% in consecutive 102 patients, and the effective radiation dose was approximately 4.8 mSv. We could reduce approximately 32% of radiation dose if we use the adaptive iterative reconstruction method. We tried the subtraction coronary CT using this technique for the patients who had severe coronary artery calcifications.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：放射線・循環器・高血圧・臨床・CT

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 心臓CTの急速な普及 マルチスライスCTが64列まで多列化した時点で、心臓CT、特に冠動脈CTは狭窄性病変の診断精度が高いことが明らかになり、虚血性心疾患における非侵襲的診断法の一つとして急速に

普及するに至った。日本循環器学会による循環器疾患診療実態調査報告書によると、2010年には約35万件もの冠動脈CTが施行されている。同じ年に行われた侵襲的な冠動脈造影が約50万件であったことを考えると、冠動脈CTがいかに広く普及したかが分かる。

(2) 心臓 CT の被ばく その一方で、心臓 (冠動脈) CT は放射線被ばくが多いことが指摘されている。具体的には標準的な撮影法を用いた場合には実効線量で 10~30 mSv (ミリシーベルト) といわれ、侵襲的な冠動脈造影の実効線量 (3~6 mSv) と比較して数倍~10 倍であり、若年女性では乳がんの発生リスクすら警告されている。

(3) 心臓 CT の被ばく以外の問題点 冠動脈 CT は高度な石灰化が存在する場合、評価不能となったり、診断精度が低下することも大きな問題点である。このため高齢者や人工透析、糖尿病患者では冠動脈 CT の適応外となっている。

(4) 超低侵襲心臓 CT への期待 このような背景から、診断精度を保ちつつ可及的に被ばくが少なく、かつ高度石灰化を有する症例にも適応が可能な撮影法の開発が求められていた。

## 2. 研究の目的

(1) Beyond 64 列 CT の一つである 320 列面検出器型 CT を用いて、極めて被ばくの少ない超低侵襲心臓画像診断法を開発する。具体的には 1 年間に受ける自然放射線と等しい 1~2 mSv 程度の被ばくで、冠動脈 CT が可能となることを目標とする。

(2) その超低侵襲画像診断法を応用することで、現在の冠動脈 CT では除外されている高度石灰化を有する症例にも対応できる撮影法を研究開発する。

## 3. 研究の方法

(1) 320 列面検出器型 CT による心臓撮影法の基礎的検討 心臓動態ファントムと冠動脈モデルを用いて以下に示すような撮影法の実験を行い、画質と被ばくの検討を行う。

①CTA-CFA (CT angiography-Cardiac function analysis) 法 従来の 64 列 CT の標準的なヘリカルスキャンを用いた心臓撮影法に相当する。

②前向き心電図同期法 予め設定された心位相にのみエックス線の照射を行う方法。適切な心位相の時間帯 (padding) を明らかにする。これには 1 回の撮影で half 再構成法を用いた場合と複数撮影で segment 再構成法を用いた場合とを想定する。

(2) 臨床例での検討 基礎実験で得られた結果を元に臨床応用を行う。具体的には、学内倫理委員会間の承認を得て、冠動脈ステントが留置され、その経過観察を目的に侵襲的な冠動脈造影が予定された症例のうち、冠動脈 CT 実施のインフォームドコンセントが得られた症例を対象とする。そして、次の点について検討を加える。症例数は 100 例を目標とする。

①低被ばく撮影法が可能な症例の率

②その場合の被ばく線量

③使用した造影剤量

④冠動脈 CT の診断精度

冠動脈 CT の実施と解析は研究代表者 (放射線診断専門医: 経験 25 年) もしくは連携研究者 (放射線診断専門医: 経験 20 年) が行う。侵襲的な冠動脈造影は循環器専門医によって施行、診断されたデータを利用する。

(3) 新しい画像再構成法の検討 従来の CT では filtered back projection (FBP) 法を用いた画像再構成法が用いられてきたが、新たに開発された逐次近似画像再構成法と 320 列面検出器型 CT による低被ばく撮影法を組み合わせることで、どの程度の被ばく低減が可能かを明らかにする。逐次近似画像再構成法には数種類の強度 (FBI 法との混合の度合い) が選択可能なので、心臓 (冠動脈) に適した強度も明らかにする。

(4) 高度石灰化症例への対策 高度石灰化への対応としてサブトラクション法と Dual energy 法が候補となるが、320 列面検出器型 CT の特徴を活かすことのできるサブトラクション法を第一選択として検討する。サブトラクション法では原理的に 2 回の撮影が必要となるため被ばくの増加が懸念される。従って、可及的に少ない被ばくで撮影が可能な方法を研究するとともに、具体的にどの程度の被ばくが必要となるかを明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 心臓撮影法の基礎的検討 心臓動態ファントムと冠動脈モデルを用いた検討では、「前向き心電図同期法による 1 心拍撮影」を用いれば被ばくは 5 mSv 未満、即ち 64 列 CT での標準的な撮影法と比較して 1/3~1/5 未満になることが判明した。さらに適切な撮影範囲の設定 (例えば、320 列全ての範囲を使用せずに、中心部の 256 列のみを使用する等) によってさらに被ばくの低減が可能であった。加えて、バンディングアーチファクトや blurring artifact 等のヘリカルスキャンに起因する画質劣化が無いことが確認できた。その一方、本撮影法ではフォトン数の減少によるノイズの増加認められた。それは、ヘリカルスキャンと比較して標準偏差で 20% 程度であった。また、この撮影法を用いるためには心拍数が 65 bpm 以下であることが必要条件であるので、実際の臨床例での使用に当たっては、β ブロッカーの使用等の前処置が必要なる場合も想定された。

(2) 臨床例での検討 臨床例での検討に先立ち、学内倫理委員会の承認を得た。研究計画に従い、冠動脈ステントが留置され、その経過観察のために侵襲的な冠動脈造影が予定された症例のうち、冠動脈 CT 実施のインフォームドコンセントが得られた 102 例を対

象とした。

①「前向き心電図同期法による1心拍撮影」が可能であったのは81例(79.4%)であった(図1)。適応ができなかった原因は心房細動等の不整脈と頻脈であった。

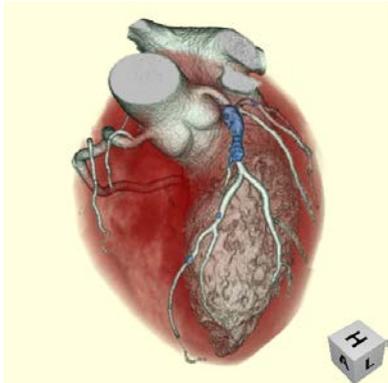


図1 「前向き心電図同期法による1心拍撮影」で得られた画像(Volume rendering法) 左前下行枝に留置された冠動脈ステントを青色で表示している。

②被ばく線量 本法における被ばく線量は、DLPe (effective dose length product)で平均 $330 \pm 111$  mGycm、実効線量で $4.8 \pm 1.6$  mSvであった。

③使用造影剤量 高濃度ヨード造影剤(370 mgI/mL)を $33.8 \pm 7.9$  mL使用した。

④診断精度 ステント内再狭窄の診断能は、侵襲的な冠動脈造影をgold standardとした場合、感度100%、特異度87.8%、陽性的中率56.7%、陰性的中率100%であった(図2)。

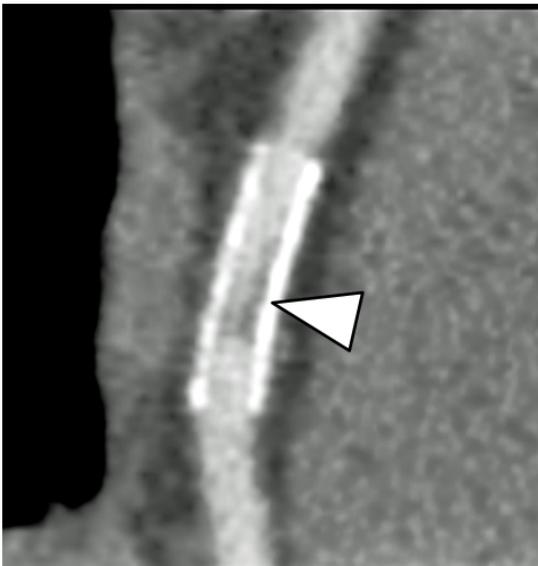


図2 ステント内再狭窄

右冠動脈のcurved planar reformation画像。ステント内部に帯状の造影欠損域が認められる(矢頭)。ステント内再狭窄の典型像である。

(3)新しい画像再構成法の検討 逐次近似再構成法の一つであるAdaptive Iterative Dose Reduction 3D (AIDR 3D)を用いた。AIDR 3Dではweal, mild, standard, strongの4種類の再構成法が用意され、後者ほど被ばくを低減できる。一方で、後者ほど画質が劣化する(画質がステンドグラス状にボケる)。代表研究者と連携研究者で画質を検討した結果、standardが最も適切と判定された。従来のFBI法と同等の標準偏差(SD)を得ることを条件とした場合の管電流は、FBI法が $490 \pm 173$  mAに対して、AIDR 3Dでは $326 \pm 91$  mAで、約32%の低減が可能であることが判明した。この方法と「前向き心電図同期法による1心拍撮影」とを組み合わせることで1~3 mSvでの冠動脈CTが可能となった(図3)。

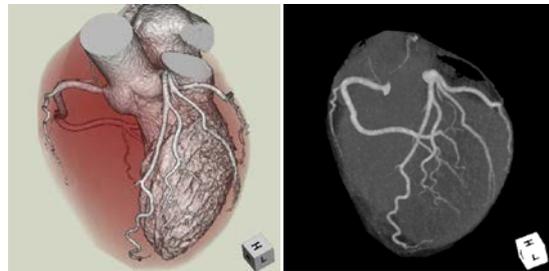
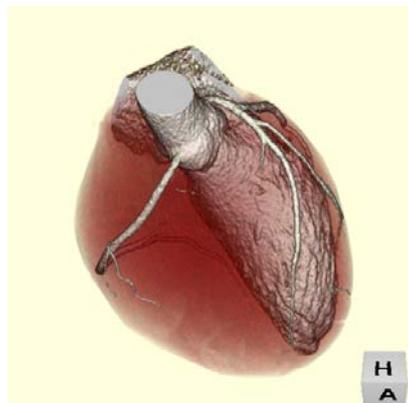


図3 「前向き心電図同期法による1心拍撮影」とAIDR 3Dを組み合わせた低被ばく冠動脈CT

左: volume rendering 画像、右: Maximum intensity projection 画像

本症例ではDLPe=85.1 mGycmで実効線量は1.19 mSvであった。

また、標準的な体型であれば1 mSv未満の撮影も可能であることが判明し、若年女性の検査に特に有用と考えられた(図4)。

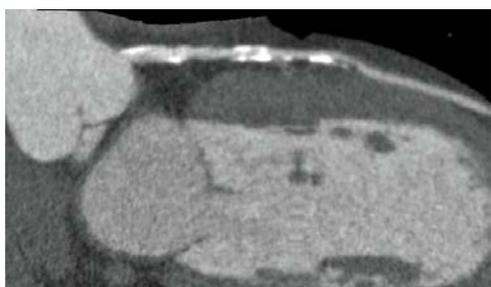


(図4)前向き心電図同期法による1心拍撮影」とAIDR 3Dを組み合わせによる超低被ばく冠動脈CT(実効線量:0.45 mSv)

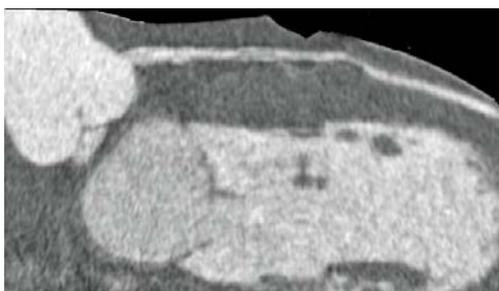
Volume rendering 画像。症例は30歳代、女性。撮影条件は120 kV, 70 mA, 280列、

padding 73-77 %で、DLPe=32.5 mGycmで、実効線量は0.45 mSvである。

(4) 高度石灰化への対応 学内倫理委員会の承認を受けた後に高度石灰化症例に対してサブトラクションCTを施行した。しかし、最終年度から研究を開始したので、被ばくの検討等のpreliminaryな段階で研究期間が終了した。サブトラクションCTでは、単純CTと造影CTの2回の撮影が必要となるため、被ばくは単純に2倍となった。サブトラクションCTの被ばくは、最大で12.3 mSvであった(主な発表論文等の雑誌論文(2)を参照)。今後はAIDR 3Dを組み込むことで被ばくの低減について研究を継続したい。



A



B

図5 サブトラクション冠動脈CT  
A:通常の冠動脈CT 左前下行枝の curved planar reformation 画像 近位部に結節状の強い石灰化が多発している。  
B:サブトラクション冠動脈CT 左前下行枝の curved planar reformation 画像 石灰化は除去されている。被ばく線量は9.6 mSv(単純CT:4.8 mSv、造影CT:4.8 mSv)。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

(1) Yoshioka K, Tanaka R (他1名, 1番目と2番目): Subtraction coronary CT angiography for calcified lesion. *Cardiol Clin* 30: 93-102. 2012. (査読あり)

(2) Yoshioka K, Tanaka R: Subtraction coronary CT angiography for the evaluation of severely calcified lesions using a 320-detector row scanner. *Curr Caridovasc*

*Imaging Rep* 4: 437-446, 2011. (査読あり)

(3) Yoshioka K (他3名, 3番目): Papillary fibroelastoma of the aortic valve visualized by 320-slice computed tomography: report of a case. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 17: 518-520, 2011. (査読あり)

(4) Yoshioka K (他24名, 21番目): Diagnostic performance of combined noninvasive coronary angiography and myocardial perfusion imaging using 320 row detector computed tomography: design and implementation of the CORE320 multicenter multinational diagnostic study. *J Cariovasc Comput Tomogr* 5: 370-381, 2011. (査読あり)

(5) Yoshioka K, Tanaka R (他2名, 1番目と2番目): Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz via the thoracodorsal artery with multi-slice computed tomography angiography. *Eur J Cardiothorac Surg* 37: 1234, 2010. (査読あり)

(6) 吉岡 邦浩 (他5名, 6番目): 320列マルチスライスCTによる冠動脈ステント内狭窄の評価. *岩手医誌* 62: 237-245, 2010. (査読あり)

(7) 吉岡 邦浩: 冠動脈CTによる石灰化病変の検出と臨床的意義. *呼と循* 58: 463-469, 2010. (査読なし)

(8) 吉岡 邦浩: マルチスライスCTによる冠動脈狭窄の診断. *心臓* 42: 41-417, 2010. (査読無し)

(9) 吉岡 邦浩 (他21名, 15番目): 循環器病の診断と治療に関するガイドライン. 冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン. *Circ J* 73, Suppl. III: 1019-1089, 2009. (査読有り)

(10) 田中 良一, 吉岡 邦浩: 心臓CTの技術進歩と臨床にもたらす影響: 320列CTの特徴と臨床的有用性. *INNERVISION* 24: 9-11, 2009. (査読無し)

[学会発表] (計10件)

(1) 吉岡 邦浩: 動脈硬化の診断の進歩 MDCT, 第46回糖尿病学の進歩, 2012年3月2日, 盛岡市.

(2) 吉岡 邦浩: 冠動脈イメージング最前線 冠動脈の形態とプラークを診る CT, 第31回日本画像医学会, 2012年2月17日, 東京都.

(3) 吉岡 邦浩: 新しいアルゴリズムによる冠動脈のサブトラクションCTA: 高度石灰化症例における検討, 第70回日本医学放射線学会, 2011年5月9日~20日, Web開催.

(4) 吉岡 邦浩: 冠動脈疾患を診断・管理

する 予後改善を目的として CT, 第 30 回日本画像医学会, 2011 年 2 月 18 日, 東京都.

(5) 吉岡 邦浩: 冠動脈のサブトラクションCTA: 高度石灰化症例における検討, 2010 年 4 月 10 日, 横浜市.

(6) Tanaka R: Image quality assessment of 320-row CT in coronary CT angiography, the analysis with cardiac phantom, European Congress of Radiology 2010. 4-8/Mar/2010, Vienne, Austria.

(7) 吉岡 邦浩: Single beat coronary angiography using 320-row CT, 第 74 回日本循環器学会総会, 2010 年 3 月 7 日, 京都市.

(8) 吉岡 邦浩: 高齢者心大血管、石灰化、粥腫病変の診断について, 第 40 回日本心臓血管外科学会総会, 2010 年 2 月 14 日, 神戸市.

(9) 吉岡 邦浩: 冠動脈病変のスクリーニング: MDCT (石灰化スコアを含めて), 第 20 回日本心臓血管画像動態学会, 2010 年 1 月 16 日, 東京都.

(10) 吉岡 邦浩: 心臓領域における MDCT の最先端: 320 列 CT による心臓 CT の実際, 第 57 回日本心臓病学会, 2009 年 9 月 19 日, 東京都.

[図書] (計 6 件)

(1) 吉岡 邦浩, 田中 良一, 中外医学社, CT 冠動脈造影実践学, 2010 年, 28-32.

(2) 吉岡 邦浩, 西村書店, 循環器病学 基礎と臨床, 2010 年, 213-220.

(3) 吉岡 邦浩, 田中 良一, 産業開発機構, 心臓血管画像 MOOK 3, 2010 年, 19-21.

(4) 吉岡 邦浩, 田中 良一, 中山書店, 心臓血管 CT パーフェクトガイド, 2010 年, 51-55.

(5) 吉岡 邦浩, メジカルビュー社, 心臓 CT を活かす新しい冠動脈疾患診断戦略, 2010 年, 77-80.

(6) 吉岡 邦浩, 田中 良一, 文光堂, 心臓 CT 3, 2009 年, 8-13.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉岡 邦浩 (YOSHIOKA KUNIHIRO)

岩手医科大学・医学部・准教授

研究者番号: 70210648

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

田中 良一 (TANAKA RYOICHI)

岩手医科大学・医学部・講師

研究者番号: 30393218