

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24591778

研究課題名(和文) 心臓4次元CTを導入した心拍動下冠動脈バイパス術前ナビゲーション・システムの開発

研究課題名(英文) Four-dimensional CT for off-pump coronary artery bypass grafting surgery

研究代表者

宇都宮 大輔 (Utsunomiya, Daisuke)

熊本大学・生命科学研究部・特任准教授

研究者番号：30571046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：4次元心臓CTの臨床応用を遮っている原因は全ての心拍動周期のデータを取得しなければならぬため放射線被ばく量が大きくなり、乳腺や肺の発癌リスクが心配されることである。我々は新しいCTの画像作成技術(逐次近似画像再構成)を用いて低放射線被ばく撮像に成功し、侵襲性の低い4次元CTの施行を可能とした。これにより冠動脈手術の術前および術後の心臓の動いている様子を評価可能となった。これは特に心拍動下に行う冠動脈バイパス術に有効で、術前には吻合すべき血管の情報を、術後にはバイパス血管開存を的確に心臓外科医に伝えることができるようになり、冠動脈疾患の安全で適切な管理が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Evaluation of dynamic cardiac motion is available by four-dimensional (4D) cardiac CT, but it causes higher radiation dose in the breast and lung because it needs all cardiac-phase CT data. We applied the new technique of iterative CT image reconstruction on 4D cardiac CT, resulting in low-radiation dose 4D cardiac CT. This new technique made it possible to observe the dynamic movement of the heart before and after the cardiac surgery. This method is useful especially for the off-pump coronary artery bypass grafting surgery, and the surgeons perform preoperative simulation. Also, it is useful for post-operative evaluation of graft patency. The 4D cardiac CT with lower radiation dose is helpful for safe and appropriate patient management with coronary artery disease.

研究分野：放射線科

キーワード：マルチスライスCT 画像再構成

1. 研究開始当初の背景

64列マルチスライスCT(MSCT)と心電同期テクニックを用いた心臓CTにより非侵襲的に心臓および冠動脈が描出することが可能となり、その良好な画質の面からも冠動脈疾患をはじめとする心疾患の非侵襲的評価の手法として世界中で広く用いられるようになってきた。本邦では平成21年に日本循環器病学会、日本医学放射線学会等の合同で「冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン(JCS2009)」がまとめられ、MSCTを用いた心臓CTはその中心的役割を担うことが明記されることとなった。

冠動脈バイパス術は冠動脈の病変形態にかかわらず完全血行再建が可能であり、冠動脈疾患の治療として重要である。近年は人工心肺を用いずに心拍動下で行う冠動脈バイパス術も行われるようになった。その一方で心臓CTのもつ4次元情報(3次元CTの経時的变化)に注目した画像利用はほとんどなされていない状況であった。機器の進歩で放射線被ばくを下げるスキャン(プロスペクティブ同期スキャン)が中心となる中で、放射線被ばくの多い心臓の動態評価スキャンが術前評価に用いられることはほとんどない状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は患者の放射線被ばくによる健康被害のリスクを低下させながら冠動脈疾患の評価、術前の冠動脈動態評価を臨床の術前シミュレーションとして用いるように開発していくことである。

具体的な研究目的は以下のごとくである。

- (1) 放射線被ばくを有効に下げつつ冠動脈の適切な評価のために重要なスキャン・プロトコルを確立すること。
- (2) 低管電圧と新しい逐次近似画像再構成を用いた低被ばく画像の確立とそれによってどの程度の被ばく量および造影剤量の低減が可能であるか明らかにすること。
- (3) 面検出器CTにより臨床のなかでの心臓CTの持つ役割・適応を評価すること。

3. 研究の方法

(1)の項目に関しては心臓CTを撮像する上でまずは適切な管電流の調整が重要であり、その設定のために患者個人の体格指標として

スカウト画像の吸収値(図1)とBody mass index (BMI)を用いた。53名の患者から実際の画像ノイズを割り出す回帰分析換算式を用いて割り出すことに取り組んだ。更に次のステップとして換算式を用いた管電流の設定が適切な画像ノイズを予測通りに呈しているのかを定性的・定量的に画質評価することに取り組んだ(図2)。



図1. CTスカウト画像における心臓の吸収値を求めるための関心領域(気管分岐下～横隔膜レベル)

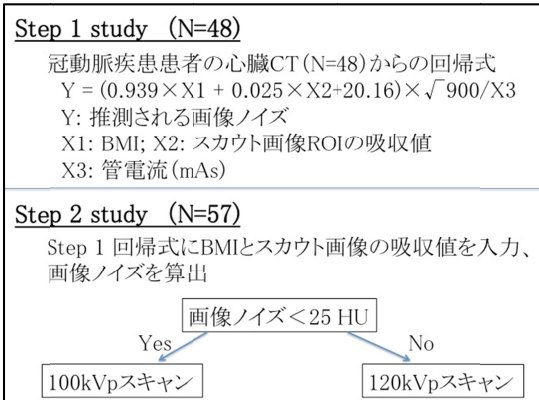


図2. 適切な管電流を決定するためのプロトコル

(2)の項目のために管電圧の設定(120kVp/80kVp)が心臓CTの被ばく量および造影剤量の低下にどのような影響を与えるのか、3種類の管電圧/造影剤注入プロトコルを設定して定性的、定量的に評価を行った(表1)。

Characteristic	Protocol A	Protocol B	Protocol C	P value
Number of patients	30	30	30	—
Age (y), mean ± SD	63.4 ± 13.8	69.8 ± 11.1	64.7 ± 13.1	.14
Female/male	14/16	18/12	16/14	.31
Body weight (kg), mean ± SD	57.7 ± 13.3	54.6 ± 7.9	56.4 ± 10.9	.34
Body mass index (kg/m ²), mean ± SD	23.0 ± 4.3	22.2 ± 3.1	22.6 ± 4.0	.66
Heart rate (beats/min),	58.3 ± 9.0	59.3 ± 8.3	59.2 ± 8.3	.98

表1. 造影プロトコルの比較

(3)の項目のために320列MSCTの施行された患者(350名)においてその適切さと実際の臨床適応の関係性を American College of Cardiology をはじめとする複数の学会によるコンセンサス・ガイドライン(Appropriate Use Criteria)に準じて分類し、冠動脈病変の有無との関係性を明らかにすることに取り組んだ。そのなかで、(1),(2)で取り組んだ4D心臓CTの臨床のなかでの位置づけを明らかにし、有用性についての評価を行った。

4. 研究成果

冠動脈バイパス術においては冠動脈の近位部の狭窄評価だけでは不十分であり、実際にグラフトを吻合する部位であるより末梢側の情報が重要となる。(1)の研究内容においては冠動脈三枝のうちで特に肝臓の近くを走行する右冠動脈は画像ノイズが上がってしまい、通常の自動管電流設定では画質の低下を来してしまうことが分かり、以下の回帰式を用いることで冠動脈の描出能が末梢部分まで保たれることを示した(図3)。

$$Y(\text{predictive noise: HU}) = [0.939 \times x_1 + 0.025 \times x_2 + 20.16 \text{HU}] \times \sqrt{900/x_3}$$

(x1: BMI, x2: スカウト X線吸収値)

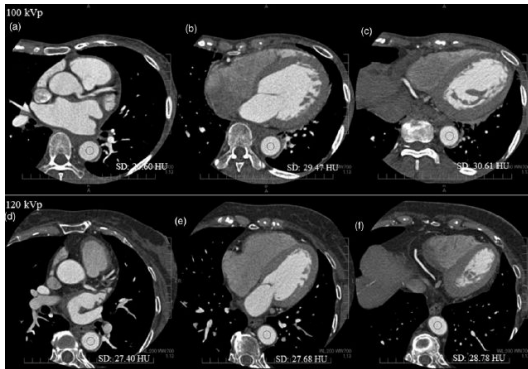


図3 スリムな患者(上段)も肥満患者(下段)もBMI,スカウトX線吸収値をもとに適切な管電流を設定することで撮影条件(100kVp; 120kVp)によらず冠動脈末梢まで良好に描出されている。

(2)の研究内容では120kVpのスキャンを用いた場合に比べて80kVpスキャンでは逐次近似画像再構成(AIDR3D)を行うことで放射線被ばくを30%以上低減(2.4mSv vs 1.5mSv)でき、造影剤を最大50%まで低減できること

を示した(図4)。視覚的な評価でも各プロトコール間に有意なスコア差は見られなかったが、冠動脈末梢部分では造影剤50%低減のプロトコールではスコアが低下する傾向が見られ、冠動脈バイパス術前の評価が目的の場合には適していないことが分かった。このことから冠動脈バイパス術前の4D-CTプロトコールとしては被ばく量、造影剤量とも30%低減が安全かつ適切であると考えられた。

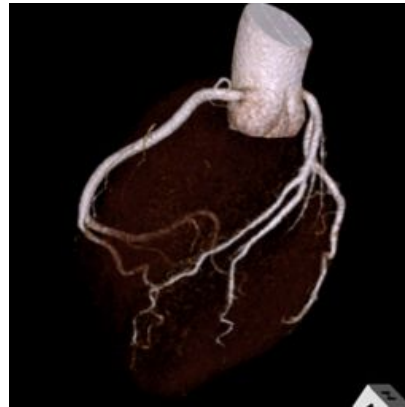


図4. 造影剤減量プロトコールの心臓CT。使用造影剤は13mL。

(3)ではAUC分類に照らした際に最新の320列MSCTを用いた場合にはA(appropriate)と分類される割合は50%であり、U(uncertain)、I(inappropriate)とされる割合が大きくなっていった。術前のシミュレーションCTをはじめとして従来よりも低被ばく且つ高画質のスキャンが可能となったことで心臓CTが適応される範囲が格段に広がっており(表2)従来はUやIのカテゴリに入るような患者が心臓CTのよい適応と変わってきていることが示された。

Category	N (%)
Detection of CAD in symptomatic patients without known heart disease	92 (29.8%)
Detection of CAD/risk assessment	18 (5.8%)
Detection of CAD in other clinical scenarios	48 (15.5%)
Use of CTA in the setting of prior test results	39 (12.6%)
Risk assessment preoperative evaluation of non-cardiac surgery without acute cardiac condition	46 (14.9%)
Risk assessment post revascularization (PCI or CABG)	38 (12.3%)
Evaluation of cardiac structure and function	15 (4.9%)
Not classifiable	13 (4.2%)

Note: CABG, coronary artery bypass graft; CAD, coronary artery disease; CTA, computed tomography angiography; PCI, percutaneous coronary intervention.

表2. 心臓CTの臨床適応では術前精査、術後評価も重要な位置を占める。

心臓外科医による臨床評価においても冠動脈バイパス術前のシミュレーション CT は冠動脈の動態評価とともに冠動脈の心筋内走行についても評価可能であり、術前の治療戦略に有用であった（図 5）。また、CT は術前だけでなく、術後のグラフト評価にも有用である。

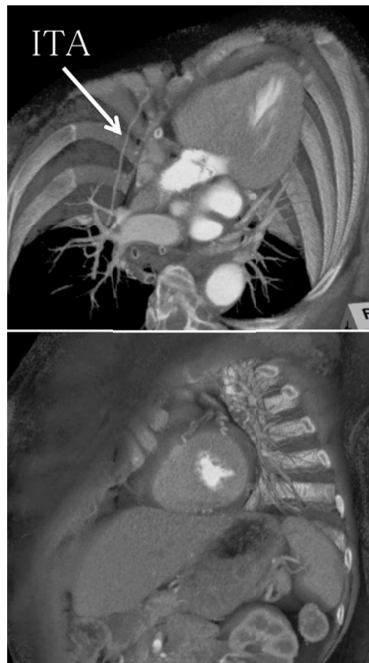


図 5. 冠動脈バイパス術前 4DCT による評価

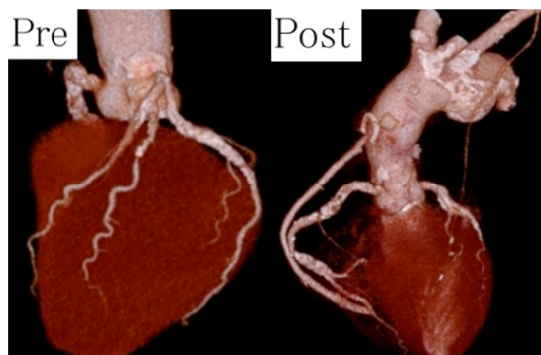


図 6. 術前と術後の心臓 CT

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 4 件）

1. Noto D, Funama Y, Utsunomiya D, Oda S, Yuki H, Yamashita Y. Patient-specific

tube-voltage selection at coronary CT

angiography based on the combination of X-ray attenuation on scout views and body mass index: how can appropriate radiation dose be achieved? Acta Radiol. 2015; 56:1171-1179.

2. Oda S, Utsunomiya D, Yuki H, Kai N, Hatemura M, Funama Y, Kidoh M, Yoshida M, Namimoto T, Yamashita Y. Low contrast and radiation dose coronary CT angiography using a 320-row system and a refined contrast injection and timing method. J Cardiovasc Comput Tomogr. 2015; 9:19-27.

3. Utsunomiya D, Oda S, Yuki H, Yamamuro M, Tsujita K, Funama Y, Yoshida M, Kidoh M, Ogawa H, Yamashita Y. Evaluation of appropriateness of second-generation 320-row computed tomography for coronary artery disease. Springerplus. 2015; 4:109.

4. Funama Y, Utsunomiya D, Taguchi K, Oda S, Shimonobo T, Yamashita Y. Automatic exposure control at single- and dual-heartbeat CTCA on a 320-MDCT volume scanner: Effect of heart rate, exposure phase window setting, and reconstruction algorithm. Phys Med. 2014; 30:385-390.

〔学会発表〕（計 3 件）

1. Seitaro Oda, Daisuke Utsunomiya, Hideaki Yuki, Tomohiro Namimoto, Takeshi Nakaura, Yasuyuki Yamashita, Shinichi Tokuyasu. Effective Ways of Using Iterative Reconstruction Algorithms at Cardiac CT. 100th Radiological Society of North America (2014.11.30-12.5, Chicago, USA)

2. Daisuke Utsunomiya, Seitaro Oda, Hideaki Yuki, Yoshinori Funama, Yasuyuki Yamashita. Evaluation of cardiac CT appropriateness using second-generation 320-row CT with 0.275-s gantry rotation speed. Annual Meeting of Society of Cardiovascular Computed Tomography

(2014.7.10-13. San Diego, USA).

3. Daisuke Utsunomiya, Seitaro Oda, Hideaki Yuki, Masafumi Kidoh, Tomohiro Namimoto, Kenichiro Hirata, Takeshi Nakaura, Yasuyuki Yamashita. Planning for transcatheter aortic valve replacement: what should radiologists know for CT reporting. 101st annual meeting, Radiological Society of North America (2015.11.29-12.4, Chicago ,USA)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

宇都宮 大輔 (UTSUNOMIYA Daisuke)
熊本大学・生命科学研究部・特任准教授
研究者番号：30571046

(2)研究分担者

尾田 済太郎 (ODA Seitaro)
熊本大学・生命科学研究部・特任助教
研究者番号：80571041

(3)連携研究者

坂口 尚 (SAKAGUCHI Hisashi)
熊本大学・医学部附属病院・助教
研究者番号：70346980

(3)連携研究者

船間 芳憲 (FUNAMA Yoshinori)
熊本大学・生命科学研究部・教授
研究者番号：30380992