

64列multislice CTによる乳幼児の冠動脈の評価

田原 昌博¹⁾, 脇 千明¹⁾, 小松 弘明¹⁾
林 知宏¹⁾, 佐藤 友保²⁾

あかね会土谷総合病院小児科¹⁾, 放射線科²⁾

Key words :

coronary artery, computed tomography, cardiac phantom, reconstruction algorithm, congenital heart disease

Assessment of Coronary Arteries in Infants by 64-Detector-row Multislice Spiral Computed Tomography

Masahiro Tahara,¹⁾ Chiaki Waki,¹⁾ Hiroaki Komatsu,¹⁾ Tomohiro Hayashi¹⁾ and Tomoyasu Sato²⁾

Departments of ¹⁾Pediatrics and ²⁾Radiology, Tsuchiya General Hospital, Hiroshima, Japan

Background: Heart rate is one of the most important factors for optimal visualization of cardiac CT. We investigated the relation between heart rate and visibility of the coronary arteries with 64-detector row multislice spiral computed tomography (MSCT).

Patients and Methods: Three simulated coronary artery stenosis models (3, 4, and 5 mm) were attached to a moving heart phantom and scanned using 64-detector row MSCT. The heart rate of the phantom was varied between 60 and 150 beats per minutes (bpm). The visibility of simulated coronary arteries was assessed in comparison between cardiac half reconstruction (CHR) and multi-sector reconstruction (MSR). Then contrast-enhanced 64-detector row MSCT was performed in 16 patients under 3 years of age with congenital heart disease and Kawasaki disease without heart rate control. The visibility of coronary artery segments was graded on a three-point scale.

Results: The simulated coronary artery patency was detected in the moving phantom at maximum heart rate (150 bpm) with MSR. Minimum lumen diameter was 0.75 mm. ECG-gated cardiac CT was performed in 9 patients, and non-ECG-gated cardiac CT was performed in 7 patients. The origin and proximal course of coronary arteries in all 9 patients with ECG-gated acquisition were visually evaluated.

Conclusions: 64-detector row MSCT with ECG-gated acquisition is able to visualize the origin and proximal course of coronary arteries in infants under 3 years of age.

要 旨

背景：心臓のmultislice CT(MSCT)で重要な要因の一つに被検者の心拍数がある。今回、64列MSCTを用いて高心拍が画像に及ぼす影響について検討した。

方法：3～5mm径の模擬冠動脈狭窄モデルを心臓動態ファントムに装着し、64列MSCTで撮影し、心拍数60～150bpmでの画像の変化を画像再構成アルゴリズムであるcardiac half reconstruction(CHR)とmulti-sector reconstruction(MSR)とで比較した。一方、先天性心疾患・川崎病の3歳未満の16名を対象に64列MSCTを施行し、得られた画像での冠動脈枝を3段階に評価した(心拍数抑制未施行)。

結果：ファントム上MSRを用いた画像では心拍数150bpmでも最小径0.75mmまでの内腔狭窄が描出可能であった。実際の患者で得られた画像では、心電図同期撮影を行った9名すべてで冠動脈起始部・近位冠動脈枝の描出が可能であった。

結論：64列MSCTでは心電図同期撮影を行うことで3歳未満の児に対しても冠動脈起始部・近位冠動脈枝の走行の評価が可能であった。

はじめに

近年、multislice CT(以下MSCT)の多列化が進み、撮

影時間の高速化および体軸方向の空間分解能の向上により、高画質の画像を短時間に得ることが可能となった。小児においても、先天性心疾患・冠動脈の評価

平成18年12月18日受付
平成19年12月12日受理

別刷請求先：〒730-8655 広島市中区中島町 3-30
あかね会土谷総合病院小児科 田原 昌博

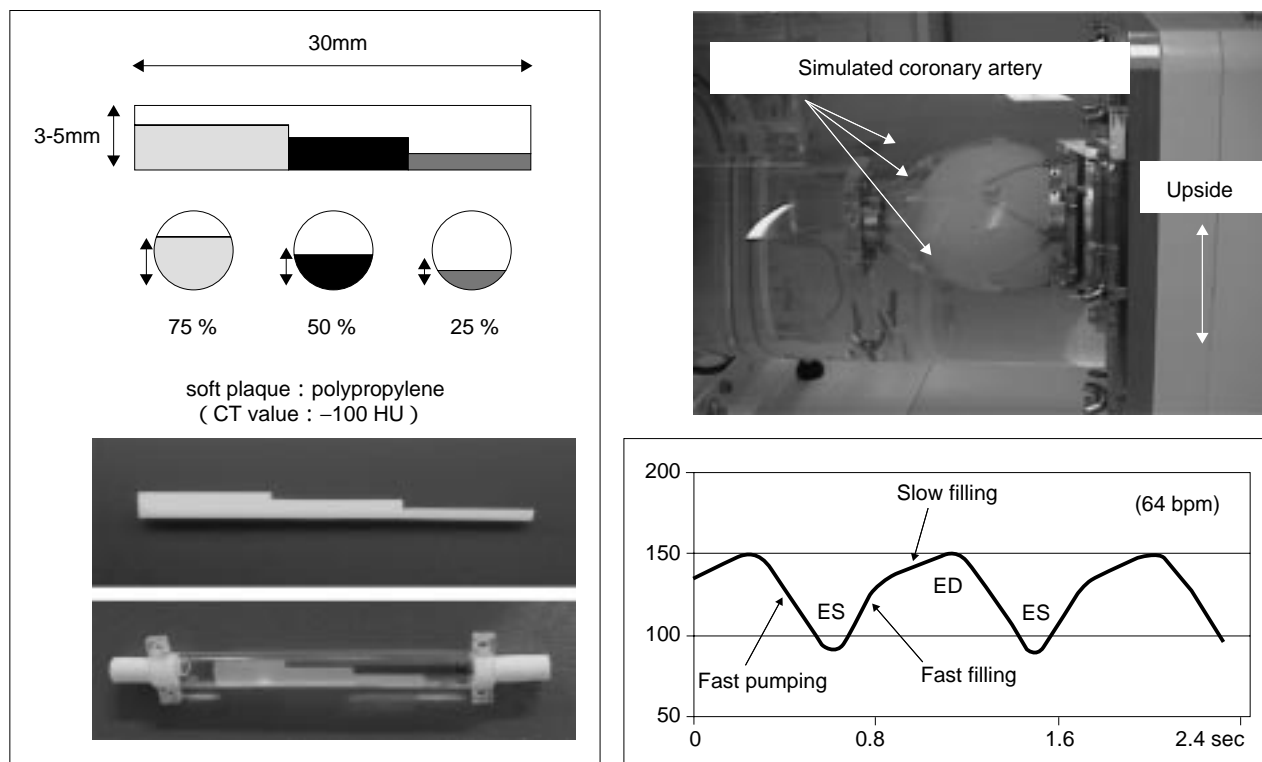


Fig. 1 (A) Simulated coronary artery (HU: Hounsfield unit). (B) Cardiac phantom: Simulated coronary arteries were attached to the cardiac phantom (arrow). (C) Phantom volume change²⁾: X-axis shows time (sec), and Y-axis shows volume (ml). The phantom allows for modeling of real left ventricular motion, which is characterized by fast pumping, fast filling, and slow filling.
ES: end-systolic, ED: end-diastolic

を，MSCTを用いてより低侵襲で済ませることが可能となってきた。一方，乳幼児では心拍数の速さからCTでのアーチファクトの出現が課題とされている。今回，心臓動態ファントムを使用し，高心拍が画像に及ぼす影響について検討した。加えて3歳未満の症例を対象に64列MSCTによる冠動脈の評価について検討したので報告する。

対象と方法

CT装置および画像解析装置はGEヘルスケア社製Light Speed VCT(64列MSCT)，Advantage Workstation 4.2Pを使用した。

心臓動態ファントムはPulsating Cardiac Phantom Alpha 1(フヨー株式会社製)を用いた。これは心電図同期CT評価のために開発されたもので，driver sequenceの設定によって，実心臓の動きの模擬が可能となっている^{1,2)}(Fig. 1)。3～5mm径の3種類の模擬冠動脈にポリプロピレン製のソフトプラーク(CT値約-100HU)で狭窄率25%，50%，75%の3段階のモデルを作成し，内腔をCT値300HU(非イオン性造影剤(370mg/ml)を蒸留水で希釈)の溶液で満たし，これらをファントムに装着した

(Fig. 1)。これらに対しX線ビームをほぼ垂直方向から発し，心拍数を60bpmから150bpmまで10bpmずつ変化させて撮影し，それぞれでVR(volume rendering)，MPR(multiplanar reformation)画像を作成し，画像の変化を画像再構成アルゴリズムであるcardiac half reconstruction(CHR)とmulti-sector reconstruction(MSR)とで比較検討した。撮影条件は，管電圧120kV，管電流400mA，X線管回転時間0.35sec/rotation，セクタ数4個，スライス厚0.625mm，撮影視野FOV 150mm，最小ボクセル0.053mm³(=0.63×0.29×0.29mm)，ヘリカルピッチ0.16，画像再構成関数standardであった。

一方，2005年11月から2006年6月までに，当院で心臓CTを施行した3歳未満の患者計16名を対象に冠動脈の評価について検討した(Table 1)。平均月齢6.68±8.59カ月(0.16～24.08カ月)，平均体表面積0.30±0.13m²(0.18～0.54m²)，平均呼吸数38.2±9.3/min(20～45/min)，平均心拍数132.3±16.0bpm(106～150bpm)であった。鎮静方法は8名がthiopental sodium静注(4.0～5.0mg/kg)，8名がchloral hydrate内服(35～50mg/kg)であった。撮影条件は管電圧120kV，管電流auto mA(ECG modulated mA：最小50mA，最大100mA)，X線管回転時間

Table 1 Patient characteristics

No.	Sex	Age (month)	Diagnosis	BSA (m ²)	BW (kg)	HR (bpm)	RR (/min)	sedation dose(mg/kg)	acquisition ECG-gated
1	M	0.16	PA, VSD, MAPCA	0.19	2.8	150	50	CH	35 (+)
2	M	0.33	TGA, PA, VSD, AV discordance, ASD, PDA	0.21	3.2	136	35	CH	40 (+)
3	F	0.40	TGA	0.20	2.8	130	48	CH	40 (+)
4	M	0.53	PA, VSD, right PA absence, MAPCA	0.21	3.1	140	50	CH	50 (-)
5	M	0.53	DILV, VSD, TGA, IAA type A, PDA	0.21	3.2	150	40	CH	45 (+)
6	F	0.80	TOF	0.18	2.6	120	48	CH	45 (+)
7	M	1.06	PDA	0.21	3.2	130	40	TS	4.0 (-)
8	M	2.03	TAPVC	0.24	3.8	150	50	CH	50 (-)
9	M	3.00	Aortico-pulmonary collateral arteries	0.29	5.2	150	35	CH	45 (-)
10	F	3.50	Truncus s/p bilateral PAB	0.21	3.2	150	40	TS	4.5 (-)
11	F	3.56	DORV, PS	0.29	5.1	135	35	TS	4.5 (-)
12	F	12.97	PA, VSD	0.43	9.0	120	20	TS	5.0 (+)
13	M	13.07	TOF, pulmonary valve absence	0.36	7.0	120	35	TS	5.0 (-)
14	M	16.93	KD with coronary artery aneurysms	0.49	11.0	106	25	TS	4.2 (+)
15	M	24.00	KD with coronary artery aneurysms	0.54	13.0	130	30	TS	4.2 (+)
16	F	24.08	Right coronary artery fistula	0.53	13.0	100	30	TS	5.0 (+)

BSA: body surface area, m²: square meter, BW: body weight, HR: heart rate, bpm: beats per minute, RR: respiration rate, ECG: electrocardiography, M: male, F: female, CH: chloral hydrate, TS: thiopental sodium, PA: pulmonary atresia, VSD: ventricular septal defect, MAPCA: major aortico-pulmonary collateral arteries, TGA: transposition of the great arteries, AV discordance: atrioventricular discordance, ASD: atrial septal defect, PDA: patent ductus arteriosus, PA absence: pulmonary artery absence, DILV: double inlet left ventricle, IAA: interruption of aortic arch, TOF: tetralogy of Fallot, TAPVC: total anomalous pulmonary venous connection, s/p: status of post operation, PAB: pulmonary artery banding, DORV: double-outlet right ventricle, PS: pulmonary artery stenosis, KD: past history of Kawasaki disease

0.35sec/rotation, セクタ数4個, スライス厚0.625mm, ヘリカルピッチ0.24であった。ヨード造影剤(イオパミドール: 370mg/ml) 2ml/kgを大伏在静脈または手背静脈に留置した22ゲージの点滴ルートから用手的に注入し(約2ml/sec), smart prep法を用い上行大動脈のCT値が50になる時相で撮影を開始した。撮影時に呼吸停止は行わなかった。得られた画像を放射線科医1名, 小児科医1名, 心臓CT担当の診療放射線技師4名により冠動脈の各segmentごとに3段階に分類した(2: 明瞭に描出, 1: 描出できるがアーチファクトあり, 0: 描出不可)。各segmentごとに得られたスコアの平均値を算出し「明瞭度(visual grade)」とした。心電図同期撮影群では11カ所のsegmentについて, 心電図非同期撮影群ではsegment 1, segment 5の2カ所のみでの評価とした。一方で, 得られたスコアが1以上の場合を評価可能とし, その割合を「視認性(visibility)」とした。

結 果

心臓動態ファントムでの検討では, まず画像再構成アルゴリズムについて検討した。CHRではVR, MPR画像とも, 心拍数100bpmで模擬血管の内腔の連続性が保てなくなった(Fig. 2)。それに対し, より高い時間分解

能をもつMSRでは, 150bpmまで心拍数を上げても, 模擬血管辺縁の連続性は保たれており, 内腔狭窄部も含めて比較的良好な画像が得られた(Fig. 3)。

3種類の模擬冠動脈での検討では, それぞれ150bpmの高心拍でもMSRを用いることによって, MPR画像上内腔狭窄の評価が可能であった。最小径では3mm径の模擬冠動脈での75%狭窄部(0.75mm)の内腔も描出可能であった(Fig. 4)。

これらを基に, 3歳未満の低年齢の児における冠動脈の評価を行った(Table 1)。16名中9名が心電図同期で, 7名が心電図非同期で撮影された(ステント留置例, 内腔狭窄例, 石灰化を伴う例は対象にはいなかった)。βブロッカーによる心拍数抑制を行わなかったが, 各segmentで1以上のスコアを評価可能とした場合(視認性), 心電図同期撮影の9名すべてで冠動脈起始部・近位冠動脈枝の走行の評価が可能であった。心電図非同期撮影の7名ではsegment 1で71.4%, segment 5で85.7%が評価可能であったが, これより末梢の評価は困難であった(Table 2)。

症例5は大動脈弓離断, 両心房左室流入, 大血管転位の児であり, 心不全を併発しており, より侵襲の強い心カテーテル検査を行わずに, 冠動脈の走行(Fig.

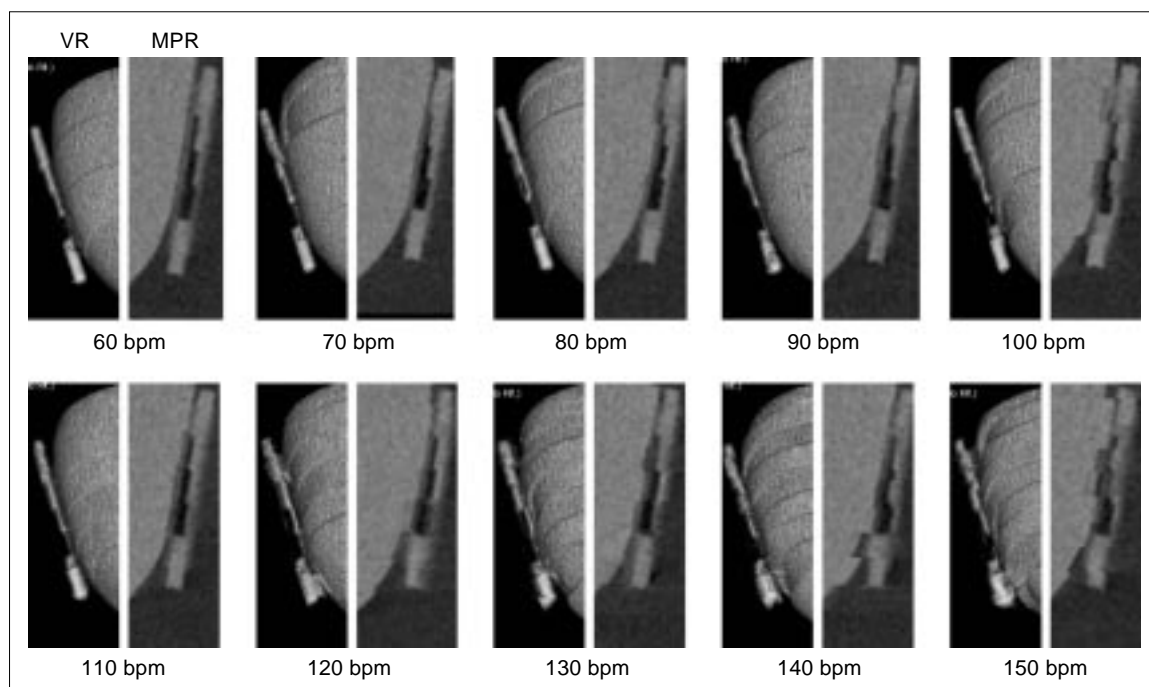


Fig. 2 Selection of reconstruction algorithms [simulated coronary artery (5 mm)]: Cardiac half reconstruction (CHR) algorithm. VR: volume rendering, MPR: multiplanar reformation

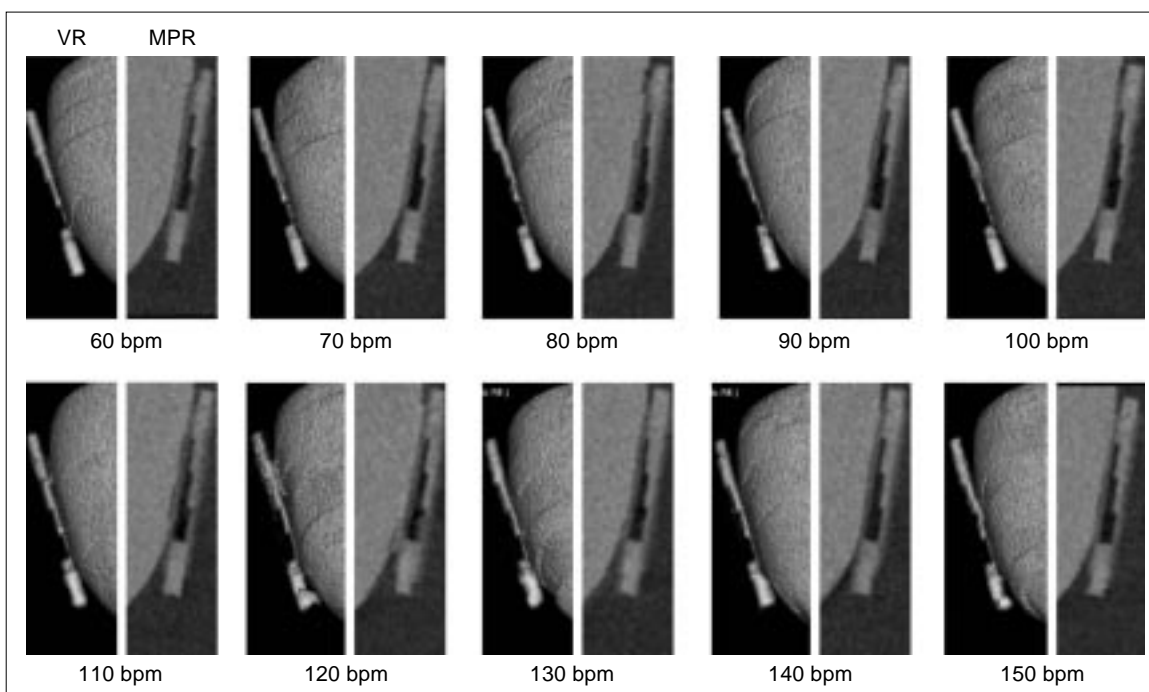


Fig. 3 Selection of reconstruction algorithms [simulated coronary artery (5 mm)]: Multi-sector reconstruction (MSR) algorithm. VR: volume rendering, MPR: multiplanar reformation

5), 大動脈弓離断等の画像上の明確な評価が可能であった。症例15は川崎病・冠動脈瘤(segment 1: 4.0mm, segment 5: 4.4mm)の児である。発症後3カ月

でMSCTを施行した。結果的に、心カテーテル検査を第一選択とすることなく外来での冠動脈の評価が可能であった(Fig. 6)。症例16は右冠動脈瘤の児であり、3D構

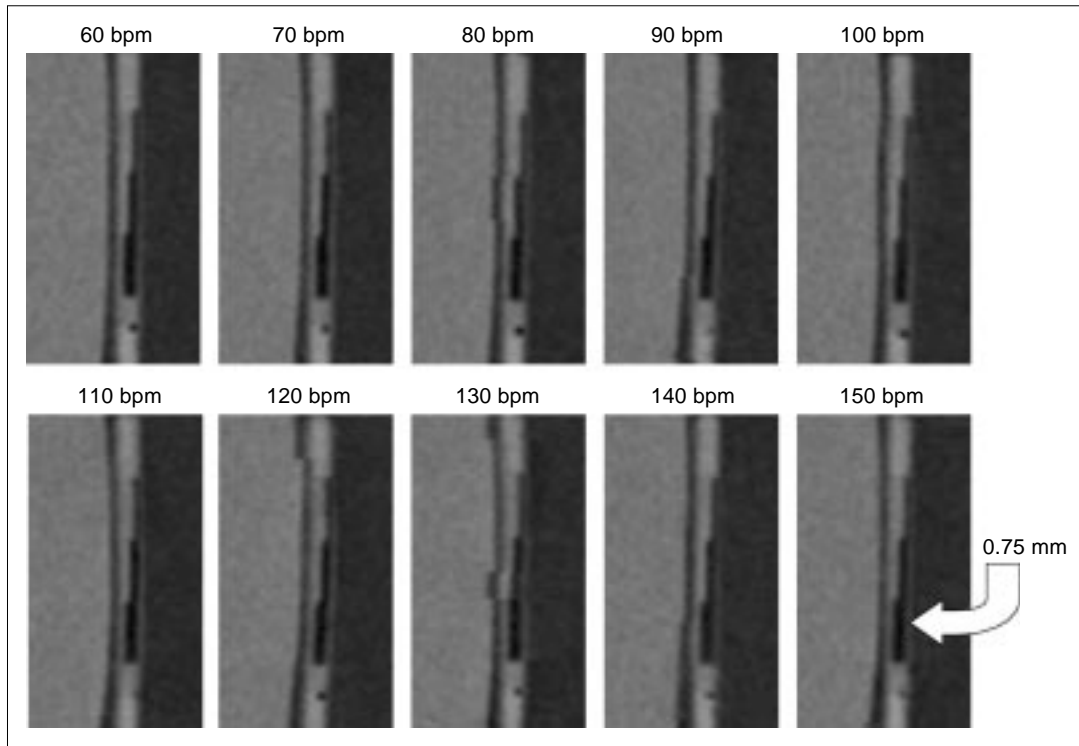


Fig. 4 Computed tomography scans of simulated coronary artery (3 mm) at each heart rate reconstructed by multi-sector reconstruction. Minimum diameter (0.75 mm) was demonstrated at 150 bpm on cardiac phantom (arrow).

Table 2 Results of visibility of coronary arteries

Segment	ECG-gated (n = 9)		Non-ECG-gated (n = 7)	
	Visual grade	Visibility	Visual grade	Visibility
#1	1.84 ± 0.22	100 % (9/9)	1.14 ± 0.90	71.4 % (5/7)
#2	1.43 ± 0.51	88.9 % (8/9)		
#3	1.03 ± 0.67	55.6 % (5/9)		
#4	0.62 ± 0.69	33.3 % (3/9)		
#5	1.80 ± 0.23	100 % (9/9)	1.29 ± 0.76	85.7 % (6/7)
#6	1.63 ± 0.38	100 % (9/9)		
#7	1.17 ± 0.52	66.7 % (6/9)		
#8	0.69 ± 0.44	22.2 % (2/9)		
#11	1.70 ± 0.29	100 % (9/9)		
#13	1.21 ± 0.57	55.6 % (5/9)		
#14	0.84 ± 0.56	33.3% (3/9)		

Visual grades are represented as mean ± standard deviation. Segments were graded on a three-point scale (2: clear, 1: blurred, 0: no).

CT images with a visual grade greater than 1 were regarded as good enough to evaluate. Visibility is the percentage of patients with a visual grade greater than 1.

築を行うことで、心カテーテル検査ではイメージしにくい立体画像を提示することが可能となった(Fig. 7)。

考 察

MSCTでは超高速撮影，広範囲撮影，高分解能が

リウムデータの収集が可能となり，心電図同期システムを併用することにより，心臓・冠動脈領域におけるCTの臨床的有用性は飛躍的に向上している³⁾。特に，MSCTの多列化により，より空間分解能の良い高画質の画像を短時間に得ることが可能となり，小児に対する

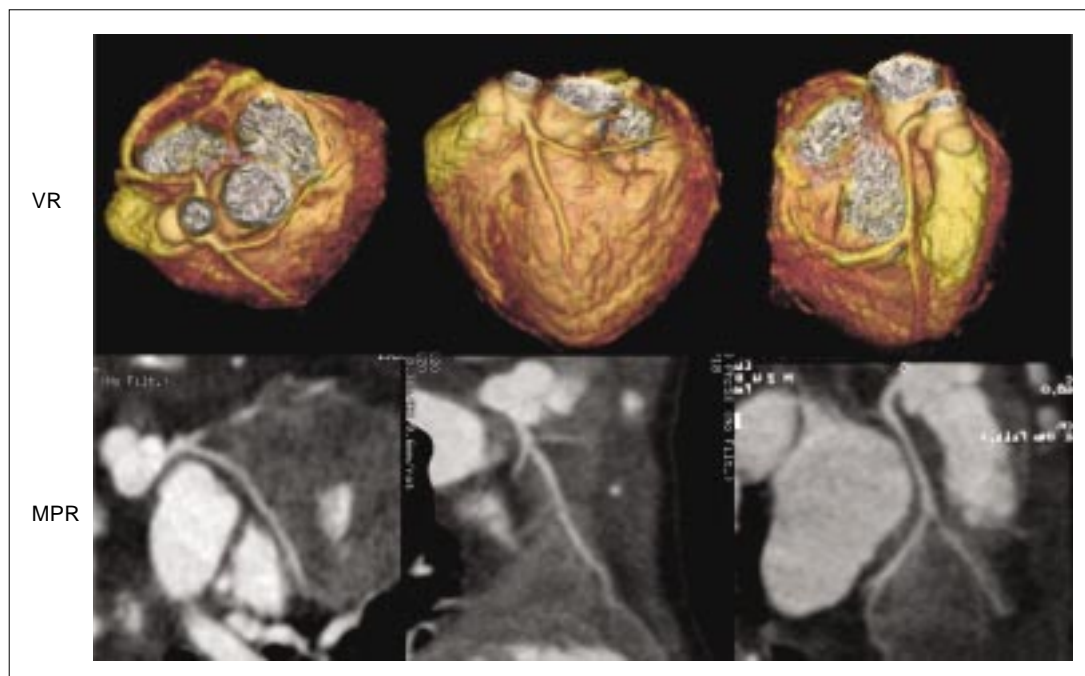


Fig. 5 Patient 5
Multislice CT (MSCT) was performed at 16 days of age. The patient's heart rate was 150 bpm at MSCT. Coronary arteries were demonstrated clearly, and he was classified as Shafer type 1.
VR: volume rendering, MPR: multiplanar reformation

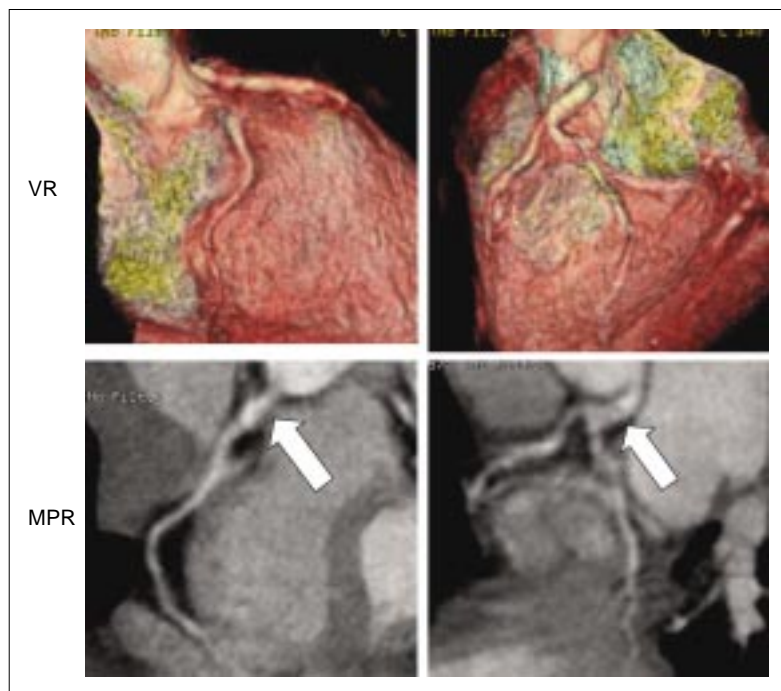


Fig. 6 Patient 15
Multislice CT (MSCT) was performed at 24 months of age. The patient's heart rate was 130 bpm at MSCT. Coronary artery aneurysms were demonstrated at segment 1 (4.0 mm) and segment 5 (4.4 mm) (arrow).
VR: volume rendering, MPR: multiplanar reformation

その有用性も報告されてきている^{4,5)}。冠動脈領域に関しては、16列MSCTと冠動脈造影とで比較した研究では、感度92～95%、特異度86～95%の正確さで冠動脈狭窄の描出が可能とされている^{6,7)}。Pannuらは64列

MSCTを用いた成人での検討で、冠動脈のsegmentの89.2%が評価できると報告している⁸⁾。

心電図同期撮影のうえで最も重要な要因の一つとして、被検者の心拍数を上げることができる。Delhayeら

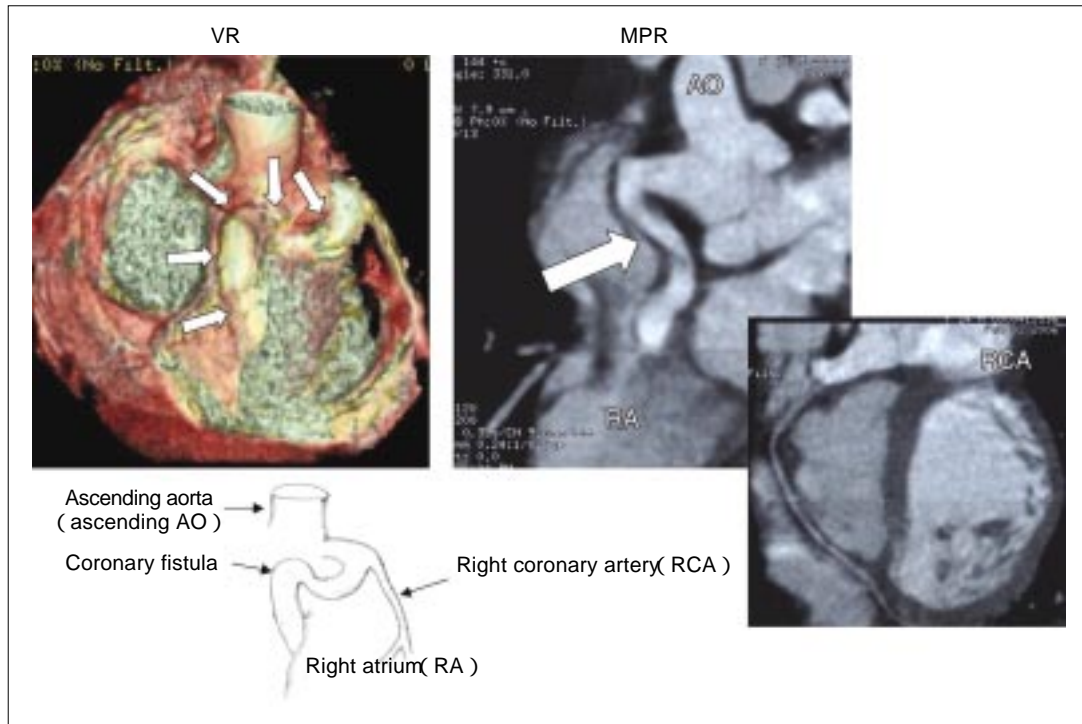


Fig. 7 Patient 16
 Multislice CT (MSCT) was performed at 24 months of age. The patient's heart rate was 100 bpm at MSCT.
 Right coronary artery (RCA) to right atrium (RA) fistula was demonstrated clearly (arrow).
 VR: volume rendering, MPR: multiplanar reformation

の報告では、64列MSCTでは、MSCT上評価できる冠動脈のsegmentの割合は、心拍数80bpm未満の群で $80 \pm 11\%$ 、心拍数80bpm以上の群で $72 \pm 13\%$ であり、有意差($p = 0.0008$)を認めている⁹⁾。Groenらは心臓動態ファントムを用いた研究で、心拍数0~115bpmまでの検討で、心拍数と冠動脈ステントの画質の間に負の相関関係があったと報告している¹⁰⁾。一方で、心拍数の影響を最小限に抑えるために開発された心電図同期画像再構成アルゴリズムには、おもに低心拍数用のCHRと中・高心拍数用のMSRの2種類がある。CHRは1回転分のデータではなく、 $180^\circ + \text{ファン角分}$ (約 $2/3$ 回転)のデータから画像再構成するのに対し、MSRは複数の心拍周期から同一心時相に当たる異なる回転角度のデータを抽出し、画像再構成を行う²⁾。具体的には、当院の機器ではMSRを使用することで最高時間分解能は約44msecとなる。

われわれは、心臓動態ファントムを使用し、高心拍が画像に及ぼす影響について検討した(心拍数60~150bpm)。画像再構成アルゴリズムについては、今回の検討では、特に心拍数100bpmを超えてからの高心拍において、MSRでは模擬血管辺縁の連続性が保たれており、内腔狭窄部も含めて比較的良好な画像が得られている。セクタ数の増加とともに時間分解能が改善する

ことも確認されており²⁾、高心拍での画像再構成アルゴリズムに関しては、MSRが有用であると考えた。実際、MSRを用い乳幼児の冠動脈の描出を試みたところ、心電図同期撮影の全症例で冠動脈起始部・近位冠動脈枝の走行の描出が可能であった。

心拍数に関しては、 β ブロッカーを投与し心拍数を低下させ、心拍数の変動を軽減することでアーチファクトが減少するという報告がある^{11,12)}。一方、Scheffelらは平均心拍数 $70.3 \pm 14.2\text{bpm}$ (47~102bpm)の成人での検討で、 β ブロッカーによる心拍数抑制を行わなくても、感度96.4%、特異度97.5%の正確さで冠動脈疾患を予測できるとしている¹³⁾。今回の症例では、先天性心疾患術前で心不全を伴い β ブロッカーの投与が不適切と思われる症例もあり、 β ブロッカーの適応に関しては、今後の検討課題である。

今回、冠動脈へのステント留置例や内腔狭窄例、石灰化を伴う例は対象にはいなかった。内腔狭窄に関しては、ファントム上0.75mmの内腔狭窄が描出可能であった。実際の症例で検討していないが、時間分解能の改善とともに画質の向上は期待できると考えられ、乳幼児の冠動脈の評価にはよりいっそうの解像度の向上が望まれる。石灰化に関しては、64列MSCTでも中等

度以上のものであれば内腔狭窄の検出が困難になるとされており¹⁴⁾、CTの問題点とされている。ディテクタセルの細小化により、いっそうの高解像度化が可能で石灰化の影響が少なくなるとも言われているが、今後の技術的な発展に期待したい。

今回の実験系では、模擬冠動脈に造影剤を満たした状態で行っている。実際の冠動脈では狭窄部を血流が通過し、その部で乱流を生じていることが想像され、それに伴う画質の変化も加味されることとなる。この実験系での今後の課題と言える。

CTの応用において、被曝低減は最も重要な課題とされている。これに関して被曝低減目的で心電図非同期撮影を行う選択肢もある。Gooらは小児での検討で、16列MSCTで心電図非同期撮影を行い、評価可能な冠動脈のsegmentは全体の49.3%であり、冠動脈起始部・近位冠動脈枝に関しては81.7%が評価可能であったと報告している⁵⁾。今回の検討では心電図非同期撮影での冠動脈起始部(segment 1, segment 5)の評価は心電図同期撮影と比べ劣っていると考えられ、乳幼児の冠動脈の評価は被曝の問題がなければ、心電図同期が好ましいと考えられる。Colesらは冠動脈疾患が疑われる患者において心電図同期での16列MSCTと選択的冠動脈造影とを比較し、放射線の実効線量がそれぞれ 14.7 ± 2.2 mSv, 5.6 ± 3.6 mSvであったと報告している¹⁵⁾。心電図同期撮影の場合、連続X線照射により血管辺縁の連続性の良好な画質が得られやすいが、これを再構成に必要な心電図位相の時相で撮影線量を下げて被曝低減させる技術もある¹²⁾。当院の丸山らは、管電流のmodulation phaseを0~60%とし、体重別に5kg以下で最小50mA, 最大100mA, 5~10kgで最小50mA, 最大150mA, 10~20kgで最小50mA, 最大200mAとした条件で心電図同期冠動脈撮影を行い、体重別のDLR(dose-length-product)は5kg以下で 149.3 mGy·cm, 5~10kgで 167.6 mGy·cm, 10~20kgで 240.7 mGy·cmであり、成人のDLPの1/6~1/9であったと報告している¹⁶⁾。さらに心拍数100bpm以上の場合、modulationの設定範囲をさらに小さく(phase 40~60%)することによって被曝低減の可能性についても報告している¹⁶⁾。しかし、拡張中期と収縮末期のどの心位相で良い画像が得られるかは小児の場合は明確にされておらず、さらに撮影時の患者の心拍が一定であることが前提であり、前もってX線管電流のmodulation制御を行うことは困難である。一方で、よりいっそうの多列化が進めば、axialスキャン(非ヘリカルスキャン)での心臓全体の撮影が低被曝量で可能となることも期待されている。今後、検出器の開発など、よりX線効率の高いシステム開発、ノイズの少ない再構成アルゴリズム

やフィルターの開発などが必要である¹⁷⁾。

今回の検討からは、時間分解能の改善により、心拍数による影響は軽減されていると考えた。一方、石灰化病変や被曝量に関しては、今後も検討していく必要がある。

冠動脈の評価という点について考えた場合、64列MSCTは川崎病や先天性心疾患を伴う乳幼児において、特に冠動脈起始部や近位冠動脈枝の異常をスクリーニングするうえで有用であると考えた。一方、被曝量は決して少ないとは言えず、今後も被曝低減のための開発や工夫が必要であり、さらに、MSCTの適応症例も慎重に選別する必要があると考えた。

今回の乳幼児での検討は、呼吸抑制を行っていない結果の報告である。それに対し、今回のファントム実験の限界として、呼吸に伴う横隔膜移動と、その動きに伴う心臓の位置変動が反映されていない。ファントム実験における今後の課題と考えた。

結 語

64列MSCTではMSRを使用することで心拍数150bpmでも冠動脈描出が可能であった。ファントム上では心拍数150bpmでも最小径0.75mmまで内腔の描出が可能であった。高心拍、息止め不良な3歳未満の乳幼児に対しても心電図同期撮影を行うことで冠動脈起始部・近位冠動脈枝の走行の評価が可能であった。被曝低減などについてはさらなる検討が必要である。

本論文の要旨は第42回日本小児循環器学会総会・学術集会(2006年7月,名古屋)において発表した。

謝 辞 本研究において協力していただいた、あかね会土谷総合病院放射線室技師の今田直幸氏、舩田隆則氏、丸山尚也氏に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 木村文子, 沈 雲, 佐藤宗邦, ほか: 左心室の動きを模倣した心臓ファントムの開発とその評価. 日本医放会誌 2001; 61: 29-32
- 2) 沈 雲, 佐々木公祐, 岡野義幸, ほか: 高心拍領域におけるMDCTの心臓イメージングの画質に関する評価 心臓動態ファントムによる検討を中心に. 日放技学誌 2005; 61: 506-513
- 3) Schoepf UJ, Becker CR, Hofmann LK, et al: Multislice CT angiography. Eur Radiol 2003; 13: 1946-1961
- 4) Chu WC, Mok GC, Lam WW, et al: Assessment of coronary artery aneurysms in paediatric patients with Kawasaki disease by multidetector row CT angiography: Feasibility and com-

- parison with 2D echocardiography. *Pediatr Radiol* 2006; 36: 1148–1153
- 5) Goo HW, Park IS, Ko JK, et al: Visibility of the origin and proximal course of coronary arteries on non-ECG-gated heart CT in patients with congenital heart disease. *Pediatr Radiol* 2005; 35: 792–798
 - 6) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, et al: Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002; 106: 2051–2054
 - 7) Ropers D, Baum U, Pohle K, et al: Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003; 107: 664–666
 - 8) Pannu HK, Jacobs JE, Lai S, et al: Coronary CT angiography with 64-MDCT: Assessment of vessel visibility. *Am J Roentgenol* 2006; 187: 119–126
 - 9) Delhaye D, Remy-Jardin M, Rozel C, et al: Coronary artery imaging during preoperative CT staging: Preliminary experience with 64-slice multidetector CT in 99 consecutive patients. *Eur Radiol* 2007; 17: 591–602
 - 10) Groen JM, Greuter MJ, van Ooijen PM, et al: Initial results on visualization of coronary artery stents at multiple heart rates on a moving heart phantom using 64-MDCT. *J Comput Assist Tomogr* 2006; 30: 812–817
 - 11) Pannu HK, Alvarez W Jr, Fishman EK: Beta-blockers for cardiac CT: A primer for the radiologist. *Am J Roentgenol* 2006; 186 (Suppl 2): S341–345
 - 12) Leschka S, Wildermuth S, Boehm T, et al: Noninvasive coronary angiography with 64-section CT: Effect of average heart rate and heart rate variability on image quality. *Radiology* 2006; 241: 378–385
 - 13) Scheffel H, Alkadhi H, Plass A, et al: Accuracy of dual-source CT coronary angiography: First experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol* 2006; 16: 2739–2747
 - 14) Ong TK, Chin SP, Liew CK, et al: Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: Influence of calcification. *Am Heart J* 2006; 151: 1323
 - 15) Coles DR, Smail MA, Negus IS, et al: Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 1840–1845
 - 16) 丸山尚也, 松本頼明, 舛田隆則, ほか: 小児領域における64列MDCTを用いた心電図同期冠動脈撮影の有用性の検討. 日本放射線技術学会 第63回総会学術大会[予稿集] 2007; 159
 - 17) McCollough CH, Bruesewitz MR, Kofler JM Jr: CT dose reduction and dose management tools: Overview of available options. *Radiographics* 2006; 26: 503–512