

## 特集 循環器の画像診断

### 2. 心臓CT

金丸 浩, 君島正一<sup>1)</sup>, 麦島秀雄

日本大学医学部 小児科学系小児科学分野, 日本大学医学部附属板橋病院 放射線部門<sup>1)</sup>

#### Pediatric cardiac computed tomography - Focusing on pediatric coronary computed tomographic angiography -

Hiroshi Kanamaru, Shoichi Kimijima<sup>1)</sup>, Hideo Mugishima

Department of Pediatrics and Child Health, Nihon University School of Medicine  
Radiation department, Nihon University Itabashi Hospital<sup>1)</sup>

#### Abstract

Coronary computed tomographic angiography (CCTA) has been widely used not only for adult patients but also for children. Pediatric CCTA can provide much information on the diagnosis including congenital coronary anomaly and coronary arterial lesions after Kawasaki disease (KD).

Three drawbacks of CCTA should be discussed such as use of beta-blockade, use of contrast medium, and radiation exposure. Beta-blockade (Metoprolol or Atenolol) is administered at a dose of 0.6 to 0.8 mg/kg without additional use for heart rate control in pediatric CCTA. Lower concentration and viscosity of contrast medium such as Ioversol 320 mgI/ml could be sufficient to facilitate excellent coronary visualization compared with conventional concentration of 350 to 370 mgI/ml in the pediatric population. It is important for lowering radiation exposure to use low voltage condition of 80 kV especially for children with body weight of less than 25 kg.

Pediatric CCTA is often used for the evaluation of coronary arterial lesions especially morphology of calcified giant aneurysm and collateral arteries after KD. We perform combined evaluation of coronary arterial disease including KD using CCTA and myocardial perfusion imaging, and decide the follow-up schedule based on the findings. Further combined evaluation needs to be planned in 6 to 12 months, if discordant findings are ascertained between CCTA and myocardial perfusion imaging.

Pediatric cardiac CCTA should be performed aggressively if those CT scans have diagnostic benefit, although radiation exposure concerning CT use for children should be considered.

**Keywords :** *Beta-blockade, Contrast medium, Coronary, Kawasaki disease  
Radiation exposure*

#### はじめに

小児の心臓CT診断は先天性心疾患の評価と冠動脈の評価に大別される。先天性心疾患に対しては心内奇形だけでなく大血管の形態および位置異

常の評価に有用であり、外科治療が可能な施設に必須の撮影であるだけでなく、外科治療が可能な施設へ搬送する際に診断確定の検査としても有用である。冠動脈評価は川崎病後遺症や冠動脈奇形

の評価として有用であり、地域医療を実践している病院にとって川崎病の診療機会は多く、ニーズの高い評価法である反面で、心電図同期が基本となっている点など評価対象も細部であり撮影方法に繊細な点が多い。本稿では小児冠動脈評価をテーマとして、1. 小児冠動脈評価になぜCTを用いるのか、2. 当院における冠動脈CT造影検査(以下CCTA)の実際、3. CCTAの欠点克服のために、4. 川崎病巨大冠動脈瘤の自然歴とCCTA読影のポイント、5. 冠動脈障害の複合評価～核医学との複合評価の実際～について述べていく。また、日本大学医学部附属板橋病院小児科のCCTA撮影の特徴として、医師主導、技師主導ではなく医師と技師が常に協調をして撮影を行っている。“2. 当院におけるCCTAの実際”の項では、技師からみた評価の実際として当院の放射線技師から直接にコメントをさせていただく。

### 小児冠動脈評価に なぜCTを用いるのか

1999年に国内で多列検出器型CTが出現し、臨床応用可能な心臓CT診断の世界が到来した。これにより成人領域の冠動脈形態の診断が、心臓カテーテル検査による選択的冠動脈造影を施行せずに可能となった。2002年に筆者の施設でも多列検出器型CTを利用して、遠隔期川崎病重症冠動脈障害の撮影を施行し臨床応用に成功した<sup>1)</sup>。しかし、当時の多列検出器型CTでは酸素投与下で約40秒の息止めが必要であり、被ばく線量も多く冠動脈描出が可能となったレベルであった。また息止めと心拍数コントロールの問題から、当時の小児領域の応用としては中学生への施行が限界であった。この小児CCTAの夜明け時代には、小学生以下の冠動脈評価は臨床応用として不可能であり、Table 1に示す小児で冠動脈評価の対象となる疾患の多くは、心臓カテーテル検査による冠動脈造影を施行せざるをえなかった。しかし最近では先天性冠動脈奇形<sup>2)</sup>、大血管転位<sup>3)</sup>や川崎病冠動脈障害<sup>4)</sup>でのCCTAに関する報告も散見される。現在では撮影時間の高速化などに伴い、CCTAの対象が乳幼児にまで低年齢化してきている。川崎病冠動脈障害の経過観察や先天性心疾患に伴う冠動脈評価では、経過中に複数回の検査を強いられる

Table 1 小児で冠動脈評価の対象となる疾患

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| 先天性冠動脈奇形 | 左冠動脈肺動脈起始症<br>冠動脈瘻<br>単一冠動脈 |
| 先天性心疾患   | 大血管転位症術前、術後<br>フォロー四徴症術前    |
| 後天性冠動脈異常 | 川崎病冠動脈障害<br>血管炎による冠動脈障害     |

ことが多く、患者さんの身体的、時間的、経済的負担の軽減を考慮すると心臓カテーテル検査を回避できる利点は大きい。川崎病冠動脈障害の評価では、遠隔期評価のみのツールであったCCTAが急性期評価への応用が可能となった。CTとMRIの選択については、筆者は対象疾患と冠動脈の何を診たいのかを考えモダリティを選択するべきであると考えている。CTの利点として空間解像度が優れており、CCTAは冠動脈血流そのものを診ている検査であり、側副血行路や冠動脈バイパス術後の評価に有用である。逆に血栓や内膜肥厚の評価については、2011年現在ではMRIが有用かもしれない。

### 当院におけるCCTAの実際

小児、特に乳幼児の冠動脈を撮影する上で問題点となるのは、多列検出器型CTであっても、再構成には複数心拍のデータを必要とするため、通常の胸部CTと比較しても被ばく線量が多くなってしまふことである。さらに高心拍の場合、複数心拍からのデータで再構成を行う(セグメント再構成)必要があるが、小児では意思の疎通がうまくいかない場合も多く、呼吸停止不良や体動によるアーチファクトにより冠動脈の評価が困難な場合もある。当院では面検出器CTを使用しており、検出器が体軸方向に320列並び最小スライス厚0.5mmであることから、寝台を移動することなく最大16cmの幅をX線管1回転で撮影することが可能である。これにより成人の心臓であっても1心拍のデータで全体の再構成が可能となる。以下、日本大学医学部附属板橋病院でのCCTAのプロトコルおよび工夫について述べる。

**撮影プロトコル：**320列面検出器CTでは基本的に心拍数により1心拍での再構成(ハーフ再構成)、

Table 2 日本大学医学部附属板橋病院での小児CCTA撮影条件

|                                  | 管電圧   | 管電流 <sup>*1</sup> | 回転速度    |
|----------------------------------|-------|-------------------|---------|
| 身長120cm未満, 体重25kg未満              | 80kV  | 150~350mA         | 0.35秒固定 |
| 身長120cm以上150cm未満, 体重25kg以上50kg未満 | 100kV | 200~330mA         | 0.35秒固定 |
| 身長150cm以上, 体重50kg以上              | 120kV | 200~270mA         | 0.35秒固定 |

\*1 小焦点撮影がよい

Table 3 管電圧と小焦点撮影

| 管電圧   | 小焦点撮影となる管電流 |
|-------|-------------|
| 80kV  | 410mAまで     |
| 100kV | 330mAまで     |
| 120kV | 270mAまで     |

また複数心拍による再構成(セグメント再構成)を行う。患者の呼吸練習時に装置が心拍を読み取り最良の時間分解能を取得するために、撮影心拍数と撮影時間をオートで表示する機能がある。乳幼児は高心拍であることが多いが、 $\beta$ 遮断薬を使用しても心拍が低下することがあまり期待できない。そこで時間分解能を考慮するとセグメント再構成となるが、多くは呼吸を意図的に止めることが出来ないために、呼吸停止不良によるアーチファクトが発生する。また3心拍、4心拍分撮影を行うことで被ばく線量が増加してしまう。これらのことを考慮して、当院では個々の患者の状況に応じて撮影プロトコルを決定している。

**撮影条件および工夫点:** 撮影条件の決定において装置の設置当初は、管電圧120kV一定で撮影していた。しかし当科のこれまでのデータを見直した結果、乳幼児から思春期前の小児では同年齢でほぼ体格(身長, 体重)が同じ場合が多く、ある一定範囲内の体格までは被ばく線量を考慮し管電圧80kV, 100kVを使用している(Table 2)。また管電流は空間分解能を考えると小焦点での撮影が望ましい(Table 3)。造影方法に関して基本的に造影剤は、ヨード濃度320mgI/mlの中濃度製剤を使用し、総投与量は0.6~0.8ml/kgとしている。22ゲージの留置針でルート確保を行い、インジェクターを使用し造影剤と同量の生食で後押しを行う。注入速度は2.0~3.0ml/秒で、体重20kgの場合では造影剤総投与量は12~16mlであり、3.0ml/秒で注入すると注入時間は約4~5秒となる。撮影タイミングは体軸方向の撮影範囲で中心の断面(左室

と右室が同時に見える断面)でリアルタイムヘリカルにてモニタリング(ポーラストラッキング)をして、左室が造影剤で染まり始める時相でスキャンを行っている。撮影心拍数は心拍の変動が無い場合は1心拍による再構成を基本とし、心拍の変動が大きい場合は2心拍撮影を行い低い心拍のデータから、レトロスペクティブに再構成を行っている。R-R間隔におけるスキャン範囲は、特に高心拍の場合ほぼ全体をカバーする範囲とし、収縮末期、拡張中期のデータで再構成が行えるため、冠動脈ごとの静止位相(異なるデータ)で再構成表示することが可能となる。その他の工夫点として、心臓の大きさに合わせて撮影範囲を決定しX線の照射範囲を極力小さくして撮影すること、逐次近似法を応用した再構成法(AIDR)により、線量を下げても画質の悪化なく撮影が行えるようになるなど、放射線被ばく低減につながる技術を積極的に使用し検査を行っている。幼児の撮影を覚醒した状態で行う場合、撮影室の中で一人になることで不安となり心拍数が安定しないなど、スムーズな検査を行えないことをしばしば経験する。当院では患者のそばにいて声かけをするなど、検査に関わるすべてのスタッフが検査中の不安を与えないように努力をしている。このような小さな配慮も幼児を中心とした低年齢層のCCTA施行上で重要であると考えられる。

### CCTAの欠点克服のために

心臓カテーテル検査の選択的冠動脈造影に代わる次世代冠動脈評価として、冠動脈MRIが存在する。MRIとの比較でCCTAの欠点は、 $\beta$ 遮断薬の使用、造影剤の使用、放射線被ばくの問題があげられる。これらの問題点について日本大学医学部附属板橋病院での経験をふまえて述べる。

## 1. $\beta$ 遮断薬の使用

CCTAは $\beta$ 遮断薬を使用せずに施行でき、臨床的に十分な画像が得られる。一定の心拍数以上の患者のみに $\beta$ 遮断薬を使用する報告もある<sup>5)</sup>。 $\beta$ 遮断薬を使用しない高心拍下の撮影で画質が良好となる代償は、放射線被ばくの増大である。良好な画質を得るために何をどれだけ犠牲にするかは、現在のところ各施設にゆだねられている状況であるが、当科での2010年12月まで40人を対象とした15歳以下の小児に対する経験では、全例に $\beta$ 遮断薬をCCTA撮影前に使用している。筆者が小児に対して $\beta$ 遮断薬の使用を推奨する理由としては、第一に小児を含む若年者は交感神経亢進状態にあることであり、この特徴に対する $\beta$ 遮断薬使用は理論的といえる。第二に特に乳幼児に対する使用に関して、先天性心疾患の一つであるファロー四徴症の無酸素発作予防に $\beta$ 遮断薬(プロプラノロールなど)が使用される。当科ではこれまで $\beta$ 遮断薬としてメトプロロールやアテノロールを使用しており $\beta$ 遮断薬の種類こそ異なるが、 $\beta$ 遮断薬が小児において歴史的に長期にわたり使用され臨床的に安全性が確認されている事実がある。当科での初期経験として十分な心拍数低下が認められない場合に $\beta$ 遮断薬の追加投与を積極的に行っていた。すなわち初回投与を0.8mg/kgで行い、追加投与をその半量0.4mg/kgの目標で行っていた。この方法で副作用を認めたのは20人中1人であり、その1人は体重109kgの肥満であり立ちくらみを認めた。肥満患者の $\beta$ 遮断薬投与量換算に注意を要する経験であった。Fig.1は初期経験20人を対象とした $\beta$ 遮断薬追加投与に関する検討結果であり、 $\beta$ 遮断薬追加投与をしたほとんどで追加投与前後の心拍数に変動を認めなかった。これらの経験に基づき2011年6月現在の当科の $\beta$ 遮断薬投与の方針としては、最近の喘息発作既往などの合併症がある患者を除き積極的に $\beta$ 遮断薬0.6~0.8mg/kg投与を行い、基本的には追加投与を行わないこととしている。また特定の心拍数以上の患者への選択的使用については、本撮影直前に精神的動揺から心拍数の増加を認める患者も少なくならず存在し全患者への投与を原則としている。この方法で2010年12月までの40人の経験では、初期の肥満例の副作用出現以外の副作用経験はない。また当

科では $\beta$ 遮断薬服用前からCCTA撮影後の外来診察まで、全例に副作用チェックシート(Fig.2)を用いて小児科医が経過観察を行っており、 $\beta$ 遮断薬および造影剤に関する副作用早期発見およびその対応の配慮を行っている。

## 2. 造影剤の使用

CCTAを施行するには造影剤使用は不可欠である。欠点克服のためには造影剤の種類と投与量および注入速度を工夫する必要がある。造影剤の種類に関しては、これまで成人領域のCCTAではヨードイオン濃度350mgI/ml以上の高濃度製剤が用いられてきたが<sup>6)</sup>、高濃度製剤とヨードイオン濃度320mgI/ml以下の低・中濃度製剤の比較で低・中濃度製剤の使用により十分な造影効果を認める

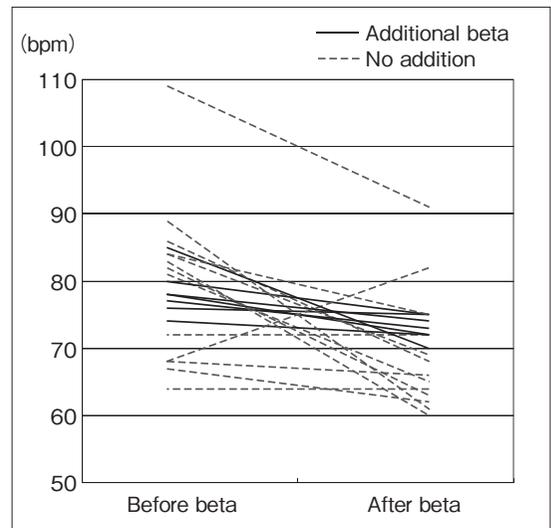


Fig.1 A comparison of heart rate level before and after the administration of beta-blockade on pediatric CCTA : Twenty children with coronary arterial lesions after Kawasaki disease were enrolled for the evaluation of CCTA in the pediatric department of Nihon University Itabashi Hospital. Heart rate level went down to the ideal level in one of seven children administered additional beta-blockade, while no heart rate variation was observed in the other six before and after the administration of beta-blockade.  
#CCTA : coronary computed tomographic angiography

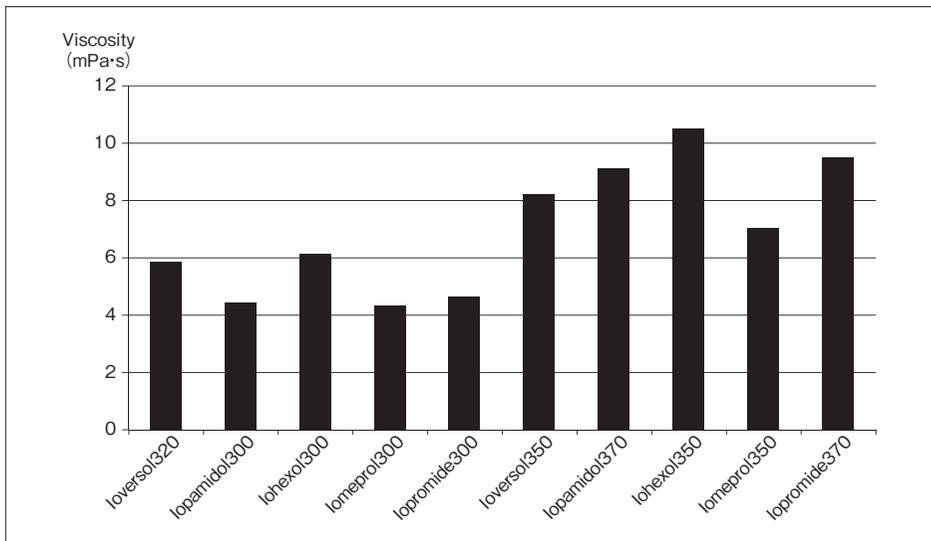
| 氏名                      |              | ID              | 撮影日：平成23年 月 日 |    |     | 身長<br>cm | 体重<br>kg |
|-------------------------|--------------|-----------------|---------------|----|-----|----------|----------|
| 時刻                      | イベント         | $\beta$ 遮断薬 (量) | 心拍数           | 血圧 | 蕁麻疹 | その他副作用   |          |
| :                       | 初回測定時        |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | $\beta$ 内服前  |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | $\beta$ 内服   |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | $\beta$ 内服後  |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| $\beta$ 再投与<br>(あり, なし) |              |                 |               |    |     |          |          |
| :                       | $\beta$ 再投与前 |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | $\beta$ 再投与  |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | $\beta$ 再投与後 |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | 入室時          |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       | 検査後          |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |
| :                       |              |                 |               | /  |     |          |          |

Fig.2 Checking sheet for the evaluation of unexpected events on pediatric CCTA: Blood pressure, heart rate, and general conditions including allergic reactions are checked for by the pediatrician with present checking sheet during CCTA.

#CCTA : coronary computed tomographic angiography

との検討も散見される<sup>7,8)</sup>。高齢者の造影では腎障害に対しての配慮が重要であり、小児でも同様である。また小児では循環血液量が成人と比較して少量であり、造影剤濃度に加えて粘稠度への配慮が重要である。Fig.3は各製剤の粘稠度の比較であり、低・中濃度製剤では高濃度製剤と比較して粘稠度が低くなっている。選択的冠動脈造影での注入圧と粘稠度に関する報告によれば、小径のカテーテルでは注入圧の負荷がかかりやすく低粘稠度造影剤が安全であるとしている<sup>9)</sup>。幼児を対象としたCCTAでは、20ゲージ留置針の挿入は物理的に困難なことが多く22ゲージ留置針による造影が中心となり、幼児では粘稠度の低い低・中濃度製剤の使用が望ましいと考える。造影剤の循環血液量

増加に関して、イオベルソール320mgI/mlはイオヘキソール300mgI/mlと比較して循環血液量増加の割合が少なかったとの報告がある<sup>10)</sup>。これらの事項を参考に、小児領域のCCTAでは造影効果と副作用の側面から低・中濃度製剤の使用が妥当と考えた。また川崎病冠動脈障害の15歳以下の小児20人を対象として、低・中濃度製剤中ではヨードイオン濃度が高いイオベルソール320mgI/mlを用いてCCTAを施行し画質の妥当性と投与量についての検討を行い、全例で良好な画質が得られ平均造影剤投与量は0.8ml/kgであった。注入速度については2.0~3.0ml/秒で行い、この速度であれば22ゲージ留置針であっても過剰注入圧に達することなく安全であり十分な造影効果を期待でき



**Fig.3** A comparison of viscosity of the contrast medium for CCTA  
 Vertical axis shows viscosity of the each contrast medium at a temperature of 37 degrees Celsius. Viscosity of the contrast medium with low concentration is lower than that with high concentration. Data concerning viscosity of the contrast medium are selected from the drug information provided with each agent.  
 #CCTA : coronary computed tomographic angiography

る。造影剤減量にむけて今後time-density curveの効果的な利用が必要であるが、成人と異なり小児では年齢、体重によるバリエーションが多くプロトコル作成での課題が多い。

### 3. 放射線被ばく

CT撮影で放射線被ばくをゼロにすることは不可能である。どのレベルの放射線被ばくが許容されるかについては、診断に有用な画質を確保できるレベルということになる。国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告によれば“放射線の使用は必ず損失より利益の大きいもののみを使用すること”としており、筆者の考えはこれを基本としている。重要なことは小児CCTAにおける“診断に有用な画質”の解釈である。CCTAでは成人の場合、石灰化レベル、プラーク性状やステント内狭窄の判定が目的となることが多い。小児では冠動脈奇形の有無や川崎病冠動脈瘤の有無の判定であれば、ボリュームレンダリング像による全体像が把握できれば十分である。側副血行路形成による完全閉塞後再疎通、高度石灰化を伴う巨大冠動脈瘤前後の

狭窄および退縮傾向にある小冠動脈瘤の判定は、ボリュームレンダリング像だけでは不十分でありmultiplanar reconstruction (MPR) 像やtrans-axial像による冠動脈内部の観察が重要である。小児CCTAの放射線被ばくで考慮されるべき事項の第一として“冠動脈の何を診たいかを明確にすること”である。特に撮影担当の放射線技師、読影を担当する放射線科医師と主治医である小児科医による診療が独立している施設では、現場の放射線技師に対して必ず“冠動脈の何を診たいか”を事前に情報提供することが重要である。

CCTAでは呼吸静止が良好な画質を獲得する上で重要であるが、呼吸静止が不可能な乳児の撮影ではより高度な撮影が要求される。しかし重要なことは芸術的な画像ではなく、診断に利益が生ずる画像を目指すことである。例えば乳児の川崎病冠動脈瘤の評価では瘤形成部位である近位部冠動脈の観察ができれば十分であり、冠動脈末梢まで鮮明に描出される画像は臨床的に要求されない。小児CCTAの放射線被ばくで考慮されるべき事項の第二として“年齢と必要な臨床情報を考えて撮

Table 4 小児CCTAの放射線被ばくで考慮されるべき事項

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1 | 冠動脈の何を診たいかを明確にする        |
| 2 | 年齢と必要な臨床情報を考えて撮影方法を工夫する |
| 3 | 累積検査被ばくの概算量を知る          |
| 4 | 被ばく低減への意識を持ち実践をする       |

影方法を工夫する”ことである。

放射線防護と管理が十分に行われている医療放射線被ばくは低線量放射線被ばくである。低線量放射線被ばくによる確率的影響では、組織・臓器障害のしきい値が存在しない。例えば小児の川崎病冠動脈障害の経過観察では、過去は心臓カテーテル検査による選択的冠動脈造影が、現在ではCCTAを反復している施設が増加していると予測される。確率的影響を完全に排除することは不可能であるが、反復して検査被ばくを受ける可能性のある小児については、どれだけの放射線被ばくが生じているかの概算量を知り検査計画をたてる必要がある。確率的影響を考慮するのであれば、家族へのインフォームドコンセントを含めて累積検査被ばく量を把握しておくことが重要である。小児CCTAの放射線被ばくで考慮されるべき事項の第三として“累積検査被ばくの概算量を知る”ことである。

実効線量が臓器別に異なること、同様な撮影条件であっても成人と小児では被ばく量が異なることも、放射線被ばくを考える上で重要なことである。実効線量を算出する上で撮影部位別の係数を利用するが、心臓は胸部として一括されており理想的な係数が使用されているかどうかの問題がある。また成人と小児の比較として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による小児CTガイドライン<sup>11)</sup>によれば、成人と同様な撮影条件の場合では小児の被ばく量は成人の2から5倍になると表記されている。小児CCTAの放射線被ばくで考慮されるべき事項の第四として“被ばく低減への意識を持ち実践をする”ことである。

川崎病冠動脈障害の評価目的でCCTAを施行した15歳未満22人を対象として、管電圧120kV設定群と80kV設定群でdose length productと画質についての比較検討を行った。平均dose length

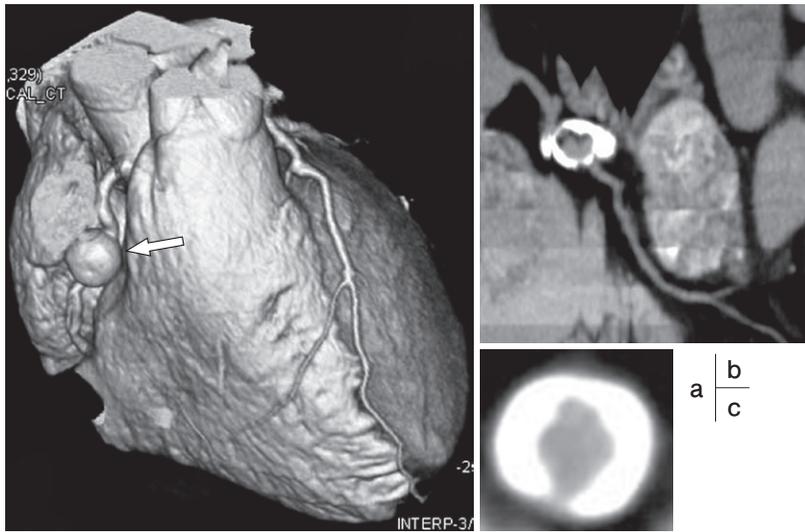
productは120kV群と80kV群で各々402mGy・cm、77mGy・cmと有意差を認めたが、両群間で画質に差を認めなかった。80kVによる低電圧撮影でも画質を保持しての撮影が可能であることが小児CCTAで臨床的に実証された。1施設の成績であるが低電圧撮影による小児CCTAで、“診断に有用な画質”を得るための線量レベルを知るための指標となるであろう。低電圧撮影で良好な画質が得られることに関するK吸収端理論によれば、ヨードのK吸収端は33.4keVで管電圧120kV、80kVでの実行エネルギーは各々48.5keV、41.6keVである。これは管電圧80kVによる撮影が120kV撮影よりもよりコントラストを獲得しやすいことを意味しており、当科では体重25kg未満の患者に対して積極的に管電圧80kVによる撮影を行っている。

小児CCTAの放射線被ばくで考慮されるべき4つの事項(Table 4)については、筆者が日常臨床で意識していることであり、小児CCTA撮影に関係する放射線技師、小児放射線科医および小児科医にも参考にしていただきたい事項と考えている。

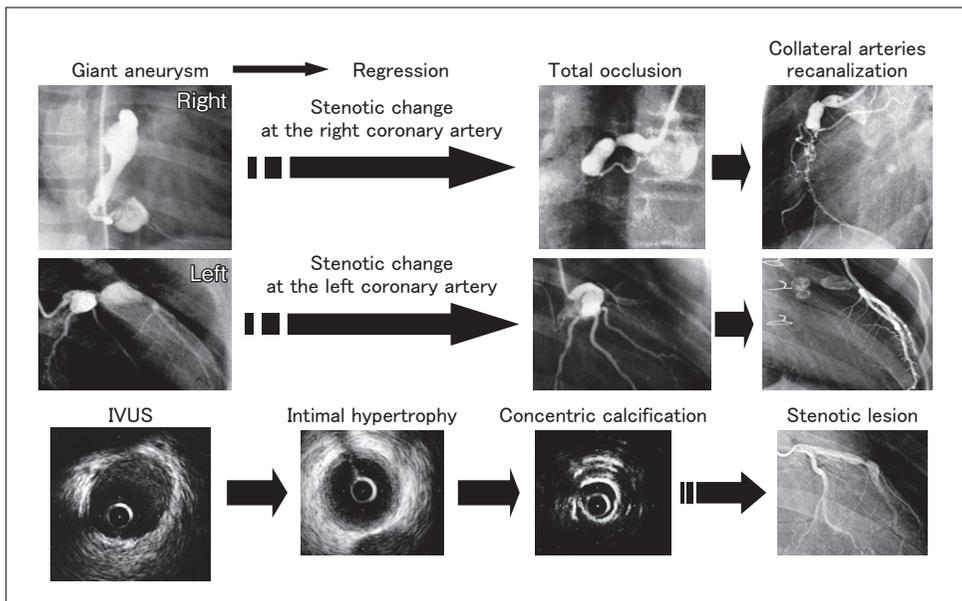
\*構築画像についての補足：ポリウムレンダリング像とはFig.4aに示すような全体像である。Multiplanar reconstruction (MPR) 像はFig.4bに示すような冠動脈中心部を起始から末梢まで追跡した縦断面像である。Trans-axial像はFig.4cに示すような冠動脈走行の軸に対しての横断面像である。

## 川崎病巨大冠動脈瘤の自然歴とCCTA読影のポイント

小児CCTAの対象(Table 1)として最も多い疾患は川崎病冠動脈障害である。その自然歴を知るとは、小児科医だけでなく放射線科医や放射線技師にとっても有益な情報で、CCTA読影の際に役立つ情報である。Fig.5に川崎病巨大冠動脈瘤の自然歴を示す。冠動脈内径が8mmを越える冠動脈瘤を巨大瘤と定義しているが<sup>12)</sup>、巨大瘤形成例では退縮をすることは稀で、高度狭窄や完全閉塞による冠動脈急性閉塞に進展する。特に右冠動脈病変では無症候性に完全閉塞をきたし、側副血路形成による閉塞後再疎通を認める例が少なくない。また巨大冠動脈瘤は経過中に内膜肥厚から高度石



**Fig.4** Fifteen-year-old girl with a concentric calcified giant coronary aneurysm after Kawasaki disease : A giant aneurysm (arrow) at the proximal right coronary artery is visualized in the volume rendering image(a). The giant aneurysm includes severe calcification in the multiplanar reconstructed image (b). The severe calcified aneurysm is covered with concentric calcification in the trans-axial image.



**Fig.5** Natural history of giant aneurysms after Kawasaki disease: The clinical progress of the right giant coronary aneurysm at the upper column, the left giant coronary aneurysm at the middle column, and coronary wall of the giant coronary aneurysm evaluated by the intravenous ultrasound at the lower column are noted. The intimal hypertrophy with the giant aneurysm develops to a stenotic lesion as the natural course after Kawasaki disease at the lower column.

Table 5 川崎病冠動脈障害のCCTA読影ポイント

| 撮影時期   | 自然歴                             | 読影ポイント   |
|--------|---------------------------------|--|
| 発症～6か月 | 冠動脈瘤形成, 血栓形成                    | 瘤内血栓の有無および性状<br>複数冠動脈枝に及ぶ瘤かどうかの判定              |
| 6か月～2年 | 血栓形成, 狭窄の進行,<br>完全閉塞, 石灰化形成     | 瘤内血栓の有無および性状<br>狭窄の有無と進行状況<br>石灰化の有無と程度        |
| 2年～遠隔期 | 狭窄の進行, 完全閉塞,<br>石灰化の進行, 側副血行路形成 | 狭窄や石灰化の進行状況と程度<br>完全閉塞後の側副血行路形成の状況             |
| 遠隔期    | 新所見として有意狭窄,<br>完全閉塞             | 6か月から1年以内に再CCTAを考慮<br>偽陽性の可能性が強ければ心カテ          |
| 遠隔期    | 内科的インターベンション後                   | インターベンション部位の開通程度<br>治療部位末梢の血流程度(造影効果)          |
| 遠隔期    | 冠動脈バイパス術後                       | 吻合部狭窄の有無<br>吻合部位末梢の血流程度(造影効果)<br>バイパス血管の過伸展の有無 |

灰化を伴い狭窄性病変に進展することが多く, 狭窄評価は治療方針の決定に重要である. 高度石灰化近傍の狭窄評価では偽陽性を認めることがあるが, 石灰化が全周性か辺在性であるかのCCTAによる判定は治療方針の決定に有用である<sup>13)</sup>. 川崎病冠動脈障害のもう一つの特徴として側副血行路形成がある. 冠動脈瘤形成前後の血管はしばしば高度狭窄を伴い完全に閉塞することもある. そ

の閉塞機転を修復するために側副血行路が発達することが多い. 側副血行路形成にはbraid-like lesions, bridging vessels, pericoronary communications (Fig.6)の3つのパターンがある.

Table 5に川崎病冠動脈障害のCCTA読影ポイントを示すが, 川崎病冠動脈障害の特徴と巨大冠動脈瘤の自然歴を念頭に置くと理解しやすい. 川崎病罹患から6か月ぐらいまでの時期は, 冠動脈

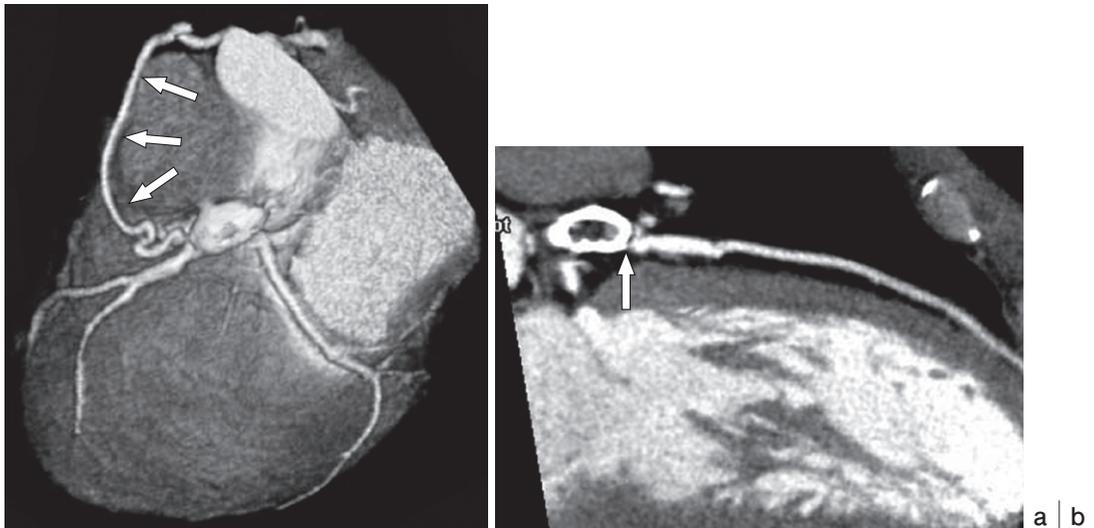


Fig.6 Twenty-year-old man with pericoronary communications after Kawasaki disease : Pericoronary communications are visualized from the left proximal coronary artery to the right one in the volume rendering image (a). Total occlusion (arrow) is detected at the exit of the concentric calcified giant aneurysm in the multiplanar reconstructed image (b).

瘤自身の評価，とくに瘤内血栓の有無についての評価が重要である。その後発症2年までに完全閉塞を含む高度狭窄へ進展しやすく，狭窄性病変の有無とその評価が重要となる。その後の遠隔期に関しては石灰化病変や側副血行路の評価が重要となってくる。内科的インターベンションや冠動脈バイパス術前では高度狭窄の評価が，術後では治療末梢の血流評価が重要であるが，しばしば側副血行路形成など冠動脈形態評価では評価困難な心筋血流バランスを生じている可能性もあり，核医学検査の心筋血流イメージングによる心筋血流評価を併用することが重要と考える。有意狭窄や完全閉塞の新所見を認めた場合は，6か月から1年以内の再CCTAを考慮する。Fig.7は高度狭窄を認め治療適応と考えた6歳の男児であるが，管電圧80kVで撮影し実効線量は2.0mSvであった。

### 冠動脈障害の複合評価 ～核医学との複合評価の実際～

当科では川崎病を中心とした冠動脈障害に対して複合評価を行っている。Fig.8に当科の心臓1日検査のスケジュールを示す。心臓カテーテル検査による反復入院を強いられてきた川崎病冠動脈

障害の患者および家族にとって，検査時間節約として1日検査の意義は大きい。

核医学検査の心筋血流イメージングによる心筋血流評価の実際について述べる。Fig.9に示すように心筋血流イメージングは核種の違い，安静時と負荷撮像のタイミングでいくつかの方法に大別される。当科では原則としてテクネシウム心筋血流イメージング安静時先行1日法を施行している。当科では従来安静時撮像を塩化タリウムで，負荷撮像をテクネシウム心筋血流製剤で行っていたが<sup>14)</sup>，小児期から頻回の検査を強えられる患者への放射線被ばく低減の配慮から，安静時撮像を被ばく量の多い塩化タリウムからテクネシウム心筋血流製剤へ変更した。負荷方法についてはエルゴ

|            |   |       |       |             |
|------------|---|-------|-------|-------------|
| Blood exam | Myocardial Perfusion Image (Technetium-99m) | Echo  | CCTA  |             |
|            |   |       |       |             |
| 9:00       | 9:15  | 11:30 | 12:00 | 14:00~15:00 |

Fig.8 Time schedule of 1-day cardiac clinic in the pediatrics department of Nihon University Itabashi Hospital

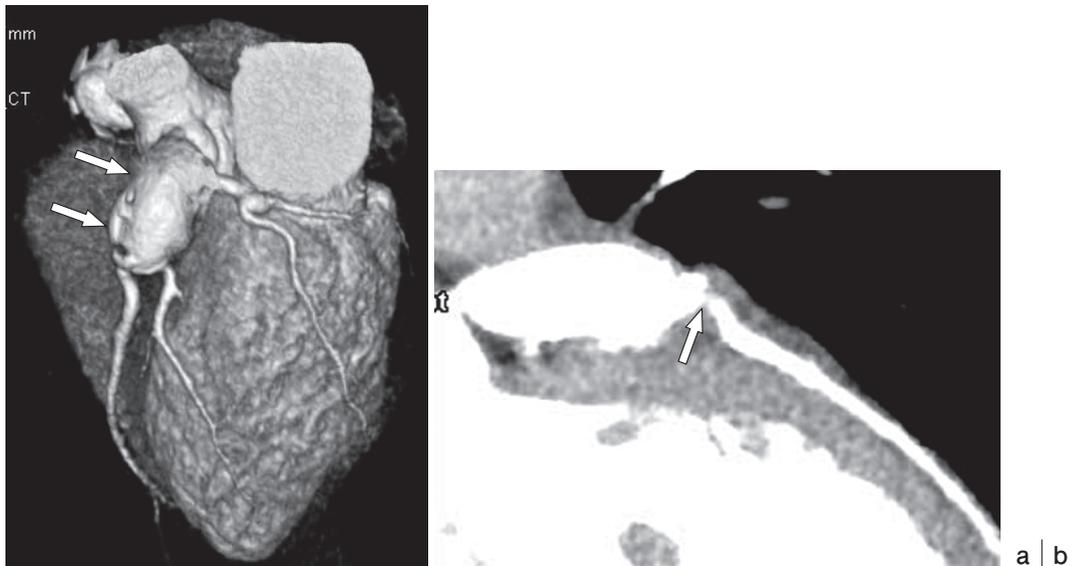


Fig.7 Six-year-old boy with left giant coronary aneurysm after Kawasaki disease : A giant aneurysm (arrows) at the proximal left coronary artery is visualized in the volume rendering image (a). Severe stenotic lesion (arrow) that should be treated is detected at the exit of the giant aneurysm in the multiplanar reconstructed image (b).

メーター運動負荷が可能な年齢では運動負荷を単独で行い、運動負荷単独では負荷が不十分と予測される小学校低学年以下の小児では薬物負荷併用または薬物負荷単独で行う。鎮静が必要な乳幼児では薬物負荷単独で行うが、虚血のリスクが高いまたはリスク不明の患者には2日法として安静時撮像単独とCT撮影をまず施行し後日負荷撮像を行っている。薬物負荷には歴史的にジピリダモール、ATP、ドブタミンによる方法があるが、本邦で心臓疾患診断補助剤として認可をされているのはアデノシンのみであり、当科ではアデノシンを使用しており川崎病の小児に対する安全性の報告もある<sup>15)</sup>。

CT、心筋血流イメージングを中心とした複合検査による総合評価として最も重要な点は、CTによる冠動脈形態評価と心筋血流イメージングによる心筋血流評価の所見が一致しているかどうかである。当科では経過観察方法を決定するにあたり、これらの所見が不一致の場合、前回検査と比較して軽度の所見進行や軽症の新所見を認める患者では6か月から1年以内に再複合検査を行う方針としている。前回検査と比較して著しい所見進行、重症の新所見の出現や治療適応と考えら

れる患者または再現性の高い不一致を認めた場合は、心臓カテーテルによる選択的冠動脈造影を積極的に行う方針としている。障害部位や病状にあったモダリティの選択が重要であり、その中で低侵襲性検査をどのように活用するかが小児の検査方針として重要である。

### おわりに

心臓CT検査では造影剤使用、放射線被ばくの不利があり、CCTAではこれに加えてβ遮断薬使用の不利がある。特に放射線被ばくに対しては、確率的影響を含め慎重に検査計画をたてる必要がある。しかし心臓CT検査が有益である場面は多く、利益がリスクを上回る状況では積極的に使用するべきである。その指標としてCCTAであればTable 4のような放射線被ばくで考慮されるべき事項を整理し、小児科医、放射線科医や放射線技師などの医療者側だけでなく患者家族が納得のいく撮影を施行することが必要である。

小児心臓CTに関する本稿の作成は、日本大学医学部内科学系循環器内科学分野主任教授の平山篤志博士、同放射線医学系画像診断学分野主任教授の阿部 修博士、長年にわたり小児心臓病の指

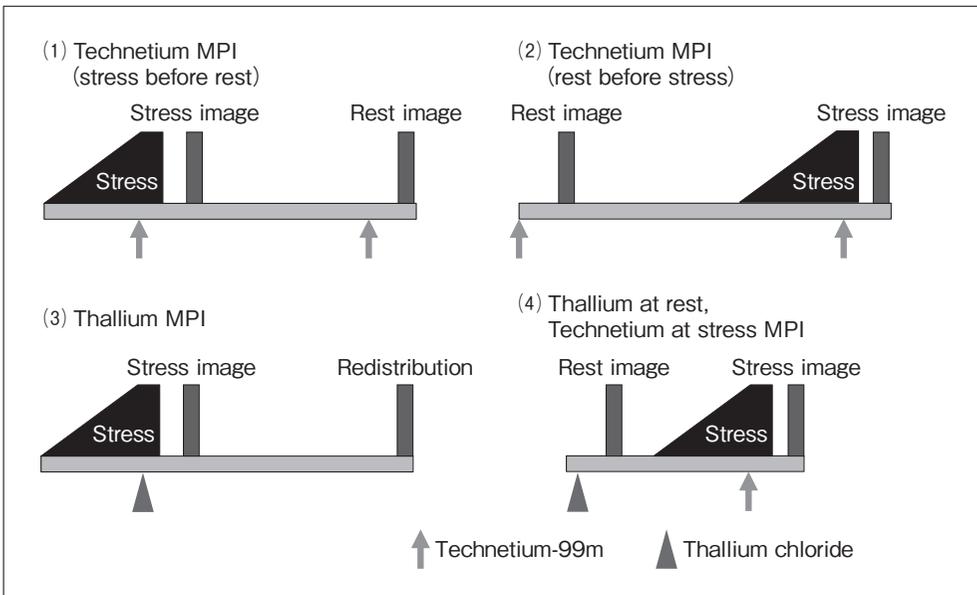


Fig.9 Schedule of the myocardial perfusion image in each method : One-day schedule with rest before stress myocardial perfusion image using technetium-99m is usually performed in the pediatrics department of Nihon University Itabashi Hospital.

導をしていただいている小児科の住友直方博士、唐澤賢祐博士、鮎澤 衛博士およびCT検査室と核医学検査室の放射線技師の方々の理解と援助をいただいたおかげであり深謝いたします。

#### ●文献

- 1) Sato Y, Kato M, Inoue F, et al : Detection of coronary artery aneurysms, stenoses and occlusions by multislice spiral computed tomography in adolescents with Kawasaki disease. *Circ J* 2003 ; 67 : 427-430.
- 2) Tariq R, Kureshi SB, Siddiqui UT, et al : Congenital anomalies of coronary arteries : Diagnosis with 64 slice multidetector CT. *Eur J Cardiol* 2011 Jul 11. [Epub ahead of print]
- 3) Ou P, Celermajer DS, Marini D, et al : Safety and accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography in children after the arterial switch operation for transposition of the great arteries. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008 ; 1 : 331-339.
- 4) 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.
- 5) Zhang J, Fletcher JG, Scott Harmsen W, et al : Analysis of heart rate and heart rate variation during cardiac CT examinations. *Acad Radiol* 2008 ; 15 : 40-48.
- 6) Miller JM, Dewey M, Vavere AL, et al : Coronary CT angiography using 64 detector rows : methods and design of the multi-centre trial CORE-64. *Eur Radiol* 2009 ; 19 : 816-828.
- 7) Johnson PT, Pannu HK, Fishman EK : IV contrast infusion for coronary artery CT angiography: Literature review and results of a nationwide survey. *AJR Am J Roentgenol* 2009 ; 192 : W214-W221.
- 8) 大島秀行, 堀 義孝, 山本弘志, 他 : 多種濃度の造影剤を用いた冠状動脈の描出結果について - 300mgI/ml, 320mgI/mlを用いたCTA - . *日本放射線技術学会東京部会雑誌* 2004 ; 92 : 19-21.
- 9) Kern MJ, Roth RA, Aguirre FV, et al : Effect of viscosity and iodine concentration of nonionic radiographic contrast media on coronary angiography in patients. *Am Heart J* 1992 ; 123 : 160-165.
- 10) 佐久間一郎, 佐久間研二, 柿木滋夫, 他 : 非イオン性低浸透圧性造影剤Ioversol静注による循環血液量の変化. *臨床薬理* 1996 ; 27 : 87-88.
- 11) 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〜. 日本医学放射線学会ホームページ (<http://www.radiology.jp/>).
- 12) 小川俊一, 赤木禎治, 石井正浩, 他 : (循環器病の診断と治療に関するガイドライン ; 2007年度合同研究班報告) 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 (2008年改訂版). 日本循環器学会ホームページ (<http://www.j-circ.or.jp/>) 公開のみ.
- 13) 金丸 浩, 唐澤賢祐, 市川理恵, 他 : 川崎病重症冠動脈障害のマルチスライスCTによる評価の有用性. *J Cardiol* 2007 ; 50 : 21-27.
- 14) Kim Y, Goto H, Kobayashi K, et al : A new method to evaluate ischemic heart disease : combined use of rest thallium-201 myocardial SPECT and Tc-99m exercise tetrofosmin first pass and myocardial SPECT. *Ann Nucl Med* 1999 ; 13 : 147-153.
- 15) Prabhu AS, Singh TP, Morrow WR, et al : Safety and efficacy of intravenous adenosine for pharmacologic stress testing in children with aortic valve disease or Kawasaki disease. *Am J Cardiol* 1999 ; 83 : 284-286.