

原 著

川崎病性冠動脈病変既往患者における 64列128スライスDual-Source CTを用いた 低被ばく冠動脈CTの評価と有用性

- 1) 昭和大学医学部小児科学講座
2) 昭和大学横浜市北部病院こどもセンター
3) 湘南東部総合病院循環器科
4) 昭和大学横浜市北部病院循環器センター
5) 町田市民病院放射線科

大山 伸雄*^{1,2)} 上村 茂^{3,4)} 大山 行雄⁵⁾
藤井 隆成⁴⁾ 曾我 恭司²⁾ 富田 英⁴⁾
梅田 陽²⁾ 板橋家頭夫¹⁾

抄録：川崎病に合併する冠動脈病変は、小児期から長期に渡り経過観察する必要があり、非観血的で正確な診断法の確立が必要である。冠動脈造影CT (CCTA) は非観血的検査として成人領域では確立した検査法であるが、従来のCCTAは撮影の被ばく量が10 mSvを超え多量被ばくが問題であった。小児領域では息止めが困難で心拍数が早いことなどの影響で撮影に限界があった。近年、CT装置の進歩により高速撮影が可能となり、高心拍数でも撮影が可能となった。更に低被ばくで行うことができれば、川崎病冠動脈病変を小児期の急性期から遠隔期まで、定期的使用する検査法として有用と考えられる。128スライス dual-source CTを用いた川崎病のCCTAの有用性や被ばくについてまとめた報告はない。当施設で128スライス dual-source CTを用いてCCTAを施行した川崎病既往患者40例(0歳6か月～45歳)を対象に、冠動脈の描出率、病変部の検出、放射線被ばくについて診療録を用いて後方視的に検討した。CCTAとCAGを1年以内の間隔で行った6症例ではCCTAとCAGの所見を比較した。撮影時の心拍数(平均±標準偏差)は72±15/分(40～111/分)であった。冠動脈描出率は94.7%で、川崎病冠動脈病変好発部位である近位部～中間部セグメントの描出率は96%と良好であった。冠動脈内径の計測値はCCTAとCAGで相関係数 $CCTA = 1.04 \times CAG - 0.13$ ($r = 0.98, p < .0001$)と強い相関を認めた。病変の検出はCAGで確認された病変はCCTAですべて検出され、特に石灰化病変の検出に優れていた。拡大病変一致率は $\kappa = 1.0$ 、狭窄の定性一致率は $\kappa = 0.91$ 、狭窄形態に関する質的一致率は $\kappa = 0.83$ と高い一致率を認めた。拡大性病変検出においては信頼性が高かったが、高度石灰化による狭窄性病変では正確な狭窄率の判断が困難な場合があった。実効線量(平均±標準偏差)は1.29±1.00 mSv、1心拍超高速ヘリカル撮影症例群の実効線量は0.93±0.65 mSvと超低被ばくの撮影が可能であった。64列128スライス dual-source CTは、放射線被ばく線量を従来の1/5～1/10以下に抑えた低被ばくCCTA撮影が可能で、心拍数の早い小児の領域においても充分使用可能であった。川崎病冠動脈病変を急性期から遠隔期まで、定期的に評価する非観血的検査法として有用と考えられた。拡大性病変や石灰化病変の検出に優れているが、狭窄性病変は注意が必要である。

キーワード：川崎病、冠動脈CT、dual-source CT、被ばく、小児

*責任著者

緒 言

川崎病は、主として4歳以下の乳幼児に好発する小児急性熱性皮膚粘膜リンパ節症候群であり、その本態は系統的血管炎であるため、冠動脈瘤や狭窄病変が高度に合併し、急性期後も心臓超音波検査や心臓カテーテル検査による冠動脈造影法 (coronary angiography : CAG) 等での経過観察する必要がある¹⁻³⁾。CAGによる経過観察が gold standard とされているが、侵襲的な検査で入院が必要なこともあり、患者の負担は大きい。定期検査には非侵襲的な画像診断による経過観察が望ましい。心臓超音波検査は非観血的で繰り返す定期検査にむいているが、術者の技術に依存して描出困難な部位も存在する。多列検出器型 CT (multidetector-row CT : MDCT) を用いた冠動脈造影 CT (coronary CT angiography : CCTA) は、川崎病によって引き起こされやすい石灰化病変の検出感度に優れるため⁴⁾、確立した非観血的検査法とされ、昭和大学病院でも早くからその経過観察に使用されていたが^{5,6)}、心拍数が早く、呼吸停止が困難な低年齢層では鮮明な画像を得ることが難しいという難点があった⁷⁾。さらに小児は放射線感受性が高いため、被ばくによる発癌リスクが指摘されており、実効線量が10 mSv以上の心臓カテーテル法を凌ぐ多量被ばくを受ける可能性のある従来の CCTA は成長期の小児では問題となっている^{8,9)}。デュアルソース CT (dual-source CT : DSCT) は多列化とは異なる技術で時間分解能を向上させた。2対の X 線管球と検出器が約95°角度で設置さ

れ、おのおのが螺旋軌道を描きながらデータ収集を行うため、一般的なシングルソース CT (single-source CT : SSCT) と比べデータを収集する為に必要な時間が約半分に短縮される。それゆえ高心拍の小児領域における CCTA での正確な冠動脈病変の評価を可能にすると同時に超高速撮影による著明な被ばく低減を実現することができる^{10,11)}。しかしながら川崎病の冠動脈病変における DSCT 検査の病変検出と低被ばくの詳細な検討はない。近年、低被ばくについての報告が散見されるようになり、320列面検出器型 CT (area detector CT : ADCT) を使用した川崎病既往患者に対する CCTA の報告では、実効線量を従来の MDCT の1/5以下に抑えることが可能であったと報告されている¹²⁾。32列64スライス DSCT を用いた川崎病の CCTA 検査の報告が散見されるが^{13,14)}、64列128スライス DSCT を用いた川崎病の CCTA 検査の報告は少ない^{11,15)}。低被ばくで CCTA を行うことができるのであれば、DSCT による CCTA は川崎病冠動脈病変を急性期から遠隔期まで、定期的に評価する検査法として有用と考えられる。それゆえわれわれは、川崎病の冠動脈病変における DSCT の冠動脈病変検出と放射線被ばく低減の有用性を検討した。

研究 方法

1. 対象

2011年3月～2013年2月に当院で CCTA を施行した川崎病既往の患者40例を対象にした。男性27例、女性13例。CCTA 施行時の年齢の中央値は

表 1 対象患者背景

総数	40 例
男 : 女	27 : 13
CCTA 撮影年齢中央値	11.5 歳 (0 歳 6 か月 ~ 45 歳)
川崎病罹患年齢中央値	1 歳 10 か月 (0 歳 4 か月 ~ 14 歳)
CAG 実施	24 例 (うち 8 例が CCTA と 1 年以内に施行)
鎮静施行	9 例 (0 歳 6 か月 ~ 6 歳)
β 遮断薬使用	35 例
撮影時平均脈拍数	72 \pm 15 bpm (40 ~ 111 bpm)
撮影時平均脈拍変動数	20 \pm 9 bpm

CCTA : coronary CT angiography, CAG : coronary angiography, bpm : beat per minute

11歳（0歳6か月～45歳）で、6歳未満の小児例は12例（30%）であった。撮影時心拍数（平均±標準偏差）は72±15/分（40～111/分）であった。CCTAとCAGを1年以内の間隔で行った症例は8例あり、うち2例が川崎病発症1年未満の急性期の症例であった（表1）。

本研究は、診療録を用いて検討する後方視的研究であり、「2013年改訂世界医師会ヘルシンキ宣言」、「2014年改訂人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を遵守し、昭和大学横浜市北部病院倫理委員会の承諾（受付番号1303-12）を受けた。

2. 方法

CT装置は64列128スライスSOMATOM Definition Flash[®]（SIEMENS社）を用いた。造影剤注入装置はデュアルショット[®]（根本杏林堂社）を用いた。画像解析にはZIOSTATION[®]（ザイオソフト社）を用いた。

撮影は①位置決め（スキヤノグラム）、②カルシウムスコアリング、③タイミングテスト、④本撮影の4回の撮影で構成した。タイミングテストは、テストインジェクション法を用いた。少量の造影剤（5～10ml）を注入し、造影剤注入開始後7～10秒より撮影を1秒間隔の間欠スキヤンで撮影した。大動脈基部に置いたROI（関心領域）の経時的な濃度変化を時間濃度曲線としてグラフに描出し、最適な撮影開始時間を推測した。本撮影はprospective ECG-triggered法を用い、タイミングテストから得られた最高濃度到達時間の5秒後の拡張中期を基本とし、小児や高心拍症例では収縮末期に撮影した。

本撮影は、1心拍でヘリカル撮影可能な「Flash Cardio Spiral（以下、F.Sp）」または、複数心拍で非ヘリカル撮影する「Flash Cardio Sequence（以下、F.Seq）」を不整脈の有無や心拍数から判断し選択した（表2）。造影剤は非イオン性低浸透圧造影

剤（商品名：イオパミロン300または370[®]）を体重に合わせて0.7～2.0ml/kgの量で使用した。当院では成人においてCCTA撮影3時間前にピソプロロールフマル酸塩2.5mg内服を基本としているが、担当医師の裁量により内服量減量や非投薬例が5例あった。乳幼児9例でチオペンタールNa（商品名：ラボナール[®]）2～3mg/kgを静脈内投与し鎮静を要したが、全例自発呼吸下で撮影し、合併症は認めなかった。CCTAとCAGを1年以内（1～12か月、中央値5か月）の間隔で行った6症例でCCTAとCAGの所見を比較した。CAGの計測にはKada-view[®]（フォトロンメディカルイメージング社）を用い、QCA解析をした。

3. 検討項目

1) 冠動脈の描出率

評価には、maximum intensity projection（以下、MIP）またはcurved multi planer reconstruction（以下、cMPR）を用いた。冠動脈の各セグメントはAHA分類¹⁶⁾に基づき分類した。評価画像を放射線科専門医医師、小児科専門医医師の2名の観察者により、冠動脈近位部～遠位部セグメント（#1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13）それぞれについて4段階評価（4：excellent；血管壁は連続性がありアーチファクトやノイズはほとんど認めない、3：good；血管壁は連続性がありアーチファクトやノイズは軽度、2：fair；血管壁の不連続性やアーチファクトやノイズを認めるが診断評価は可能、1：poor；顕著な構造不連続やノイズを認め画像の評価が困難）を行った。各セグメントで得られたスコアの平均値を算出しvisual gradeとした。MIPまたはcMPRのいずれかで4～2の場合を観察可能な画質とし、各セグメントの描出率を求めた。川崎病の冠動脈病変好発部位である近位部～中間部のセグメント（#1, 2, 5, 6, 7, 11）についても同様に抽出率を求めた。

表2 撮影方法の選択

撮影モード	Flash Cardiac Spiral Mode		Flash Cardiac Sequence Mode	
撮影時相	拡張中期	収縮末期	拡張中期	収縮末期～拡張中期
患者条件	不整脈なし かつ HR65 bpm 以下	不整脈なし かつ HR65～90 bpm	不整脈あり または HR90～100 bpm 以下	不整脈あり または HR90～100 以上

HR：heart rate, bpm：beat per minute

CCTA は冠動脈の完全閉塞等の理由で造影剤が満たされない場合は検査の精度に関わらず冠動脈を描出することは不可能であり、visual grade や抽出率に影響を及ぼす。これらの理由により検査精度とは関係のない何らかの理由により画像作成が不可能であった2症例4セグメントを対象から除外した。

2) 病変部の検出

冠動脈病変を内径が4 mm 以上または年長児では周辺冠動脈内径の1.5倍以上を有する中等瘤以上を瘤 (aneurysm : AN) とし、それ以下で局所性拡大所見を有する小動脈瘤を拡大 (dilatation : Dil) と分類した³⁾。狭窄は局所性狭窄 (localized stenosis : LS)、セグメント狭窄 (segmental stenosis : SS)、閉鎖 (occlusion : OC) に分類した。CCTA と CAG を1年以内の間隔で行った症例で、冠動脈の径、拡大性病変の有無、狭窄性病変の有無およびその形態、石灰化病変について比較した。川崎病発症1年以内の急性期症例2例は病変が急激に変化するため、この検討対象からは除外し6例で比較した。

3) 放射線被ばくの検討

体重40 kg以上の症例は直径32 cmのファントムを用いてdose-length product for complete examination (DLP) を算出した。体格を考慮し、体重40 kg未満の小児症例は直径16 cmのファントムを用いてDLPを算出した。撮影時のDLPを年齢別換算係数¹⁷⁾を用いて実効線量を算出した。F.SpとF.Seqそれぞれについても実効線量を算出した。低

被ばくについての定義がないため、本稿では実効線量5 mSv以下を低被ばく、1 mSv以下を超低被ばくと定義した。

4) 解析

CCTA と CAG における連続数値のパラメータは、相関係数を用い、コーヘンの κ 係数 ($\kappa \geq 0.6$ で観察者の一致度は十分高いと判断される) を求めた。検定は、 $p < 0.05$ を有意とした。統計解析は、統計ソフト JMP[®] ver.12 を用いて行われた。

結 果

1. 冠動脈の描出率

40例356セグメントの検討で、各セグメントのvisual grade (平均±標準偏差) はMPR #1: 3.14±1.07, #2: 3.13±0.99, #3: 3.27±0.88, #5: 3.44±0.67, #6: 3.30±0.83, #7: 3.31±0.81, #8: 2.91±0.78, #11: 3.15±0.87, #13: 2.74±0.99, MIP #1: 3.04±1.08, #2: 2.99±1.09, #3: 3.03±1.04, #5: 3.46±0.66, #6: 3.18±0.80, #7: 3.06±0.92, #8: 2.49±1.02, #11: 3.12±0.94, #13: 2.35±1.13であった。全356セグメントの抽出率は94.7%であった。各セグメントの抽出率は#1: 89.7%, #2: 91.0%, #3: 94.8%, #5: 100%, #6: 98.8%, #7: 98.8%, #8: 98.8%, #11: 97.5%, #13: 82.5%であった。右冠動脈セグメント(#1, 2, 3)の抽出率は91.9%で、左冠動脈セグメント(#5, 6, 7, 8, 11, 13)の抽出率は96.0%であった(図1)。近位部～

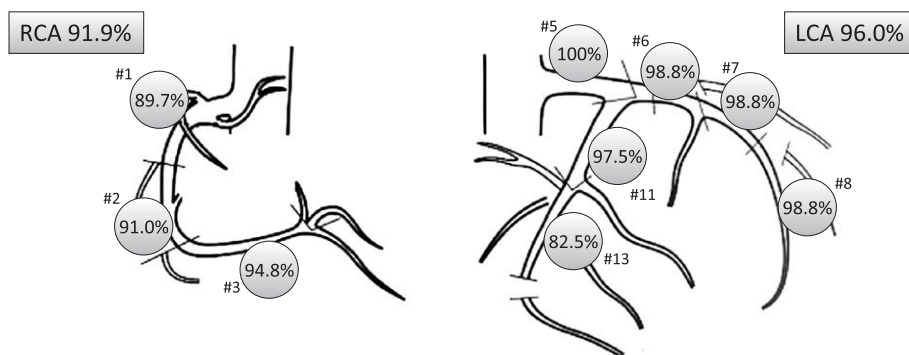


図1 セグメント別冠動脈描出率

数値は各セグメントの抽出率 (%) を示す。MIP または cMPR のいずれかで excellent ~ fair の評価であった場合を観察可能とし、その抽出率を求めた。全セグメントの抽出率は94.7%で、川崎病冠動脈病変好発部位の近位部～中間部セグメント(#1, 2, 5, 6, 7, 11)に限ると、抽出率は96.0%と高率であった。

MIP : maximum intensity projection, cMPR : curved multi planer reconstruction

表 3 CCTA と CAG が近接して施行された 6 症例における各セグメントの内径および病変の比較

No	SEX	Age	BW	HR	Study	#1	#2	#3	#5	#6	#7	#8	#11	#13
1	M	6 yrs	20 kg	61- 89 bpm	CCTA	2.3	2.1	1.6	3.0	3.0	2.3	1.2	2.4	1.3
					CAG	2.3	2.1	1.9	3.1	2.8	1.9	1.3	2.1	1.2
2	M	30 yrs	93 kg	50- 65 bpm	CCTA	1.2(1S), Ca	1.5	1.2	4.6, Ca	1.1(OC), Ca	1.8	1.6	3.6	3.0
					CAG	1.2(SS)	1.6	1.6	4.6	1.9(OC), Ca	2.0	1.5	4.2	3.2
3	F	26 yrs	55 kg	63- 74 bpm	CCTA	2.4	1.4	1.2	5.9(AN), Ca	8.2(AN)-1.3(1S)-2.1	2	1.6	3.6	2.4
					CAG	2.4	1.7	1.2	5.6(AN), Ca	8.2(AN)-2.8	1.9	1.9	3.6	2.4
4	M	12 yrs	45 kg	63- 81 bpm	CCTA	OC, Ca	OC, Ca	1.6	11.2(AN), Ca	N/A (LS)-2.2	1.5	1.3	N/A (LS)-3.9(Dil)-2.2	1.2
					CAG	OC, Ca	OC, Ca	1.4	10.4(AN), Ca	1.0(1S)-1.2	1.1	0.8	1.3(1S)-3.7(Dil)-1.7	1.1
5	F	2 yrs	10 kg	78-101 bpm	CCTA	2.0	1.2	1.2	2.2	1.9	1.2	1.0	1.1	1.1
					CAG	2.5	1.6	1.5	2.7	2.0	1.7	1.1	1.3	1.3
6	F	30 yrs	53 kg	45- 52 bpm	CCTA	3.5	2.8	2.5	3.7	3.4, Ca	2.1	1.6	2.2	1.5
					CAG	3.4	2.9	2.4	3.8	3.2	2.1	1.5	2.5	1.9

計測値の単位は mm

BW : body weight, HR : heart rate, bpm : beat per minute, CCTA : coronary CT angiography, CAG : coronary angiography, LS : localized stenosis, SS : segmental stenosis, OC : occlusion, AN : aneurysm, Dil : dilatation, Ca : calcification, N/A : not available

中間部のセグメント (#1, 2, 5, 6, 7, 11) の抽出率は 96.0% であった。観察者間一致度は cMPR $\kappa = 0.72$, MIP $\kappa = 0.70$ と良かった。

2. 病変部の検出

全 40 例の検討では、病変部位は 35 セグメントに認められた。拡大性病変 (AN または Dil) は 26 か所、狭窄性病変 (OC, SS または LS) は 13 か所であった。石灰化病変は 28 か所で認められた。

CCTA と CAG の時期が 1 年以内に近接して施行した 6 症例の検討では、冠動脈径の計測値の CCTA と CAG の相関係数は $CCTA = 1.04 \times CAG - 0.13$ ($r = 0.98$, $p < .0001$) と強い相関を認めた。全 6 症例の CAG で確認された拡大病変は CCTA で全て検出され、形態は完全一致していた (表 3)。狭窄の有無で判断した定性一致率は $\kappa = 0.91$ 、狭窄形態に関する質的一致率は $\kappa = 0.83$ と高い一致率を認めた。石灰化病変の検出は CCTA で確認された 8 か所に対し CAG で確認できたのは 5 か所であった。石灰化病変を伴い CCTA と CAG で狭窄の評価が異なった症例 3 および症例 4 を下記に症例提示した。

3. 放射線被ばくの検討

検査方法は 31 例が F.Sp で、9 例が F.Seq で撮影した。F.Seq では 2 心拍撮影 4 例、3 心拍撮影 1 例、4 心拍撮影 4 例であった。管電圧は 70 kV が 4 例、80 kV が 11 例、100 kV が 20 例、120 kV が 5 例、管電流は 100 ~ 370 mAs (中央値 280 mAs) であった。撮影時 DLP (平均 ± 標準偏差) は 78.06 ± 65.14 mGy · cm (24 ~ 337 mGy · cm) で、年齢別換算係数¹⁷⁾ から算出した実効線量 (平均 ± 標準偏差) は 1.29 ± 1.00 mSv (0.33 ~ 4.72 mSv) であった。F.Sp と F.Seq それぞれの DLP および実効線量は、F.Sp が $DLP 59.61 \pm 43.05$ mGy · cm (24 ~ 220 mGy · cm) で、実効線量 0.93 ± 0.65 mSv (0.33 ~ 3.08 mSv) と超低被ばく線量での撮影が可能で、F.Seq の $DLP 144.94 \pm 88.80$ mGy · cm (60 ~ 337 mGy · cm)、実効線量 2.60 ± 0.98 mSv (1.74 ~ 4.72 mSv) であった。

4. 症例提示

1) 症例 3 : 26 歳女性 川崎病性冠動脈瘤 (LAD) 遠隔期の CCTA と CAG の比較 (図 2)

6 歳に川崎病に罹患。急性期治療 (アセチルサリチル酸 + IVIG 300 mg/kg × 5 日) を受けるも左冠動脈に瘤を形成した。アセチルサリチル酸 + プロプラノロール内服にて治療を継続。川崎病罹患後 20 年、

定期経過観察のため CCTA 検査を実施。検査時心拍数 63 ~ 74 bpm。撮影条件を管電圧 100 kV、管電流 190 mAs、1 心拍で撮影する「Flash Cardio Spiral Mode」に設定。非イオン性低浸透圧造影剤 0.7 ml/kg を右上肢の 18 G 留置針より約 10 秒間かけて急速静脈内注射し撮影した。Total DLP 34 mGy · cm、総実効線量 0.76 mSv と超低被ばく撮影であった。CCTA で LAD の瘤内にカルシウム沈着を認めた。瘤出口に狭窄を認めたため CAG 施行となったが、CAG では狭窄を認めなかった。

2) 症例 4 : 12 歳男児 川崎病性巨大冠動脈瘤遠隔期の CCTA と CAG の比較 (図 3)

4 歳 6 か月に川崎病に罹患。第 8 病日に IVIG 1 g/kg、第 10 病日にプレドニゾロン 2.0 mg/kg/day 開始されたが、左右の冠動脈に巨大瘤を形成。アセチルサリチル酸 + ワルファリンにて治療を継続。川崎病罹患後 8 年、定期経過観察のため CCTA 検査を実施。撮影 2 時間前にプロプラノロールを服用。検査時心拍数 63 ~ 81 bpm。撮影条件を管電圧 80 kV、管電流 300 mAs、1 心拍で撮影する「Flash Cardio Spiral Mode」に設定。非イオン性低浸透圧造影剤 0.7 ml/kg を右上肢の 20 G 留置針より約 10 秒間かけて急速静脈内注射し撮影した。Total DLP 41 mGy · cm、総実効線量 0.53 mSv と超低被ばく撮影であった。高度石灰化により #5 の巨大冠動脈瘤から流出する LAD および LCX の狭窄率の正確な診断が困難であった。

考 察

1. DSCT の放射線低被ばく

一般的な胸部単純 CT 検査の実効線量は約 10 mSv (胸部 X 線撮影の約 100 倍) で、自然放射線日数換算では 3 年相当とされる¹⁸⁾。従来の CCTA は心臓カテーテル法を凌ぐ多量被ばくに問題があった。わが国でも 2005 年に「小児 CT ガイドライン—被ばく低減のために—¹⁹⁾」が発行され、被ばく低減の重要性が記された。小児は放射線に対する感受性が成人の数倍高く、さらに体格が小さいため、成人と同様の撮影条件の場合、被ばく量が 2 ~ 5 倍になると言われている¹⁹⁾。若年女性において、乳房の放射線感受性は高く、1 回の CCTA による発癌の寄与危険度割合は 0.7% との報告があり、冠動脈 CT 撮影 1 回で全身被ばく線量が 15 mSv の場合、乳房被ばく

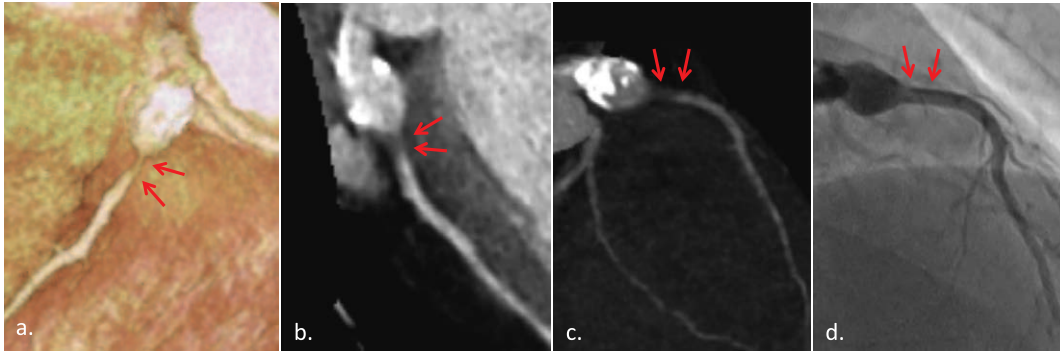


図2 26歳 女性 川崎病性冠動脈瘤 (LAD) 遠隔期のCCTAとCAGの比較
 a: VR b: cMPR c: MIP d: CAG
 CCTA (a, b, c) で#6瘤出口部に75%狭窄を認めたが, CAGで狭窄は否定された (矢印).

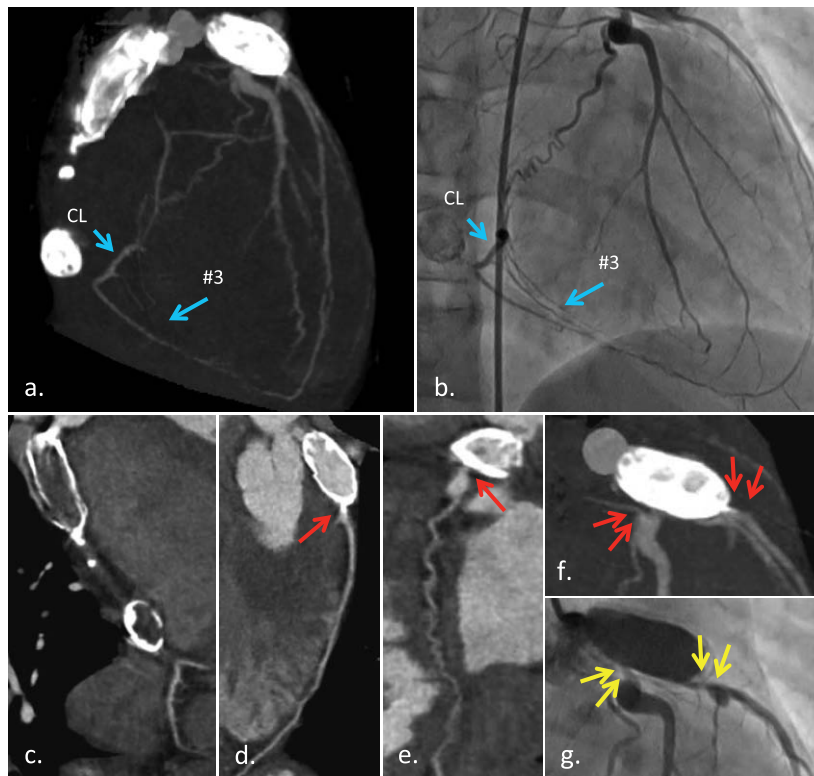


図3 12歳 男児 川崎病性巨大冠動脈瘤遠隔期のCCTAとCAGの比較
 a: MIP. LADから#3に血液を供給している側副血行路 (CL) を認め (青矢印), #3-4は造影剤 (血液環流) が満たされている. #1-2は造影剤が満たされず閉塞していることが分かる.
 b: LCAのCAG. CCTAと同様に側副血行路 (CL) より#3-4が灌流されている (青矢印). #1, #2に石灰化を認め, #1は完全閉塞, CAGで#1-2は描出されず.
 c: RCAのcMPR. 瘤内には造影剤が満たされておらず, 閉塞していることが分かる.
 d, e: LAD, LCXのcMPR. 造影剤が満たされており, 交通が確認できるが, 瘤出口部狭窄は高度石灰化病変のため, 狭窄率の診断が困難 (赤矢印).
 f: 左巨大冠動脈瘤のMIP. 石灰化が高度で, 出口部狭窄の狭窄率の診断が困難 (赤矢印).
 g: LCAのCAG. CAGにて左巨大冠動脈瘤出口部狭窄の描出が可能. #6, #11共に50%狭窄と診断 (黄矢印).

CCTA: coronary CT angiography, CAG: coronary angiography, VR: volume rendering, cMPR: curved multi planer reconstruction, MIP: maximum intensity projection, LAD: left anterior descending artery, LCX: left circumflex coronary artery, CL: collateral, LCA: left coronary artery, RCA: right coronary artery

線量は最大 80 mSv に達し、20 歳女性では乳房の発がんリスクが約 0.3% 高まる²⁰⁾。CT 検査件数は増加の一途をたどっており、検査時の被ばく低減は重要な課題と考える²¹⁾。

1 心拍で撮影する F.Sp は、高速撮影技術により 1 秒以下の撮影時間で被ばく線量を最大に抑えることが特徴である。今回の検討で、F.Sp は従来法の 10 分の 1 以下の超低被ばくでの撮影が可能であった。F.Sp の撮影には prospective ECG-triggered 法を使用するため、超高心拍症例や不整脈症例は撮影時相にずれが生じるため適していない。小児は心拍が早く撮影時相に制限があるため、画質を低下させる要因となる²²⁾。機器推奨の F.Sp 適応は心拍数 65/min 以下、心拍変動 5/min 未満とされている。それに対し F.Seq は非ヘリカルで複数回の心拍を用いた撮影のため被ばく線量が増えてしまうが、不整脈を回避するプログラムが組み込まれているため、心拍数が多く心拍変動の大きい症例にも対応可能である。実効線量は F.Sp と比べると多いものの、従来法の約 5 分の 1 程度に抑えた低被ばく撮影が可能であった。

2. DSCT と高心拍の冠動脈評価

従来の single-source CT は時間分解能が 150 ~ 200 ms と低く、撮影時間が約 5 ~ 10 秒必要であった。呼吸運動の影響を受けるため撮影には息止めが必要で、心拍数が 60 bpm を超えると良質な画像が得られなかった。小児領域では画質低下が大きく低年齢層での撮影が困難であった⁷⁾。64 列 128 スライス DSCT は時間分解能が 75 ms と高く、最大高速撮影法では心臓全体を 1 秒以下で撮影可能なため、息止めが不要で高心拍にも対応可能となった。今回の検討では、その 2/3 の症例で心拍数 60 bpm を超えていたが、全セグメントの抽出率は 94.7% で、川崎病の冠動脈病変好発部位^{23,24)}である近位部～中間部のセグメント (#1, 2, 5, 6, 7, 11) に限ると抽出率は 96.0% と更に高率で、高心拍症例でも十分な評価が可能であった。左冠動脈にくらべ右冠動脈の描出率は低かった。冠動脈の動きは右冠動脈で大きく²⁵⁾、抽出率低下に影響したと考えられた。

3. DSCT と川崎病

日本循環器学会発行の「川崎病心血管後遺症の診断と治療に関するガイドライン³⁾」では、急性期中等度以上の瘤形成が認められる場合、回復早期に CAG を行うことが望ましいとされている。川崎病

は、急性期に冠動脈拡大あるいは瘤が出現し、早期に遊走・増殖した平滑筋細胞による全周性の内膜肥厚により見かけ上内腔が正常化し、瘤が退縮するが、長期的には瘤の部位における冠動脈の狭窄や拡張能の低下、血管内皮機能異常などを伴うため、より早期から冠動脈形態の注意深い経過観察が必要である。さらに瘤形状を残したまま長期間開存すると瘤壁は硝子化した線維組織により構成され、瘤壁に沿った石灰化が広範に出現し、瘤の流入部、流出部では内膜肥厚あるいは器質化血栓による内腔狭窄あるいは血栓性閉塞を引き起こす³⁾。われわれは、川崎病冠動脈瘤を 5 年間 MDCT で follow up し、CT 検査の重要性をすでに指摘している⁶⁾。すなわち冠動脈瘤形態・石灰化病変を繰り返し非侵襲的に評価できる CCTA は CAG より有用であると考えられる。特に小さい石灰化病変の早期発見には CCTA が有用と考えられた⁴⁾。本研究から放射線被ばく低減と高心拍での評価に優れる DSCT を用いた CCTA は、従来の SSCT より小児科領域とくに川崎病の冠動脈病変の経過観察に必要な検査法と考えられる。

最後に川崎病の冠動脈瘤における CCTA 検査の問題点について指摘しなければいけない。本研究でも示したように、CCTA は CAG より石灰化病変の検出にはすぐれるが、一方で高度石灰化病変における狭窄率の正確な評価は難しい^{26,27)}。さらに、石灰化冠動脈瘤における高度狭窄病変に対してはロータブレードにより石灰化を切除して冠動脈血流を改善する侵襲的治療が必要であり、CAG はその後の治療の準備も含め重要である。しかし、関本らは冠動脈石灰化の高度狭窄病変のロータブレード治療においては、狭窄率の評価より CCTA での石灰化の評価が重要であることを指摘している²⁸⁾。さらに本研究で使用された DSCT は、dual-energy imaging が可能である。dual-energy system²⁹⁾は異なる 2 つの管電圧で撮影し、high density である冠動脈内の石灰化病変を特異的に除去して、石灰化の影響を受けない正確な冠動脈狭窄を評価することが可能である。また、逐次近似再構成法³⁰⁾はノイズを低減させる技術であり、最新装置に導入され始めているが、この技術により低電圧低電流の撮影が可能となる結果、被ばく線量低減に役立つと期待されている。このことは DSCT が川崎病における小児の冠動脈瘤

の形態・冠動脈狭窄の評価のもっとも有用な検査であることを示している。

結 語

64列 128スライス dual-source CTは、放射線被ばく線量を従来の1/5～1/10以下に抑えた低被ばく CCTA撮影が可能で、心拍数の早い症例や、鎮静下自発呼吸の小児症例においても充分評価可能であった。川崎病冠動脈病変を急性期から遠隔期まで、定期的に評価する検査法として有用と考えられた。拡大性病変や石灰化病変の検出に優れているが、狭窄性病変は注意が必要である。

利益相反

本研究に関し開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 大山伸雄, 曾我恭司, 上村 茂. 川崎病心血管病変の診断 CT. 呼と循. 2015;63:27-32.
- 2) 上村 茂, 大山伸雄. ピンポイント小児医療合併症・後遺症対策 CT/MRIによる冠動脈評価. 小児内科. 2014;46:788-795.
- 3) 日本循環器学会, 日本川崎病学会, 日本胸部外科学会, ほか. 川崎病心臓血管後遺症の診断と治療に関するガイドライン (2013年改訂版) (Internet). (accessed 2016 Nov 15) http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2013_ogawas_h.pdf
- 4) 藤井隆成, 喜瀬広亮, 藤本一途, ほか. 冠動脈瘤残存がない冠動脈部位にカルシウム沈着を短期間で呈した川崎病遠隔期の若年女性. 心臓. 2013;45:608-609.
- 5) 岩崎順弥. 成人期へと移行する心疾患. 昭和学会誌. 2013;73:261-267.
- 6) Akutsu Y, Kobayashi Y, Sambe T, *et al.* Five-year follow-up of a giant coronary aneurysm using virtual coronary angiography. *Coron Artery Dis.* 2014;25:727-729.
- 7) 金丸 浩, 君島正一, 麦島秀雄. 心臓 CT. 日本児放線会誌. 2011;27:106-117.
- 8) Achenbach S, Marwan M, Ropers D, *et al.* Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition. *Eur Heart J.* 2010;31:340-346.
- 9) Brenner D, Elliston C, Hall E, *et al.* Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176:289-296.
- 10) 上村 茂, 大山伸雄, 守屋克之. 小児での造影

CT検査における被ばく低減への具体的取り組み Dual CTの有用性を含めて. 新医療. 2013;40:116-119.

- 11) 大山伸雄, 上村 茂, 喜瀬広亮, ほか. 128列 Dual Source CTを用いた、鎮静・自発呼吸下での川崎病性冠動脈瘤既往例の超低被ばく冠動脈 CT. 心臓. 2012;44:1449-1450.
- 12) 増江道哉, 葛西武司, 徳見哲司, ほか. 320列 CTによる川崎病冠動脈遠隔期評価の有用性と限界についての検討. 小児臨. 2011;64:1877-1882.
- 13) Duan Y, Wang X, Cheng Z, *et al.* Application of prospective ECG-triggered dual-source CT coronary angiography for infants and children with coronary artery aneurysms due to Kawasaki disease. *Br J Radiol.* 2012;85:e1190-e1197.
- 14) Yu Y, Sun K, Wang R, *et al.* Comparison study of echocardiography and dual-source CT in diagnosis of coronary artery aneurysm due to Kawasaki disease: coronary artery disease. *Echocardiography.* 2011;28:1025-1034.
- 15) Paul JF, Rohnean A, Elfassy E, *et al.* Radiation dose for thoracic and coronary step-and-shoot CT using a 128-slice dual-source machine in infants and small children with congenital heart disease. *Pediatr Radiol.* 2011;41:244-249.
- 16) Austen WG, Edwards JE, Frye RL, *et al.* A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association. *Circulation.* 1975;51 (4 Suppl):5-40.
- 17) McCollough CH, Primak AN, Braun N, *et al.* Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am.* 2009;47:27-40.
- 18) U.S. Food and Drug Administration. Reducing Radiation from Medical X-rays. *FDA Consumer Health Information* (Internet). 2009 Feb. (accessed 2016 Nov 15) <http://www.fda.gov/downloads/ForConsumers/ConsumerUpdates/UCM185316.pdf>
- 19) 日本医学放射線学会, 日本放射線技術学会, 日本小児放射線学会. 小児 CT ガイドライン 被ばく低減のために. 日本放線技会誌. 2005;61:493-495.
- 20) Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA.* 2007;298:317-323.
- 21) 西澤かな枝. “診断用の X線がガンを増やす”との論文は真実か? わが国の CT 検査の実態と被ばく線量推定. 日本医放会誌. 2004;64 (7 付録):3-6.

- 22) Kanamaru H, Sato Y, Takayama T, *et al.* Assessment of coronary artery abnormalities by multislice spiral computed tomography in adolescents and young adults with Kawasaki disease. *Am J Cardiol.* 2005;95:522-525.
- 23) 鈴木淳子, 神谷哲郎, 木島良民. 650 例の心臓造影検査にもとづく川崎病の心血管障害. *小児臨.* 1983;36:1217-1224.
- 24) 中本一海, 波多野淑弘, 椋 旨正, ほか. 川崎病における冠動脈病変の検討. *医療.* 1991;45:1016-1020.
- 25) Achenbach S, Ropers D, Holle J, *et al.* In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with electron-beam CT. *Radiology.* 2000;216:457-463.
- 26) 須山淳平, 篠塚 明, 保坂憲史, ほか. 心臓領域. *昭和学会誌.* 2014;74:248-258.
- 27) Meyer M, Henzler T, Fink C, *et al.* Impact of coronary calcium score on the prevalence of coronary artery stenosis on dual source CT coronary angiography in caucasian patients with an intermediate risk. *Acad Radiol.* 2012;19:1316-1323.
- 28) Sekimoto T, Akutsu Y, Hamazaki Y. *et al.* Regional calcified plaque score evaluated by multidetector computed tomography for predicting the addition of rotational atherectomy during percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2016;10:221-228.
- 29) Kido T, Watanabe K, Saeki H, *et al.* Adenosine triphosphate stress dual-source computed tomography to identify myocardial ischemia: comparison with invasive coronary angiography. *Springerplus* (Internet). 2014;3:75. (accessed 2016 Nov 15) <http://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-3-75>
- 30) Wang R, Schoepf UJ, Wu R, *et al.* Diagnostic accuracy of coronary CT angiography: comparison of filtered back projection and iterative reconstruction with different strengths. *J Comput Assist Tomogr.* 2014;38:179-184.

AN EVALUATION OF LOW EXPOSURE CORONARY COMPUTED
TOMOGRAPHY ANGIOGRAPHY WITH 128 SLICE DUAL-SOURCE
COMPUTED TOMOGRAPHY IN PATIENTS WITH A HISTORY OF
CORONARY LESIONS AND KAWASAKI DISEASE

Nobuo OYAMA^{1,2)}, Shigeru UEMURA^{3,4)}, Yukio OYAMA⁵⁾,
Takanari FUJII⁴⁾, Takashi SOGA²⁾, Hideshi TOMITA⁴⁾,
You UMEDA²⁾ and Kazuo ITAHASHI¹⁾

¹⁾Department of Pediatrics, Showa University School of Medicine

²⁾Children's Medical Center, Showa University Northern Yokohama Hospital

³⁾Department of Cardiovascular, Shonan Tobu General Hospital

⁴⁾Cardiovascular Center, Showa University Northern Yokohama Hospital

⁵⁾Department of Radiology, Machida Municipal Hospital

Abstract — Coronary lesions accompanying Kawasaki disease (KD) must be followed-up for long periods of time from childhood, necessitating the establishment of a non-invasive and accurate diagnosis method. Imaging by conventional coronary CT angiography (CCTA) was limited for children owing to high radiation exposure, high heart rate and also the difficulties to hold breath. Thanks to the progress in CT technology, the imaging of tachycardia cases has now become possible. Even if lower exposures are possible, this may be useful as an examination method, since such methods typically reveal KD coronary artery lesions. At our facility, 40 cases of patients with KD who underwent CCTA with 128-slice dual-source CT (DSCT) were evaluated regarding the usability and exposure thereof. The mean pulse rate at the time of photography was 72 ± 15 /min; however, the extraction rate of the proximal to intermediate segment which is the common site of coronary lesions for KD was high at 96%. The lesion detection rate and calcification detection was excellent. Regarding the evaluation of the lesion site, while the detection of expanded lesions was reliable, careful consideration had to be made regarding stenotic lesions because it was difficult to determine the stenotic rate in some cases. The mean effective dose was very low at 1.29 ± 1.00 mSv, with the mean effective dose being super low at 0.93 ± 0.65 mSv in one heart rate ultrafast helical photography group. With DSCT, it was possible to take low exposure photographs, at one-tenth of the conventional exposure dose, which was also sufficiently applicable in pediatric patients with fast heart rates. This may be useful as an examination method for KD coronary artery lesions.

Key words: Kawasaki disease, dual-source CT, low dose radiation, CAL, pediatrics

[受付：11月1日，受理：11月21日，2016]