

特集

第49回日本小児放射線学会シンポジウムより

CT被ばく：小児CT被ばくの現状、各CT機器メーカーの対応**2. 小児先天性心疾患におけるCT検査と
その被ばくについて**

佐藤修平, 金澤 右

岡山大学大学院 医歯薬学総合研究科 放射線医学

**CT examination and radiation dose for children
with congenital heart diseases**

Shuhei Sato, Susumu Kanazawa

Department of Radiology, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences

Abstract

Contrast enhanced CT has been an important tool in diagnosing and managing congenital heart diseases. In our hospital, we use two new generation CT scanners, SOMATOM Definition Flash (Siemens) and Aquilion ONE Vision Edition (Toshiba). High quality images are obtained with low radiation dose with both CT scanners. Definition Flash is a high-pitch dual spiral CT and has very high temporal resolution. High resolution images are obtained without ECG-gating. The other advantage of Definition Flash is that we can select low voltage scan, 70kV. Aquilion ONE is an area detector CT, and high quality images are obtained without table movement. The other advantage of Aquilion ONE is that we can use Real prep (contrast medium monitoring function). We can obtain contrast enhanced CT images at the optimal timing by using Real prep.

Keywords : *Computed tomography, Congenital heart disease, Radiation dose*

はじめに

先天性心疾患の画像診断において中心的な役割を果たしているのは間違いなく心臓超音波検査であり、その低侵襲性、利便性は他のモダリティを凌駕している。しかしながら、近年のCT装置の発達に伴って、造影CT検査の果たす役割が増加していることも事実である¹⁾。

造影CTに求められる役割は、基本的には超音波検査での評価が困難な部位の評価であるので、心内の評価よりもむしろ心周囲構造の評価が主になる。以下に先天性心疾患における造影CTの主な役割をまとめておく。

1. 大動脈系の評価

- ・大動脈縮窄症、大動脈弓離断症などの大動脈弓部および主要分枝
- ・MAPCA (major aorto-pulmonary collateral artery) ; 肺動脈閉鎖症などに合併する大動脈から肺動脈への太い側副路

2. 肺動静脈系の評価

- ・特に肺動脈径や狭窄の評価は重要で、PA indexは手術適応の指標に用いられる (PA index = $(\text{RPA面積} + \text{LPA面積}) \text{ m}^2 / \text{体表面積 m}^2$)
- ・肺静脈狭窄

3. 冠動脈の評価

4. 無脾症・多脾症の診断

5. 大血管拡張に伴う気管狭窄の評価

当院では年間約250件の小児先天性心疾患に対する造影CT検査を施行している。これは5年前の検査数の約2倍である。検査数増加の背景には患者数の増加もあるが、新世代のCT装置導入によって低侵襲性に高画質かつ高解像度の画像を簡便に得ることができるようになったことが、検査数増加の主たる要因と考えられる^{1,2)}。造影CTが施行された患児年齢のおおよその内訳は、1歳未満が約4割、1～5歳が約4割、6歳以上が約2割である。本稿では、当院で使用している2台の新世代CT装置による造影CTプロトコルを紹介し、それぞれのCT装置の特長や被ばく線量についても言及する。

当院での造影CTプロトコル

当院で先天性心疾患患児に使用しているCT装置は、シーメンス社製SOMATOM Definition Flash (2011年6月より稼働) および東芝社製Aquilion ONE Vision Edition (2012年8月より稼働)である。Definition Flashは2管球型のCTであり、先天性心疾患患児に対しては2管球が高速で回転するFlash Spiral modeにて撮影を行っている。Aquilion ONE Vision Editionは面検出器型CTであり、心電図同期下の1 beat scanで撮影を行っている。それぞれの詳細な撮影条件をTable 1に示す。

患児の鎮静については、原則として5歳以下の児に対してはsecobarbital sodium (4mg/kg)を用いて鎮静下に撮影する。6歳以上の児についても必要に応じて鎮静を行っている。

造影剤はIopamidol 300mg/mlを用い、体重あたり2mlを原則とする。体重が5kg以下の児に対しては静注時の圧を下げるために生食で倍量希釈して用いる。原則として20～30秒で入り終わるように注入速度を設定し、注入直後に撮影を開始する。造影剤は自動注入器を用いて行い、原則としてテストインジェクションや生理食塩水での後押しは行っていない。施設によっては造影剤を手押しで静注している場合もあるようだが、自動注入器の圧リミッター設定を行っておけば安全かつ安定した静注が可能である。また、生理食塩水での後押

Table 1 2社の新世代CTの撮影条件

	SOMATOM Definition Flash	Aquilion ONE Vision Edition
心電図同期	なし	あり
管電圧	CARE kV (70～100kV)	80kV
管電流	CARE Dose 4D	Volume EC
ピッチ	3.0	—
コリメーション厚	128×0.6mm	320×0.5mm
スライス厚	0.6mm	0.5mm
再構成間隔	0.3mm	0.5mm
逐次近似再構成法	SAFIRE	AIDR 3D
その他	—	Real prep使用

SAFIRE; Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction
AIDR 3D; Adaptive Iterative Dose Reduction 3D

しを行えばアーチファクトの少ない再構成画像を作成可能であるが、当院の患児は重症例も多く水分負荷を極力少なくするために生理食塩水での後押しは行っていない。

SOMATOM Definition Flash

このCT装置の最大の利点は75msecという高い時間分解能にある³⁾。このため、冠動脈をターゲットにする場合以外は、原則として心電図同期なしに撮像している。

また、このCT装置のもうひとつの特長は70kVという低電圧で撮影が可能である点である。撮影には自動管電圧変調機構(CARE kV)を用いており、これは被写体の大きさや撮像部位・目的に応じて管電圧を最適化することによりコントラストノイズ比を最適化し被ばくを低減する技術である⁴⁾。逐次近似再構成法にはSAFIRE (Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction)を用いている。

当院にて2011年7月から2012年7月までにSOMATOM Definition Flashを用いて撮影された小児先天性心疾患238症例(167名)の検討では、CTDI_{vol} (volumetric CT dose index) は1.06±1.14mGy、DLP (dose-length product) は29.73±42.98mGycm、実効線量は1.59±1.10mSvと低線量での撮影が可能であった。CARE kVにて70kVが選択された症例は167例、80kVが選択された症例

Table 2 80kV群と70kV群の比較

Tube current	80kV	70kV
Examination	59	167
Body weight (kg)	15.4 ± 6.2*	6.3 ± 3.6*
CTDI _{vol} (mGy)	1.14 ± 0.19	0.79 ± 0.08
DLP (mGycm)	34.93 ± 11.03	19.34 ± 5.05
Effective dose (mSv)	1.70 ± 0.44*	1.44 ± 0.26*

CTDI_{vol} ; volumetric CT dose index

*p<0.001

DLP ; dose-length product

は59例であった。それぞれの群の詳細を Table 2 に示す。体重が10kg以下の児は70kVが選択される傾向にあることがわかる。また当然のことながら、70kVで撮影された群の方が実効線量は有意に低い(p<0.001)。

Fig.1に示す症例は、初回は70kVが選択されたが、2回目はやや体重が増加したため80kVが選択された、肺動脈閉鎖兼心室中隔欠損症術後の6歳女児である。造影条件および撮影タイミングはほぼ同様であるが、70kVでの撮影の方が造影剤の吸収値が視覚的にもやや高いことがわかる。実効線量も70kVでの撮影の方がやや低く、画質の点から

も被ばくの点からも、こういった症例では70kVでの低電圧撮影が望ましいと考える。また、低電圧で撮影することで造影剤の減量も可能と思われる。

更に3段階で視覚的評価を行った。画質が良好で検査目的を十分達成できた症例が185例(78%)、画質がやや不良であるが検査目的はほぼ達成できた症例が36例(15%)、画質不良で診断困難であった症例が17例(7%)であった。診断困難であった症例としては、Fontan型手術後の症例が7例と最多であった。その原因としては、どこから造影剤を静注しても肺動脈の造影効果に左右差が生じてしまうという解剖学的な理由が大きい。

Aquilion ONE Vision Edition

このCT装置の特長は、面検出器型CTであるという点である。従って、16cmの撮影範囲であれば寝台がほとんど移動することなく安全に高速撮影が可能である⁵⁾。原則として心電図同期下に撮影を行っている。管電圧は80kV固定である。逐次近似再構成法にはAIDR 3D (Adaptive Iterative Dose Reduction 3D)を用いている。

先天性心疾患の撮影をする上でのこのCT装置の利点のひとつは、Real Prep (造影剤モニタリン

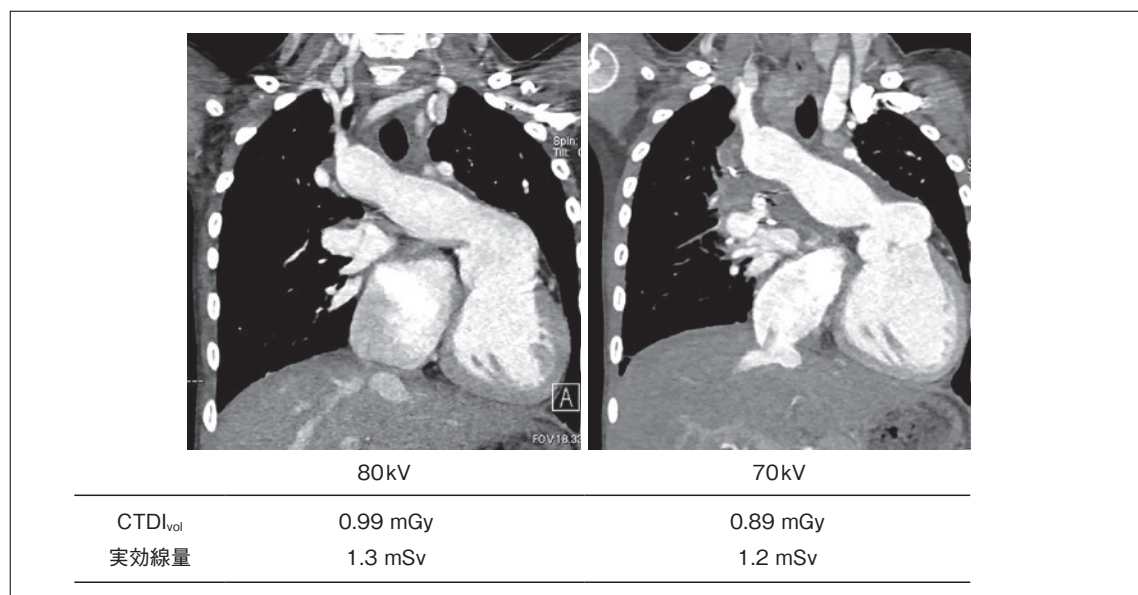


Fig.1 6歳女児；肺動脈閉鎖兼心室中隔欠損症術後
70kVでの撮影の方が造影剤のCT値が高く実効線量は低い。

グ機能)が併用できるという点である。先天性心疾患の血行動態は複雑であり、また術式によってダイナミックに血行動態が変化する。本来であればテストボーラスインジェクションを行いたいところであるが、造影剤使用量や水負荷は最低限に押さえないといけない。Real Prepを使用すれば、造影剤使用量を増やすことなく目的部位に濃い造影剤が到達したことを目視で確認して撮影することができる。デメリットとしてはReal Prep分の被ばくが若干増えることである。

当院にて2012年8月から2013年6月までにAquilion ONE Vision Editionを用いて撮影された小児先天性心疾患90症例(71名)の検討では、CTDI_{vol}は 2.76 ± 2.86 mGy、DLPは 39.67 ± 36.29 mGycm、実効線量は 0.99 ± 0.50 mSvと低線量での撮影が可能であった。

Real prepを使用すると目視での造影効果の確認が可能であるので、連続26症例で造影剤量の低減を試みた。積極的に造影剤低減を試みた14症例と標準量の造影剤を使用した12症例では、大動脈および肺動脈でのCT値に有意な差は見られなかった(Table 3)。造影剤低減群での平均造影剤使用量

Table 3 Real prepを用いて造影剤低減を試みた群と標準量の造影剤を使用した群でのCT値の比較

	標準群 (n=12)	低減群 (n=14)	p値
AortaのCT値 (HU)	451 ± 132	454 ± 118	0.96
PAのCT値 (HU)	441 ± 128	473 ± 93	0.59

は、標準群の81.3%であった。Fig.2に示す症例は、肺動脈閉鎖兼心室中隔欠損症の児であり、術前(生後16日)のCTはSOMATOM Definition Flashにて撮影し、術後(生後3か月)のCTはAquilion ONE Vision Editionにて撮影を行った。術前は肺動脈の血流は動脈管を介してのみ供給されているが、術後は右室から肺動脈が直接起始し動脈管が閉鎖していることがよくわかる。術前後とも3DCTの画質は良好であるが、Aquilion ONE Vision Editionで撮影した術後CTでは実効線量は更に低く、使用した造影剤量も少なくなっていることがわかる。

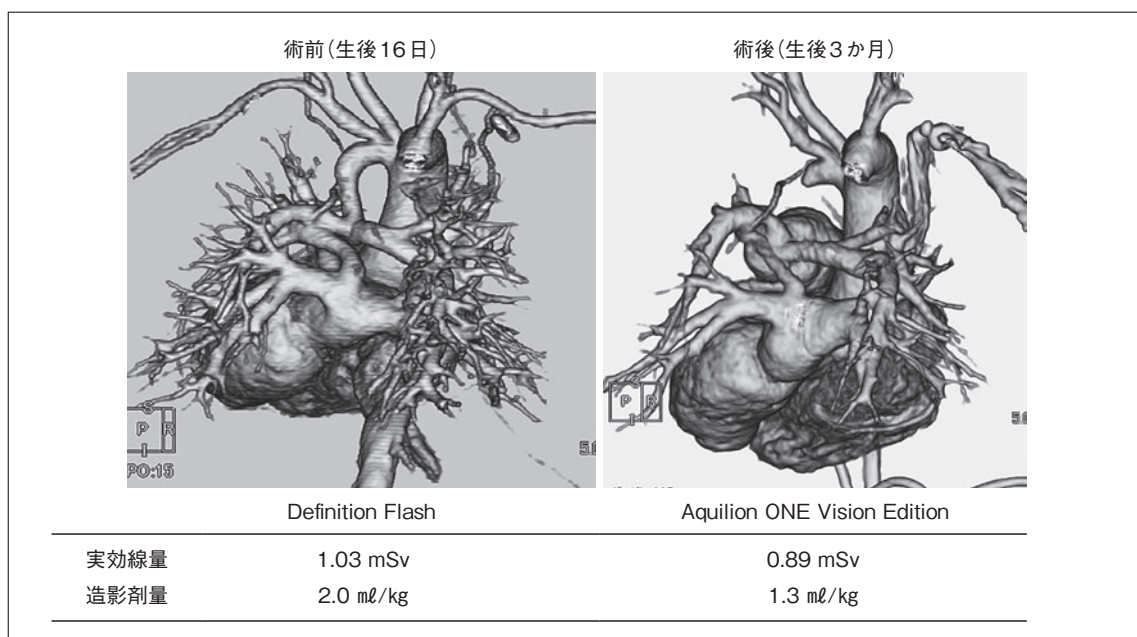


Fig.2 肺動脈閉鎖兼心室中隔欠損症

生後16日の術前CTと生後3か月の術後CTを示す。両者とも画質は良好であるが、Aquilion ONE Vision Editionで撮影した術後CTでは造影剤の低減が可能であった。

まとめ

当院で用いている2台の新世代CTの比較をTable 4にまとめた。我々の経験では64列MDCTを用いていた頃と比べると、どちらのCTでも約1/10の被ばく線量で、なおかつ高画質、高解像度の撮影が可能となっている⁶⁾。CTによる小児の将来的な発がん性を考えた場合、今後は新世代CTによる低線量撮影が主体になっていくことは間違いない^{7,8)}。また時間分解能の点ではSOMATOM Definition Flashに軍配が上がるが、Aquilion ONE Vision EditionにはReal prepが使えることや寝台が殆ど動かないという利点がある。

先天性心疾患の診療において、CTは欠くことのできないモダリティとなっており、当院でも小児循環器科、心臓血管外科からの信頼は厚い。我々放射線科医に求められることは、できるだけ低線量で検査目的に即した撮影方法および画像再構成方法を適切に決定し、治療に直結する情報を速やかに提供していくことである。先天性心疾患チームに放射線科が積極的に関与していくことが、不幸にも心疾患を持って生まれた子供たちの迅速な診断・治療に繋がると信じている。

Table 4 2社の新世代CTの比較

	SOMATOM Definition Flash	Aquilion ONE Vision Edition
時間分解能	非常に高い (75 msec)	高い (135 msec)
被ばく	低線量 (1.59 mSv)	低線量 (0.99 mSv + α)
寝台移動	高速で移動	ほとんどなし
それぞれの 特長	70kVでの撮影が可能 造影剤低減可能	Real prep併用可能 造影剤低減可能 検出器幅が16cm

●文献

- 1) Westwood M, Al M, Burgers L, et al : A systematic review and economic evaluation of new-generation computed tomography scanners for imaging in coronary artery disease and congenital heart disease : Somatom Definition Flash, Aquilion ONE, Brilliance iCT and Discovery CT750 HD. Health Technol Assess 2013 ; 17 : 1-243.
- 2) Han BK, Overman DM, Grant K, et al : Non-sedated, free breathing cardiac CT for evaluation of complex congenital heart disease in neonates. J cardiovasc Comput Tomogr 2013 ; 7 : 354-360.
- 3) Bamberg F, Marcus R, Sommer W, et al : Diagnostic image quality of a comprehensive high-pitch dual-spiral cardiothoracic CT protocol in patients with undifferentiated acute chest pain. Eur J Radiol 2012 ; 81 : 3697-3702.
- 4) Niemann T, Henry S, Faivre JB, et al : Clinical evaluation of automatic tube voltage selection in chest CT angiography. Eur Radiol 2013 ; 23 : 2643-2651.
- 5) Al-Mousily F, Shifrin RY, Fricker FJ, et al : Use of 320-Detector Computed Tomographic Angiography for Infants and Young Children with Congenital Heart Disease. Pediatr Cardiol 2011 ; 32 : 426-432.
- 6) Sato S, Akagi N, Uka M, et al : Interruption of Aortic arch: diagnosis with multidetector computed tomography. Jpn J Radiol 2011 ; 29 : 46-50.
- 7) 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.
- 8) Smith AB, Dillon WP, Lau BC, et al : Radiation Dose Reduction Strategy for CT Protocols. Radiology 2008 ; 247 : 499-506.