

小児心臓疾患のCT診断

高瀬 圭

東北大学医学部 放射線診断科

CT imaging of pediatric cardiac disease

Kei Takase

Department of Diagnostic Radiology, Tohoku University Graduate School of Medicine

Abstract Echocardiography has been regarded as an initial screening and diagnostic modality, and catheter-directed cardiac angiography has been recognized as the gold standard of congenital heart diseases. However complex cardiac anatomy including extracardiac structures is sometimes difficult to evaluate by echocardiography, and catheter angiography may have complications. The recent development of high spatial and temporal resolution MDCT has enabled assessment of detailed cardiac anatomy. Non-ECG gated CT allows evaluation of extracardiac vascular anomaly such as anomalous pulmonary venous return or major aortopulmonary collateral arteries with low radiation dose. Although the radiation dose is relatively high, ECG gated cardiac CT is useful in evaluating selected cases of adult type congenital heart disease. ECG gated CT is also efficacious in simulating cardiac interventional radiology by visualizing the course of venous structure, measuring vessel diameter resulting in a reduction of the risk and total fluoroscopic time during intervention. It is important to set up an adequate protocol of scanning to acquire optimal CT images considering the circulation of congenital heart diseases and radiation exposure.

Keywords Cardiac CT, Congenital heart disease

はじめに

従来先天性心疾患の形態診断は超音波、胸部単純X線写真と心臓カテーテル検査を主体として行われており、現在もこれらを中心に診療が行われていることに変わりはないが、近年は補助的にMRIによる心形態の描出も利用されている。CTは被ばくや時間分解能の問題から先天性心奇形の診断法としての使用頻度は少なかったが、近年のCTのガントリー回転速度の高速化や被ばく低減技術の進歩により、先天性心疾患診断での有用性が見直されてきている¹⁻⁸⁾。とくに、MDCTにより3次元的なvolumeデータを死角なく得られることは超音波やMRIにない大きな利点である。我々は最

近小児心疾患に対し、適応症例を選んでMDCTを利用し、インターベンショナルラディオロジー術前診断、複雑心奇形の形態描出等の有用性を実感している。本稿では先天性心疾患のMDCT診断につき心臓のCT解剖、撮像法および診断法につき我々の経験した症例を提示しながら紹介する。

心臓の正常CT解剖

先天性心疾患のCT画像を理解するためには、まず、断層画像上での正常解剖を知っておく必要がある。心房、心室等の心内構造には固有の特徴的形態があり転位や錯位があってもこれらの特徴は多くの場合変わらない。大血管と心の関係、心

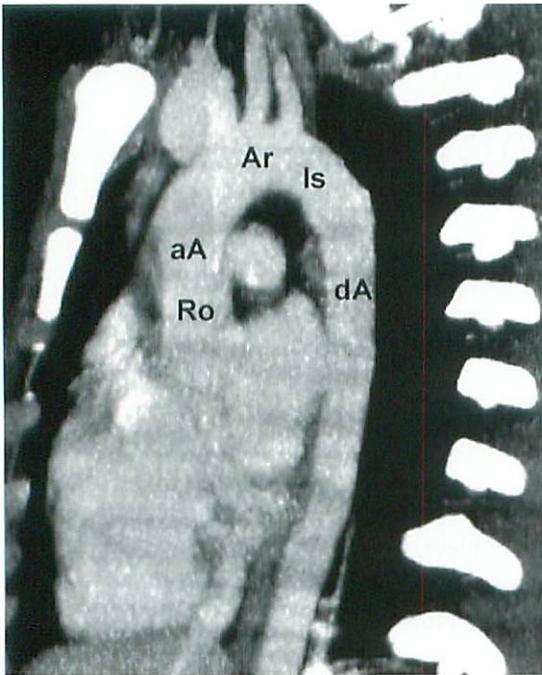


Fig.1 Normal pediatric aorta
 Aortic root including aortic valve, annulus, and sinus of Valsalva (Ro), Ascending aorta (aA), aortic arch (Ar) from which cervical branches arise, Aortic isthmus (Is), and descending aorta (dA)

周辺の気管・肺・食道の正常解剖も重要である。以下にCT画像を基に解剖を解説する。

大動脈は左心室から起始し、線維輪に3尖弁が付着し、右前部は右冠尖、左後部は左冠尖と呼ばれ、それぞれ右・左冠動脈が起始する。右後部は無冠尖である。この部分を大動脈基部と称する。そこから頭側に向かう上行大動脈、頸部3分枝を起始する弓部、その遠位で動脈管（策）のある狭部、つづいて尾側に向かう下行大動脈に連続する (Fig.1)。

左心室は半回転楕円体形状をしている。Trabeculationが細かく、前後2つの乳頭筋で房室弁である僧帽弁輪に繋がっている。僧帽弁と大動脈弁には線維性の連続性があり、間に筋組織が存在しない。このため僧帽弁を通して左室に流入した血液は180°のヘアピンカーブ状に戻って大動脈弁から出ていくことになる (Fig.2)。僧帽弁は前後2尖である。

これに対して右心室はtrabeculationが粗く、moderator bandと呼ばれる太い線維が存在する。房室弁である3尖弁と肺動脈弁の間には筋性の流出路が存在する (Fig.3)。3尖弁は前・後・中隔の

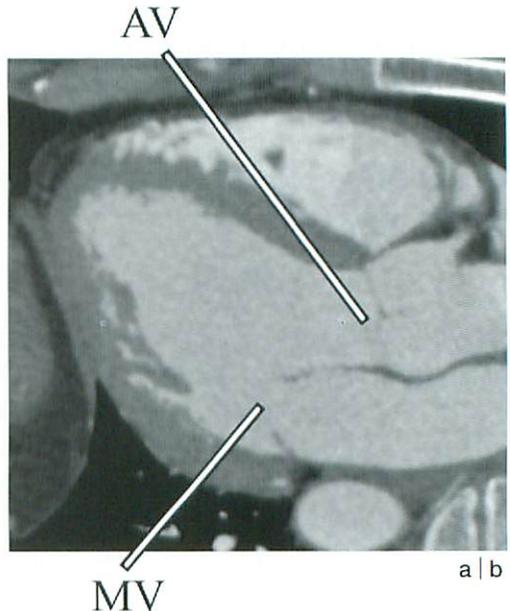
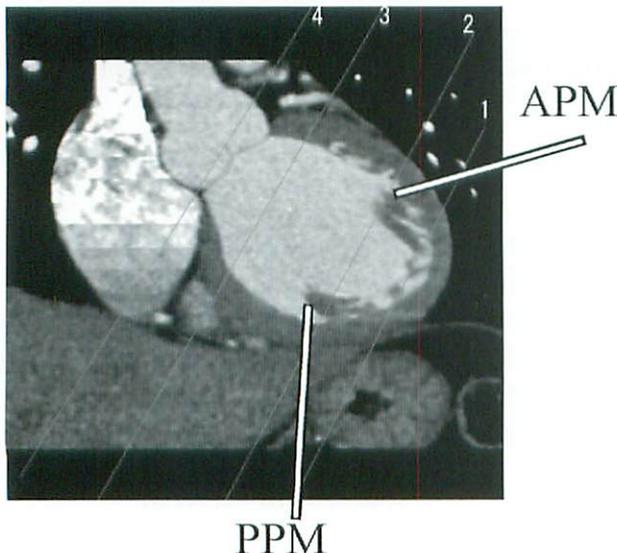


Fig.2 Normal anatomy of the left heart
 a : Coronal section : Anterior papillary muscle (APM) and posterior papillary muscle (PPM) are seen in the left ventricle with fine trabeculation.
 b : Multiplanar reformation image (MPR) including aorta, left ventricle and atrium : This "3-chamber view" shows fibrous continuity between aortic valve (AV) and mitral valve (MV).

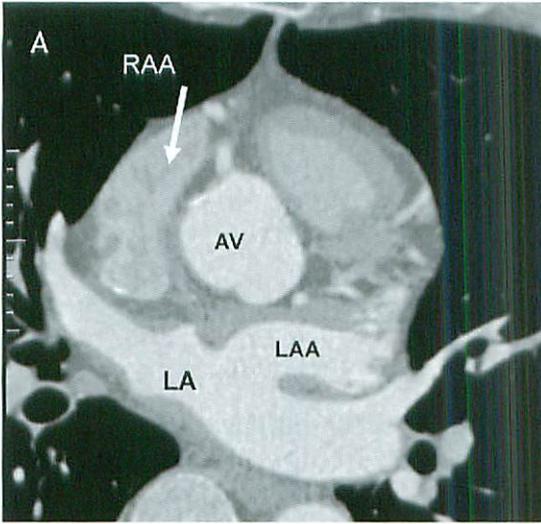


Fig.4 Original axial slice at the level of the aortic valve (AV)

Triangle-shaped right atrial appendage (RAA) has prominent pectinate muscles while the left atrial appendage (LAA) is finger-shaped having discrete pectinate muscles.

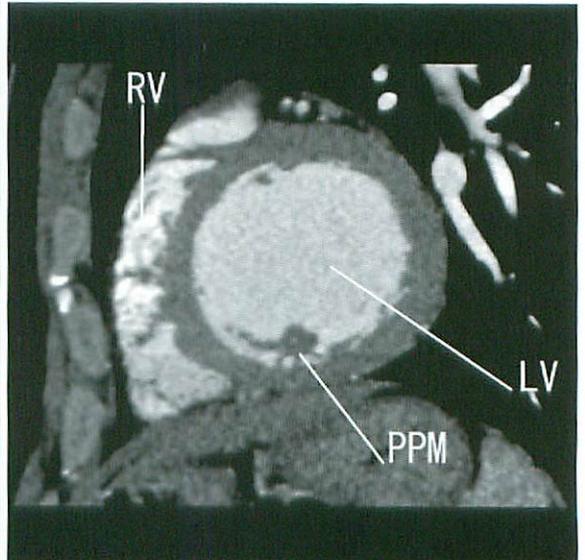
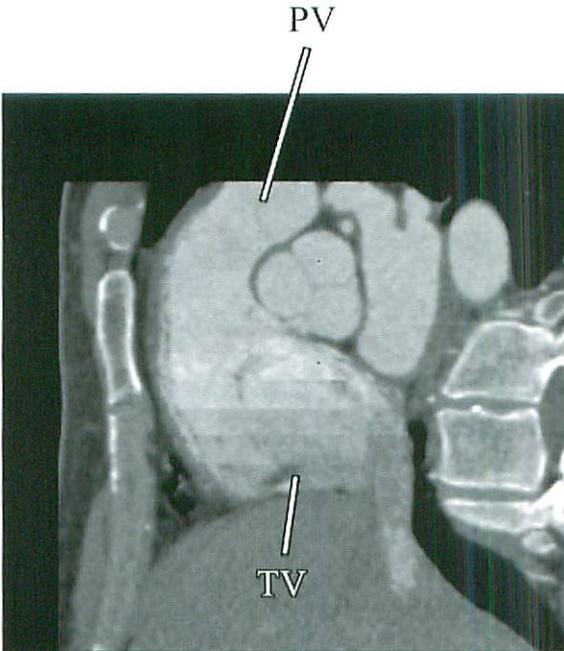


Fig.3 Normal anatomy of the right heart

a : Parasagittal MPR image shows right ventricular muscular outflow tract between the tricuspid valve (TV) and pulmonary valve (PV).

b : Short axial MPR image of the left ventricle shows coarse trabeculation of the right ventricle (RV) and fine trabeculation of the left ventricle (LV). PPM is also visualized.

3尖である。

右心房は crista terminalis で本来の心房と心耳に分けられる。右心耳は三角形に近く楕状筋が目立つ。心房中隔側に卵円窩があり、尾側には冠状静脈洞の開口部がある。頭側から上大静脈が、尾側から下大静脈が流入する。

左心房には両後外側から上下左右4本の肺静脈が流入する。左上部には左心耳があるが指型で楕状筋は少ない (Fig.4)。

肺動脈弁は右・左・前尖の3尖があり、大動脈の左前方にある右室流出路から肺動脈が起始する。右肺動脈は右側にほぼ水平に走行し大動脈、上大静脈、右上肺静脈の背側を通る。左肺動脈は右よりも高い位置で後方に短く走行しながら左主気管支の上を乗り越える。

肺静脈は4本存在し、右上・中葉の血流は右上肺静脈、右下葉は右下肺静脈、左上葉は左上肺静脈、左下葉は左下肺静脈に還流する。

右気管支の特徴としては、主気管支は短く縦方向の走行、中間気管支幹があり、気管支の前外側を肺動脈が走行する。また、上葉気管支の尾側を肺動脈が走行する。

a | b

左気管支の特徴は、主気管支は長く、斜め方向に走行し、上葉気管支の頭側を肺動脈が走行することである。

肺動脈弁は右・左・前尖の3尖があり、大動脈の左前方にある右室流出路の上に存在する。

心臓を外面から見ると、まず前面には右心室があり左室との間に浅い窪み(前心室間溝)を認める。左冠動脈の前下行枝はこの部分を走行する。心房と心室の間にも房室間溝と呼ばれる窪みがあり、右冠動脈は、右房と右室の間を左冠動脈回旋枝は左房左室間を走行する。心臓下面に見られる後心室間溝は通常右冠動脈の枝の後下行枝が走行する。

小児心臓CT撮影法

通常の形態診断は被ばく低減のために心電図非同期での撮影を基本とする。

造影法、スキャン方法は心内外のシャント、心奇形の種類により様々であり一様に決めることができず、心機能やシャントの程度を考慮して症例ごとに決めているのが実情であるが、原則は下記のようなものである。

成人における先天性心奇形評価は心電同期を基本とする。小児の場合でも他検査にて評価困難で臨床上必要のあるときや、IVR前に血管系や形態を含めた詳細な評価が求められる場合には、適応を慎重に考慮した上で心電同期にてできるだけ低線量で撮影している。

造影剤は、10代後半以降の年齢では、あらかじめ少量造影剤によるテストインジェクションにてスキャン開始時間を決めておく。左心系を造影する目的で3.0ml/秒の注入速度で350~370mg/ml濃度の造影剤をスキャン持続時間分だけ注入し、次いで造影剤1.0ml/秒+生食2.0ml/秒の同時注入にて右心系を薄く造影する。スキャン終了5秒前から生食のみを3.0ml/秒で注入するようにタイミングを調整する。2歳以下程度では既存の静脈ラインをそのまま使用せざるを得ないことがほとんどであることから、2倍希釈した造影剤を手押しで注入しながら撮影する。300mg/ml相当に換算して1.5~2.0ml/kg程度の造影剤を使用する。シャントの種類と量により造影のされ方が異なり一概には決められないが、bolus trackingのモニター

スキャンを見ながら左右両心系が造影されたところで手動的にスキャンを開始すると失敗がない。それ以上の年齢の小児では、体重に応じて上述した3段階注入ないし希釈造影剤の1相注入をインジェクターにて行いながら、スキャン開始はモニターで手動的に行っている。シャントにより両心室ないしは単心室に直接体静脈から血液が流入する解剖では、濃い造影剤によるアーチファクトを避けるために希釈造影剤を使用する。

症例

1. 房室錯位, 大血管心室錯位(Fig.5)

修正大血管転位(左室から肺動脈再建術後)を例に説明する。左心房に連続する心室は粗な肉柱形成があり、房室弁と動脈弁の間に筋性の流出路があり形態的右心室である。上・下大静脈に連続する右心房に連続している心室を観察すると、房室弁が高位にあり細かい肉柱と前後の乳頭筋があり、形態的左心室と診断できる。この心室から再建された肺動脈が起始している。このように、錯位があっても基本的な心内構造の正常形態を知っていれば診断は容易である。

2. 両大血管右室起始症, 肺動脈狭窄症, 僧帽弁閉鎖, Glenn術後(Fig.6)

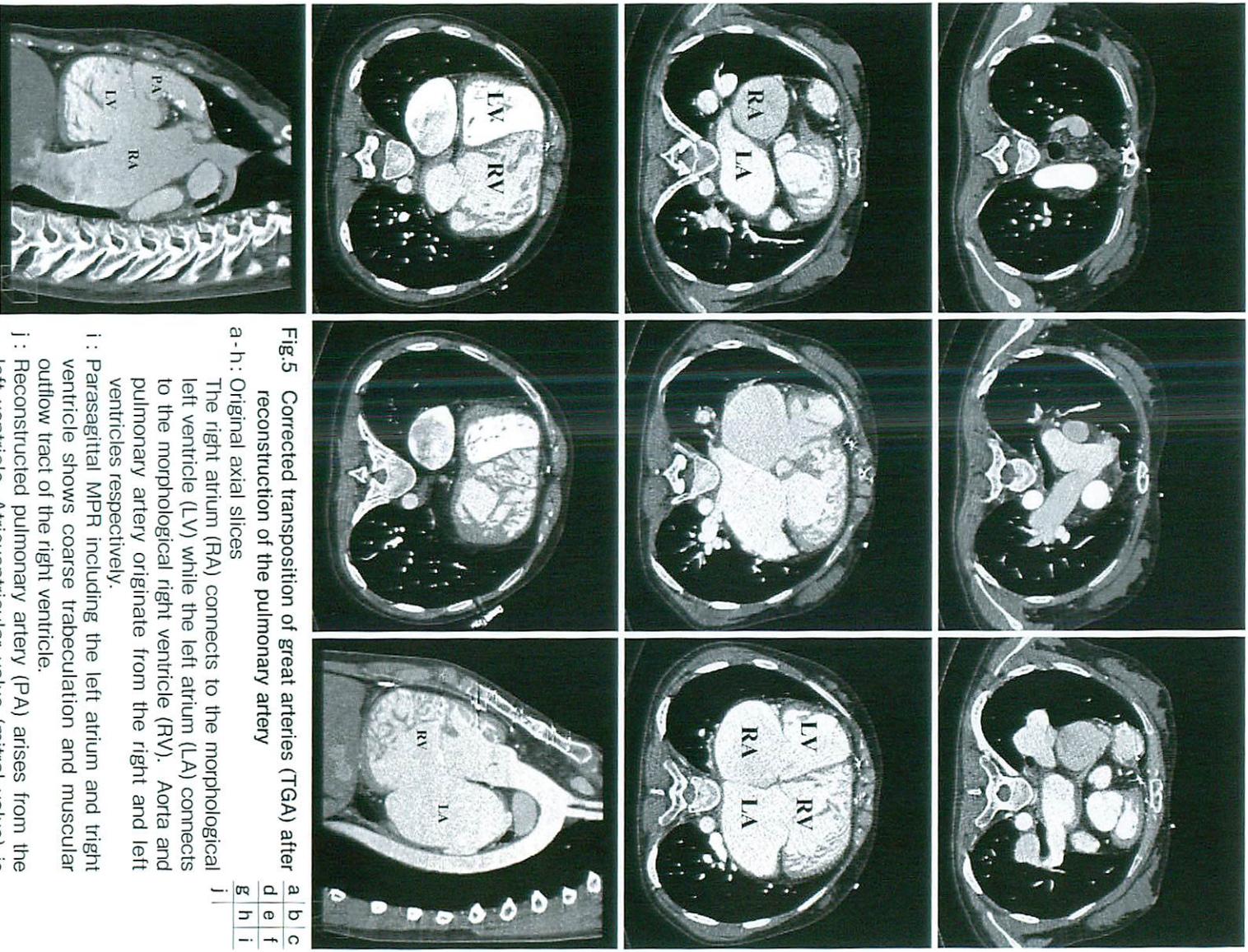
前方に位置する右室型の心室から大動脈と肺動脈が起始している。肺動脈は弁上で結紮されている。背側にある左心室は小さく痕跡的であり、左心房との間には交通がなく、僧帽弁閉鎖と診断できる。

3. 肺動脈閉鎖, MAPCA (major aorto-pulmonary collateral arteries) (Fig.7)

心臓から直接の肺動脈への血流が無い場合に、大動脈から太い側副血行路が発達する場合があります。MAPCAと呼ばれる。心外血管の評価はCT診断がエコーよりも正確である。心内形態の評価を目的としなければ心電非同期の低線量CTで十分である。

4. 大動脈から右肺動脈への側副血行路(Fig.8)

右肺動脈閉鎖症例で、大動脈から非常に太い側副血行路が発達し、右肺全体を栄養している。



a	b	c
d	e	f
g	h	i
j		

Fig.5 Corrected transposition of great arteries (TGA) after reconstruction of the pulmonary artery

a-h: Original axial slices
 The right atrium (RA) connects to the morphological left ventricle (LV) while the left atrium (LA) connects to the morphological right ventricle (RV). Aorta and pulmonary artery originate from the right and left ventricles respectively.

i : Parasagittal MPR including the left atrium and right ventricle shows coarse trabeculation and muscular outflow tract of the right ventricle.

j : Reconstructed pulmonary artery (PA) arises from the left ventricle. Atrioventricular valve (mitral valve) is located on the posterior cranial side of the ventricle.

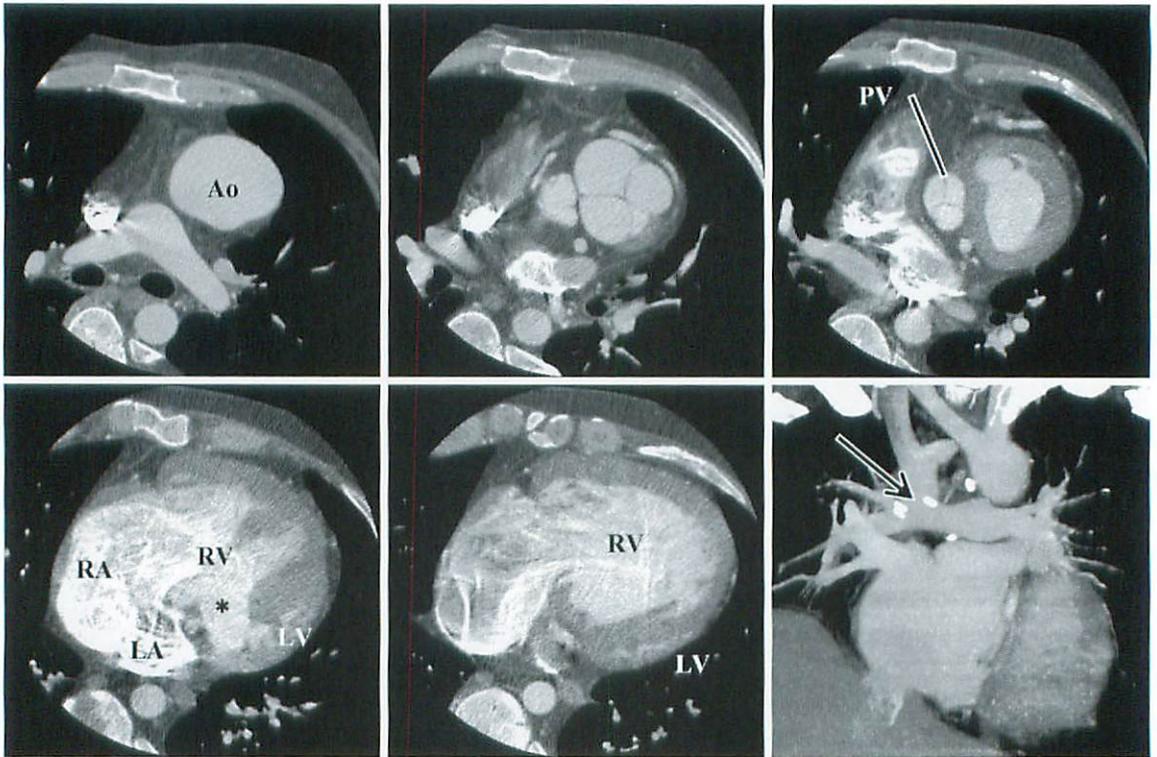


Fig.6 Double outlet right ventricle, pulmonary atresia, and mitral atresia, after Glenn operation

a	b	c
d	e	f

 a-e: Original axial slices
 Large ventricular septal defect (*) is seen between anteriorly located large right ventricle (RV) and rudimentary left ventricle (LV). Both aorta and pulmonary artery originate from the right ventricle. The left atrium (LA) is not connected to the left ventricle due to mitral atresia.
 f: Maximum intensity projection image shows anastomosis between the superior vena cava and pulmonary artery (Glenn shunt, arrow)

5. 動脈管開存症 (Fig.9)

女性に多く、思春期以降に発見されることもある。成人型の場合は、動脈管の太さや形態により、Ivalonの栓により治療するプラグング法(ボルストマン法)、0.052ボールチップコイル法、0.035 PDAコイル法、手術等の治療法選択のために心電同期にてCTを施行する。本症例は0.052コイルと0.035コイルとの組み合わせにて塞栓した。

小児心臓CTの有用性

最近では、先天性心疾患に対するMDCTの有用性についての報告が見られるようになってきた¹⁻⁸⁾。総肺静脈環流異常のような超音波では還流先の同定が時に困難な病態に対して、異常静脈の形態を

全例で正確に診断できたとする報告も見られる。この報告は非同期での撮影のため心内形態の評価は困難としている¹⁾。成人型の先天性心疾患には心電同期CTを使用しやすいため、形態診断に有用とする報告も見られる^{3,4)}。成人例では超音波の視野も小児よりは制限があるため死角のないCTの利点が活用できる。

また、複雑心奇形の肺動脈評価に有用であり、肺動脈の側副路、左右肺動脈の連続性評価が超音波よりも優れていたとの報告も見られる²⁾。先天性心疾患の術前術後評価に有用であるが、撮影、評価にあたり診断医が術式や解剖をよく理解することが必要とされる。我々も小児心疾患の術後評価につき有用性を報告している。

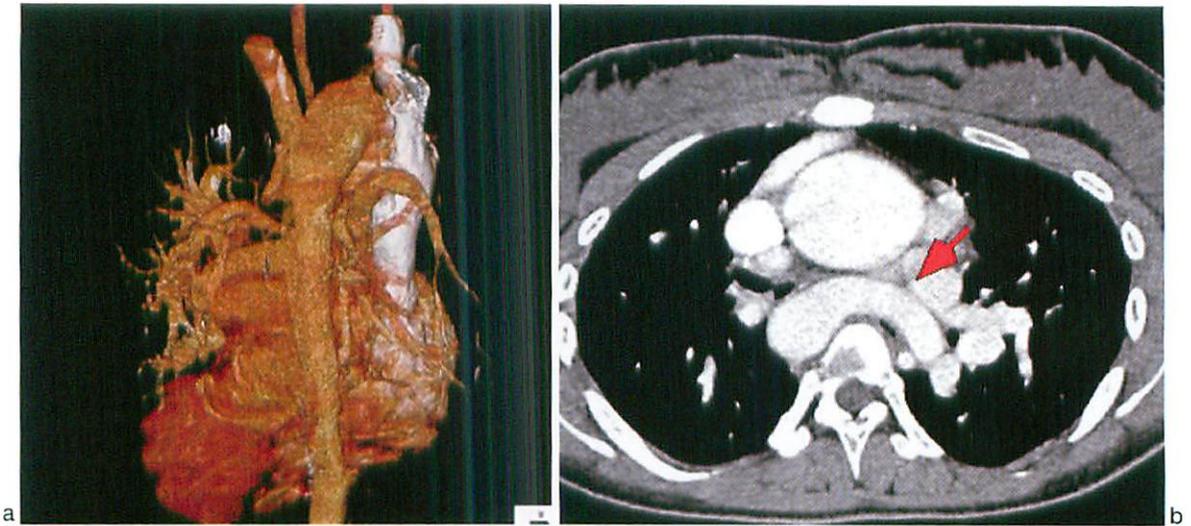


Fig.7 Tetralogy of Fallot with pulmonary atresia and major aortopulmonary collateral arteries (MAPCA)
 a : Posterior view of volume rendering image shows MAPCAs originating from the descending aorta connected to the pulmonary artery.
 b : Large MAPCA is detected in the axial slice (arrow).

小児心臓CTと心電同期

小児のCT診断での問題はやはり被ばくであり、これらを検討した文献も見られる^{9,10)}。5歳児相当のファントムにて被ばくを測定すると実効線量では110mA : 8.7mSv, 220mA : 19mSv, 330mA : 28mSv, 80kVp/385mA : 12mSv となり、条件設定のさらなる検討や機器の改良が必要とされる¹⁰⁾。体形が小さいため装置に表示されるCTDIvolよりも実際の被ばく量が大きくなることにも留意しなければならない。

小児心臓CTの基本は心電非同期CTであり、線量を最小必要量に低減する努力を常に考慮すべきである。実際に、房室間や大血管形態を含めた血行動態の把握などある程度の心内形態の診断と肺静脈還流異常やMAPCA等の心外形態の評価のみであれば、被ばくを考慮して非同期CTを施行すべきである。しかし、病変の正確な評価(サイズ測定, 分枝までの距離など)が心臓IVRの術前評価として必要な際には、心電同期CTを適応を絞った上で我々は施行している。成人例の心奇形や冠動脈評価の必要な症例でも心電同期CTは良い適応と考える。IVR前には手技のsimulationを兼ねたCTを施行することで、時には設定の難しい術中

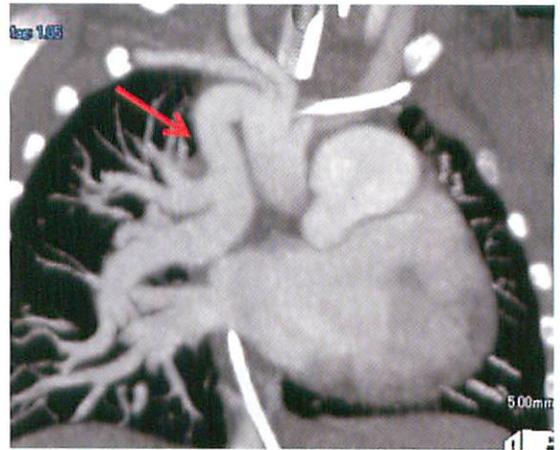


Fig.8 Right pulmonary artery interruption
 A large collateral artery originates from the aortic arch connecting to the right pulmonary artery.

の透視角度の設定や計測が術前に行え、実際の術中での造影剤使用・透視時間を低減することが可能と思われる。心電同期CTを施行する際の問題点は頻拍、呼吸停止不十分による画質の低下であるが、時間分解能の向上した2管球CTや320列CTを含む機器の進歩、適切な位相選択(収縮末期の再構成)によりかなり克服されてきている。

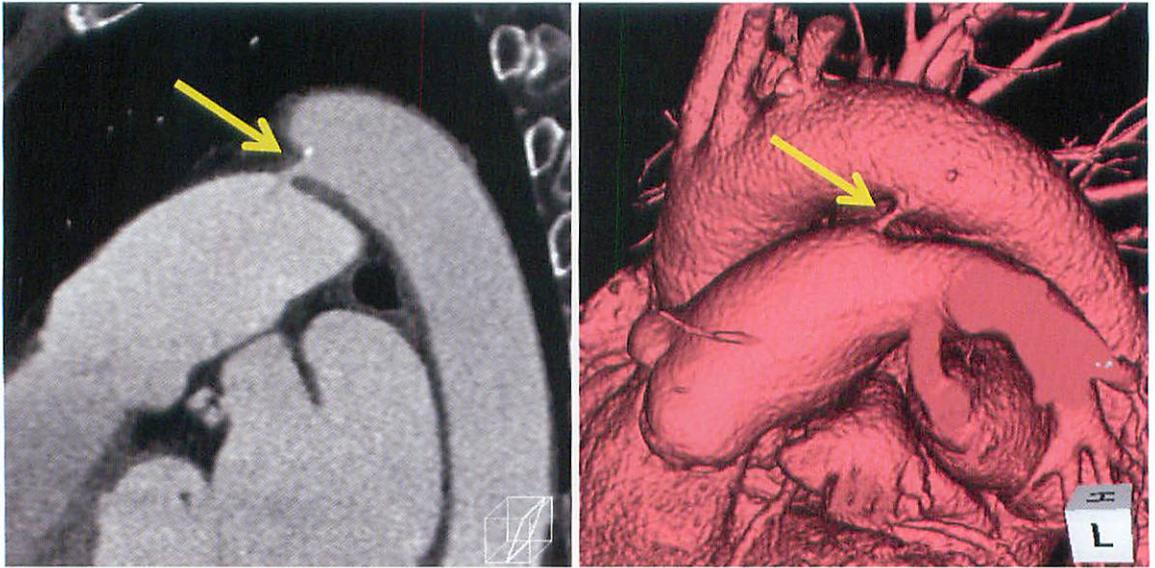


Fig.9 Patent ductus arteriosus (adult case) a | b
 ECG-gated CT images (a : parasagittal MPR, b : volume rendering image) clearly show the configuration of the ductus arteriosus connecting the aorta and pulmonary artery (arrow). Because the diameter of the ductus was 2.7 mm, coil embolization was performed.

まとめ

最近のCTの進歩により、従来の検査にて把握困難な小児循環器疾患のvolume dataを用いた診断が可能となった。被ばく、エコー所見を踏まえ、risk-benefitを考慮したCTの適応や撮像方法決定と、さらなる技術的進歩による被ばくの低減が期待される。

●文献

- 1) Kim TH, Kim YM, Shu CH, et al : Helical CT Angiography and Three-Dimensional Reconstruction of Total Anomalous Pulmonary Venous Connections in Neonates and Infants. *AJR Am J Roentgenol* 2000 ; 175 : 1381-1386.
- 2) Westra SJ, Hill JA, Alejos JC, et al : Three-Dimensional Helical CT of Pulmonary Arteries in Infants and Children with Congenital Heart Disease. *AJR Am J Roentgenol* 1999 ; 173 : 109-115.
- 3) Lembcke A, Koch C, Dohmen PM, et al : Electrocardiographic-Gated Multislice Computed Tomography for Visualization of Cardiac Morphology in Congenitally Corrected Transposition of the Great Arteries. *J Comput Assist Tomogr* 2005 ; 29 : 234-237.
- 4) Lee EY, Siegel MJ, Hildebolt CF : MDCT Evaluation of Thoracic Aortic Anomalies in Pediatric Patients and Young Adults : Comparison of Axial, Multiplanar, and 3D Images. *AJR Am J Roentgenol* 2004 ; 182 : 777-784.
- 5) Ou P, Celermajer DS, Calcagni G, et al : Three-dimensional CT scanning : a new diagnostic modality in congenital heart disease. *Heart* 2007 ; 93 : 908-913.
- 6) Murai S, Hamada S, Yamamoto S, et al : Evaluation of Major Aortopulmonary Collateral Arteries (MAPCAs) Using Three-dimensional CT Angiography : Two Case Reports. *Radiation Medicine* 2004 ; 22, 186-189.
- 7) Greil GF, Schoebinger M, Kuettner A, et al : Imaging of aortopulmonary collateral arteries with high-resolution multidetector CT. *Pediatr Radiol* 2006 ; 36 : 502-509.
- 8) Goo HW, Park IS, Ko JK : CT of Congenital Heart Disease : Normal Anatomy and Typical Pathologic Conditions. *RadioGraphics* 2003 ; 23 : 147-165.
- 9) McCollough CH, Primak AN, Saba O, et al : Dose Performance of a 64-Channel Dual-Source CT Scanner. *Radiology* : 2007 ; 243, 775-784.
- 10) Hollingsworth CL, Yoshizumi TT, Frush DP : Pediatric cardiac-gated CT angiography : assessment of radiation dose. *AJR Am J Roentgenol* 2007 ; 189 : 12-18.