

## 特集 第38回日本小児放射線学会シンポジウムより *Pediatric CT Update 2002・小児のMDCT*

### 3. 小児病院でのMDCTの実践的使用方法

藤田和俊, 相田典子

神奈川県立こども医療センター 放射線科

Clinical Application of Multislice Helical Computed Tomography for Pediatric Thoracic and Abdominal Disease : Preliminary Experience in the Routine Study and Three-dimensional Reconstruction Images at Kanagawa Children's Medical Center

Kazutoshi Fujita, Noriko Aida

Department of Radiology, Kanagawa Children's Medical Center

#### Abstract

The major advantage of multislice helical CT (MSCT) is the ability to scan a large longitudinal volume with high resolution and low image artifacts in a shorter examination time compared with conventional computed tomography (CT) and single slice helical CT. Few investigators have described MSCT protocols of the diagnostic pediatric chest and abdomen imaging, and pediatric three-dimensional reconstruction. This paper describes our experience in pediatric chest and abdomen routine studies and three dimensional reconstruction images using MSCT.

**Keywords :** Multislice helical CT, Infants and children

#### はじめに

Multislice helical CT (MSCT) では広範囲を短時間で撮影することが可能であり、呼吸や体動の影響を比較的受けにくい。そのため、小児領域での有用性が期待されている。しかし小児におけるMSCTの撮影条件が確立しているとは言えず、各施設で経験を元に手探りで行われているのが現状である。神奈川県立こども医療センターでは、MSCTを2001月2月に導入し小児に応用してきた。この1年余りの経験を元に、当院で日常使用している胸部、腹部のルーチンの撮影条件を提示し、また、造影剤量、投与方法、撮影タイミングについても、当院での使用

方法を提示し、文献的考察を加え解説を行う。

MSCTは、大量のvolume dataを短時間で取得可能なことから、CT-angiographyを含む3D画像の需要も増加している。しかし、小児領域におけるMSCTを使った3D画像の報告は少なく、小児の場合、呼吸停止ができず、心拍数が多いなどの悪条件があり、現場での条件設定は成人ほど単純ではない。当院での症例を呈示し、他のモダリティとの比較検討を行い、その適応と有用性、限界についても解説を行う。

#### 胸部routine CT

##### 1) 撮影条件

当院での胸部CTの条件を示す (Fig.1)。管電

流の設定がやや高めであるが、これは、当院では、胸腹部で撮影することが多いためである。CTの撮影で小児と成人の大きな違いは、小児の場合、息止めができないことが多く、そして、息止めができない場合、成人に比して呼吸数が多い小児では、より強く呼吸によるmotion artifactが生じることである（新生児 40～50/分、乳児 30～40/分、幼児 20～30/分、成人 16～18/分）。成人ボランティアでの呼吸数の違いによる画像を提示する。画像は、それぞれ吸気位停止下（Fig.2a）、呼吸数 20/min（Fig.2b）、呼吸数 30/min（Fig.2c）での、心電図同期による胸部CT再構成冠状断像である。このように、呼吸数が多い程、motion artifactが強くなることがわかる。当センターでは、helical pitchを小さくして、

細かく撮影するより、ある程度helical pitchを大きくして、短時間で撮影したほうがより実践的と考えている。ただし、3D-CT angiographyなどを行う場合では、症例ごとに撮影条件を変える必要がある。

## 2) 造影条件

小児領域の胸部MSCTの造影条件の報告は認められない<sup>1)</sup>。当センターでは、conventional CT（東芝900S）で、300mgI/ml造影剤 1.5ml/kgで診断に十分な増強効果を得ていた。MSCTでは、撮影時間がconventional CTやsingle helical CT（SHCT）と比べ短く造影時間を長く維持する必要がなく造影剤量は減量可能であると考えられている。当センターでは、routine胸部造影CTでは、造影剤量 1.0ml/kg、delay time 30秒

Fig.1 Pediatric thoracic and abdominal multidetector helical CT protocols.

| 機種         | 東芝Aquillion 4検出器 |              |
|------------|------------------|--------------|
|            | 胸部routine CT     | 腹部routine CT |
| 管電圧        | 120Kv            | 同右           |
| 管電流        | 75mAs～           | 100mAs～      |
| ディテクタ幅     | 3mm              | 3mm          |
| ヘリカルピッチ    | 5.5              | 5.5          |
| スキャン時間/回転  | 0.5sec           | 0.5sec       |
| 画像再構成スライス厚 | 3～5mm            | 5mm          |

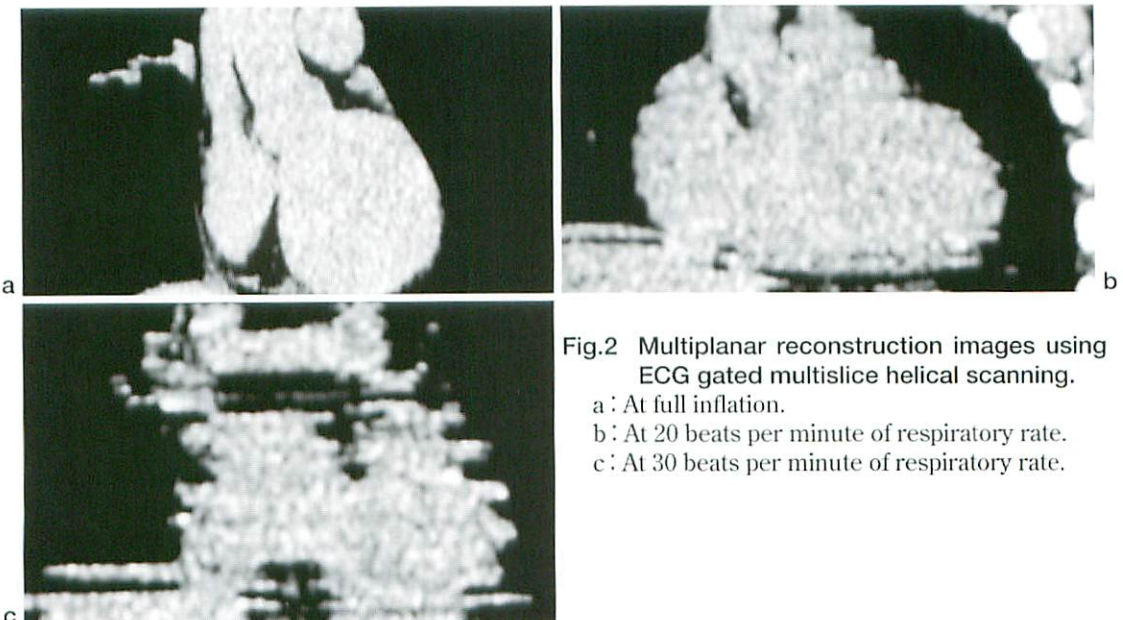


Fig.2 Multiplanar reconstruction images using ECG gated multislice helical scanning.

a : At full inflation.

b : At 20 beats per minute of respiratory rate.

c : At 30 beats per minute of respiratory rate.

で撮影を行っている。これは、以下に示す検討の結果である<sup>2)</sup>。

対象は、2001年2月から2002年2月に施行されたroutine胸部CT 53回中、後に示す条件を満たした39回である。対象年齢は、平均5.5歳である。方法は、25kg以下の患児の場合、用手的に急速静注している。造影条件の違いで、①A群 1.0ml/kg, delay time 30~35秒, ②B群 1.5ml/kg, delay time 30~35秒, ③C群 1.5ml/kg, delay time 15~20秒の3群にretrospectiveに分け、気管分岐部レベルでの上行大動脈、下行大動脈、肺動脈本幹にそれぞれROIを設定し、CT値を測定し、t検定で検討を行い、造影能について検討した。また、診断能については、診断に十分

な造影条件を大血管系が十分に造影され、リンパ節や他の構造と識別可能であることとして、2人の放射線科医が判断した。

結果は、delay timeが同一で、造影剤量が異なるA群とB群の比較では、上行大動脈、下行大動脈で増強効果に有意差が見られた(Fig.3a)が、造影剤量が少ないA群においても、CT値120H.U.以上の十分な増強効果が得られている。また、造影剤量が同一(1.5ml/kg)で、delay timeが異なるB群とC群の検討では、いずれの血管の増強効果に有意差は見られなかった(Fig.3b)。診断能では、いずれの群においても、十分な診断能があると判断できた。これらの結果を踏まえ、routine胸部造影MSCTでは、1.0ml/kg delay

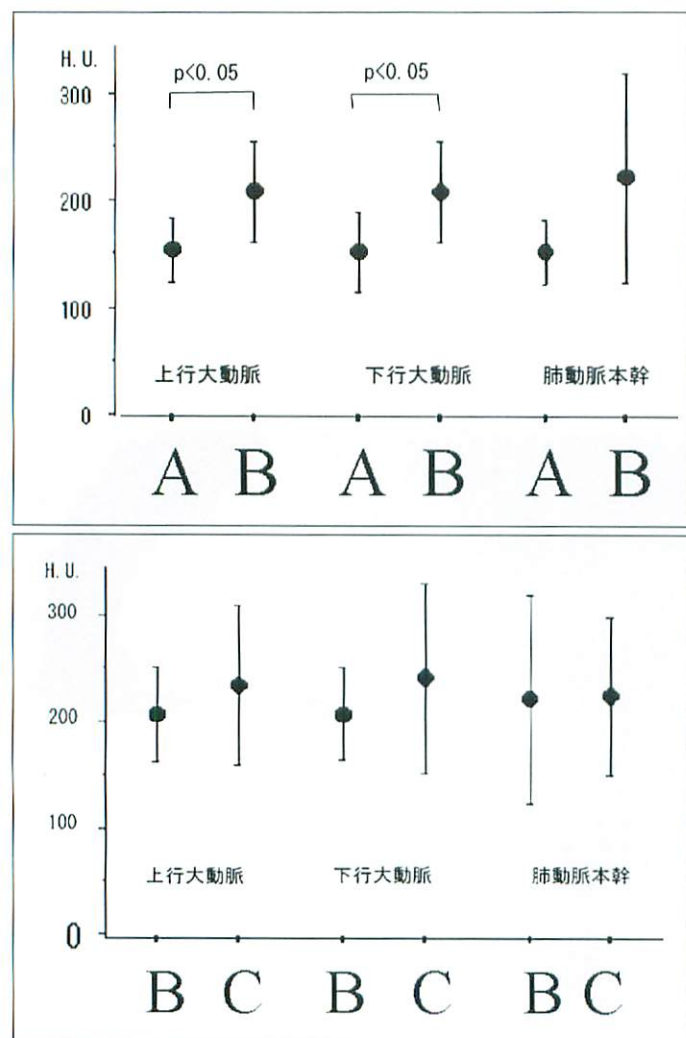


Fig.3

a: CT value of vascular enhancement between group A and B.

b: CT value of vascular enhancement between group B and C.

time 30～35秒で十分な増強効果ならびに診断能が得られると考え、当センターでは、routine 胸部CTは、造影剤量1.0ml/kg, delay time 30秒で行っている。

### 胸部3D-CTおよび心電図同期画像

MSCTは、広範囲を短時間で撮影可能であることから、体動や呼吸によるartifactの少ない画像が多く得られ、小児領域にも、multi-planer 画像 (MPR) や3D画像の有用性が期待されている。以下に胸部CT-angiography, 3D-CTを含めたMSCTによる気道評価および心電図同期画像について、症例を呈示しながら、当センター

での使用方法および問題点について記載する。

#### 1) 胸部CT-angiography

##### 症例呈示

日齢2日男児。心エコーで大動脈弓が不明瞭であり頻呼吸も認め、気道評価と気道を圧排する異常構造の検索目的でCTが施行される。横断像では、大動脈弓が気管と食道の背側を走行していることがわかるが (Fig.4a-c), 全体像の把握がやや難しい。3D-CT 画像では、血管の分岐の状態ならびに血管と気管の関係の把握が容易である (Fig.4d-f)。この血管奇形は、right circumflex aortic arch with aberrant left subclavian arteryであり、緩い血管輪を形成し

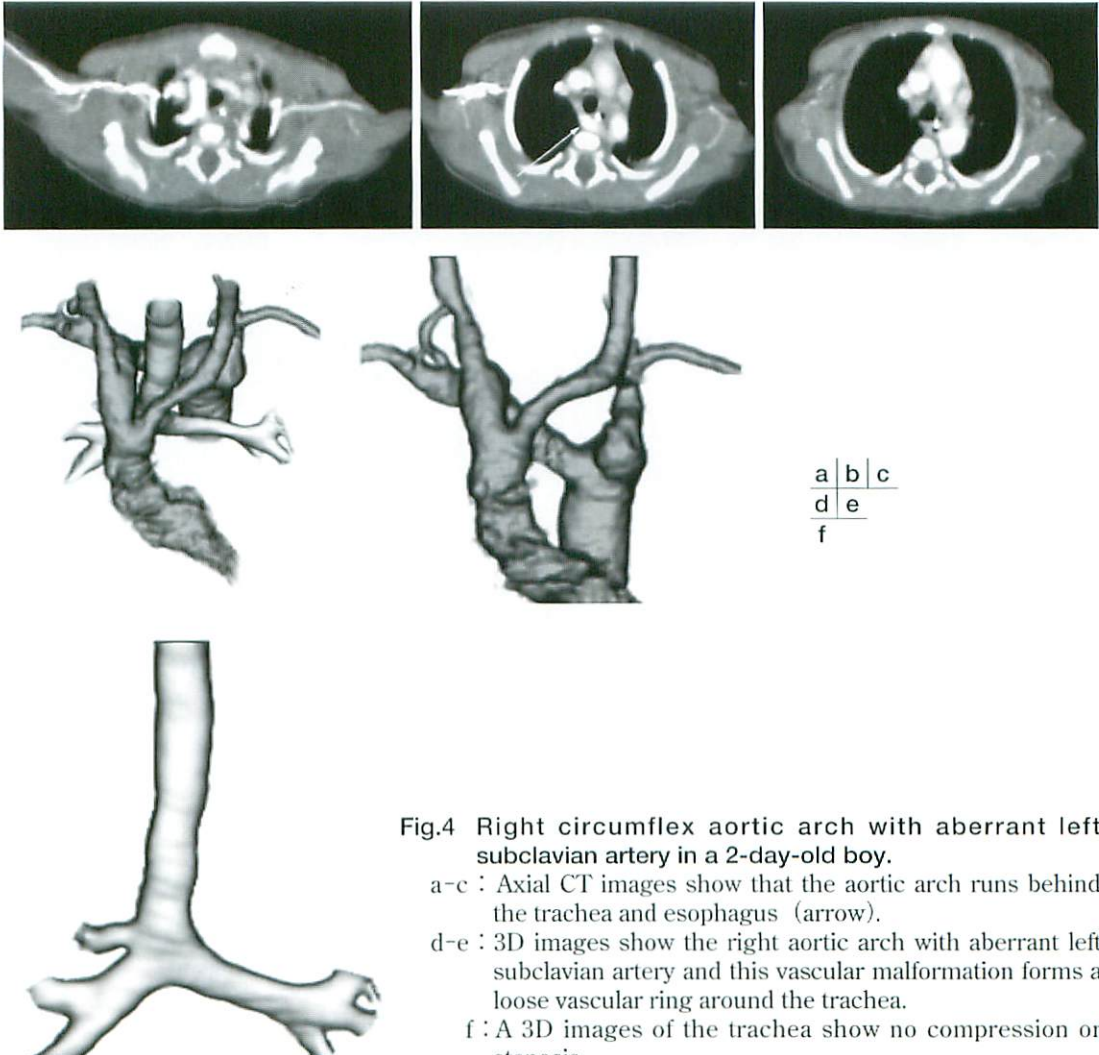


Fig.4 Right circumflex aortic arch with aberrant left subclavian artery in a 2-day-old boy.

a-c : Axial CT images show that the aortic arch runs behind the trachea and esophagus (arrow).

d-e : 3D images show the right aortic arch with aberrant left subclavian artery and this vascular malformation forms a loose vascular ring around the trachea.

f : A 3D images of the trachea show no compression or stenosis.

ているが、気管の3D画像では、血管による圧排はなく、呼吸器症状は、血管奇形によるものではないと判断可能である。

小児領域の胸部CT-angiographyの報告はSDCTの場合でも報告は少なく、MSCTでの報告は認められない<sup>3)</sup>。当センターでは、Fig.5に示す撮影および造影条件で施行している。造影剤量は2.0ml/kgであるが、これにより、主要血

管のCT値が200H.U.以上の3D-CT angiographyが作成しやすい増強効果が得られる。大動脈相の1相撮影のみであるが、これは、肺動脈相を得るために、delay time 4~8秒で検査を施行しても、各種シャントの存在や、小児特有の循環時間が早いことなどから、大動脈相まで造影されてしまう場合があることと、大動脈相のみでも、workstationでの画像処理により、肺動脈を分離することがある程度可能であり、また、これに

Fig.5 Pediatric thoracic CT angiography protocol.

| 胸部3D-CT angiography |                            |                     |
|---------------------|----------------------------|---------------------|
| 撮影条件                | ディテクタ幅                     | 1~2mm               |
|                     | helical pitch              | 5.5                 |
|                     | 再構成画像スライス厚                 | 1~2mm, 間隔 0.5~1.0mm |
| 造影条件                | 300mgI/ml造影剤を2.0ml/kg      |                     |
|                     | delay time 20~30秒の大動脈相のみ撮影 |                     |

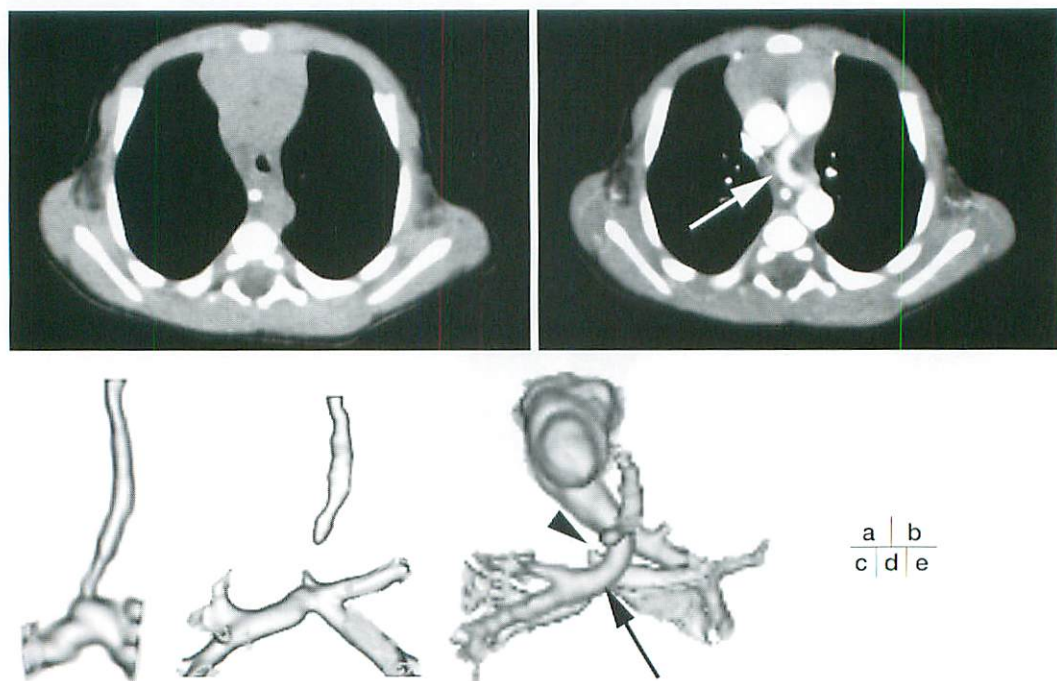


Fig.6 Pulmonary sling in a 2-day-old boy.

- a : An axial CT image above the carina of the trachea at full inflation shows that the trachea is open.
- b : An axial CT image at the same level at deflation shows collapse of the trachea. Tracheomalacia caused by the pulmonary sling was diagnosed. (arrow : pulmonary sling)
- c : A 3D image of the trachea at full inflation shows that the trachea is narrowly open.
- d : A 3D image of the trachea at deflation shows collapse of the trachea.
- e : A 3D image of the trachea and the pulmonary arteries in a cranial view shows compression of the trachea (arrowhead) by pulmonary sling (arrow).

より被曝を減らすことができる<sup>2)</sup>。

3D-CTによる血管の評価であるが、症例に呈示しているように安静呼吸下での比較的侵襲的な状態で、短時間の撮影で良好な血管像を得ることが可能であり、診断目的の血管造影を省略できる可能性が高いと考えている。

## 2) 気道の評価

### 症例呈示

日齢2日男児、生直後より強い呼吸障害があり挿管された。気管支鏡で拍動を伴う強い狭窄を認め、CTを施行。撮影は、挿管下で加圧時(30cmH<sub>2</sub>O)と非加圧時に撮影が行われている。加圧時に撮影された単純CT (Fig.6a) では、気管は開存しているが、非加圧時に撮影された造影CT (Fig.6b) では、気管は強い狭窄を示し、内腔はほとんど確認できない。造影CTでは、最狭窄部を取り囲むように血管構造が認められる。右肺動脈から起始した左肺動脈であり、狭窄の原因は、pulmonary slingであることがわかる。CT横断像でも、気管狭窄の程度や範囲の評価は可能であるが、3D画像 (Fig.6c, d, e)

を用いることにより、加圧時と非加圧時の違いならびに気管と血管の位置関係の把握がより容易になることがわかる。

気道の評価は気管支鏡がgold standardであるが、小児領域の場合、患児の協力が得られないことが多く施行しがたいのが現状である。そのため気道の評価に、CTの利用が考えられてきたが、小児の場合、体動や呼吸によるartifactが生じやすくそれほど普及していなかった<sup>4~6)</sup>。MSCTの登場により、比較的体動によるartifactが少ない画像が短時間に得られ、気道病変の評価への応用が期待されている。提示した症例のように、挿管下で加圧時と非加圧時に撮影され、体動によるartifactがない画像の場合、正しい評価が可能である。次に体動および呼吸によるartifactが認められる症例を呈示する。

### 症例呈示

日齢3ヶ月男児で、胸部3D-CT angiographyで呈示した日齢2日男児の3ヵ月後の画像である。

前述した様にright circumflex aortic arch with

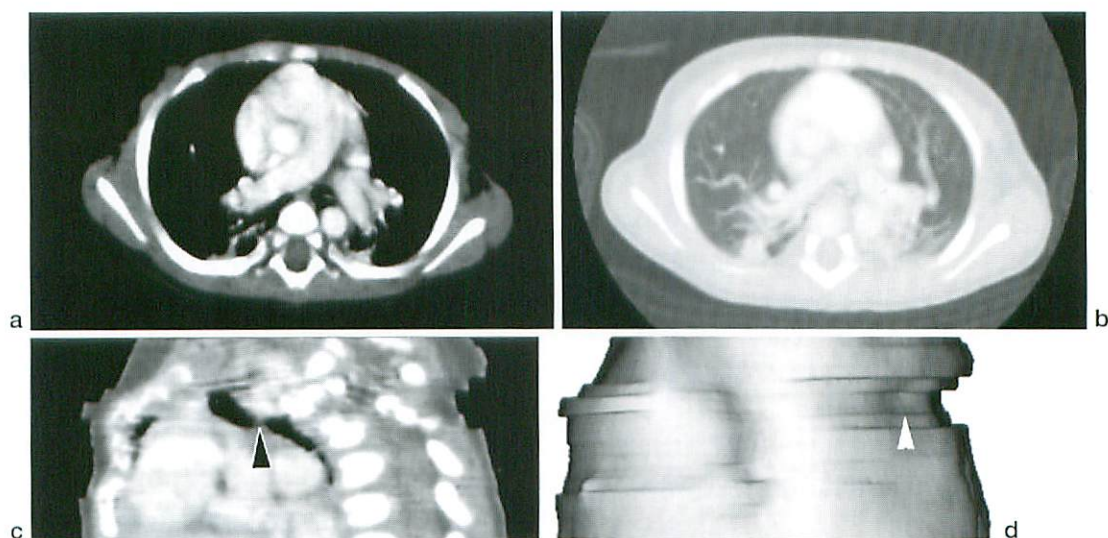


Fig.7 Right circumflex aortic arch with aberrant left subclavian artery in a 3-month-old boy.

- a: An axial CT image below the carina shows dilated bilateral main pulmonary arteries.
- b: A lung window image at the same level suggests narrowing of the bilateral main bronchus.
- c: A sagittal multiplanar image shows focal stenosis of the trachea (arrowhead).
- d: A 3D image of the chest wall shows deformation of the chest due to respiratory motion artifact at the same level of focal narrowing of the trachea in (C) (arrowhead).

aberrant left subclavian arteryがあるが気管の狭窄は認められていない。退院後状態は安定していたが、突然の呼吸困難となり入院となる。気道評価のため、CTが施行される。CTは、安静呼吸下で撮影されている。このときの呼吸は速く不整であった。本症例は、大きな心室中隔欠損があり、その結果と考えられる両側肺動脈の拡張 (Fig.7a) を認める。両側肺動脈レベルで、主気管支は細く見え (Fig.7b)、両側肺動脈の拡張に伴う気管支狭窄のように見える。MPR画像による矢状断像 (Fig.7c) にすると、矢印の部位で狭窄している様に見える。しかし、これらの所見は、CT上有意とは断定してはいけない所見である。理由の第一は、強い呼吸のartifactが認められるからである。胸壁の3D画像と前述のMPR画像を比べる (Fig.7d) と気管が狭窄して見える部位は、呼吸による胸壁の動きが入っている部位であることがわかる。第二に、吸気と呼気を比べていないからである。正常気管であっても、呼気終末と吸気終末では、前後径で平均32%、横径で平均13%、面積で平均35%変化すると報告されている<sup>6)</sup>。よって、本症例では、両側主気管支が細く見えるが、撮影時の呼吸のタイミングでたまたま細く見えるときに撮影されている可能性も考えられるからである。

上記のような息止めができない小児の場合、CTで評価を行うには限界があり、正確な評価のためには、挿管下またはマスク換気下での撮影が必要であるが、小児画像検査に積極的に麻酔科の関与することがほとんどない日本の現状では難しいのが実情である。しかし、落ち着いた呼吸で撮影された場合には、限界はあるもののある程度の気道評価は可能である。ただし、呼吸のartifactがかかった部位の気道評価はできないことを理解した上で撮影を行う必要がある。

### 3) 心電図同期画像

MSCTによる心電図同期CTは、成人領域の冠動脈病変の検出、評価などに応用されつつある。しかし、小児領域の報告は認められず、臨床現場での応用は、成人と違い呼吸停止ができ

ないことや心拍数が早いことなどから難しい。症例を呈示し、小児領域の心電図同期下CTの問題点について、以下に述べる。

### 症例呈示

3歳女児。近医で心雑音を指摘され、当センター紹介受診。心エコーで右室流出路を狭窄するような腫瘍性病変が認められた。血管造影では、右および左冠動脈造影でtumor stainが認められる (Fig.8a, b)。また、右室造影では右室流出路に強い狭窄が認められる (Fig.8c)。腫瘍の進展範囲および性状評価のためCTが施行される。CTの撮影条件は、安静呼吸下で、心拍数95~100beat/minで撮影している。心電図同期時は、1.3helical pitchでretrospective ECG gate法を用いている。Delay time 30秒 (Fig. 8d) および120秒後 (Fig. 8e) のCT画像では、右室流出路に腫瘍と思われる壁肥厚があり、心室中隔ならびに右心房心室中隔に広がっていることがわかる。また、腫瘍は後期に徐々に増強されることもわかる。この後、腫瘍生検が施行され、心原発血管腫であった。

心電図同期の問題点は、①被曝線量の増加、②小児の早い心拍数に心電図同期が対応するか③呼吸によるartifactの増加が挙げられる。これらの問題点について以下に述べる。

#### 被曝線量の増加

心拍数に応じて、helical pitchを変更する必要があるが、心電図同期を使用した場合は、使用しない場合と比較して小さいhelical pitchを使用しなければならない。提示した症例では、1.3helical pitchを用いているが、心電図同期を使用しないroutine撮影で用いる5.5helical pitchを使用した場合と比較して撮影時間が3倍近くかかり、その結果として被曝線量の増加が生じている。

#### 小児の早い心拍数に心電図同期が対応するか

提示した症例の心拍数は、95~100beat/minであったが、RR間隔がそれぞれ20% (fig.8f) と70% (fig.8g) で処理した画像 (RR20%で処理した画像が拡張期に近い時点の画像であり、RR70%で処理した画像が、収縮期に近い時点の画

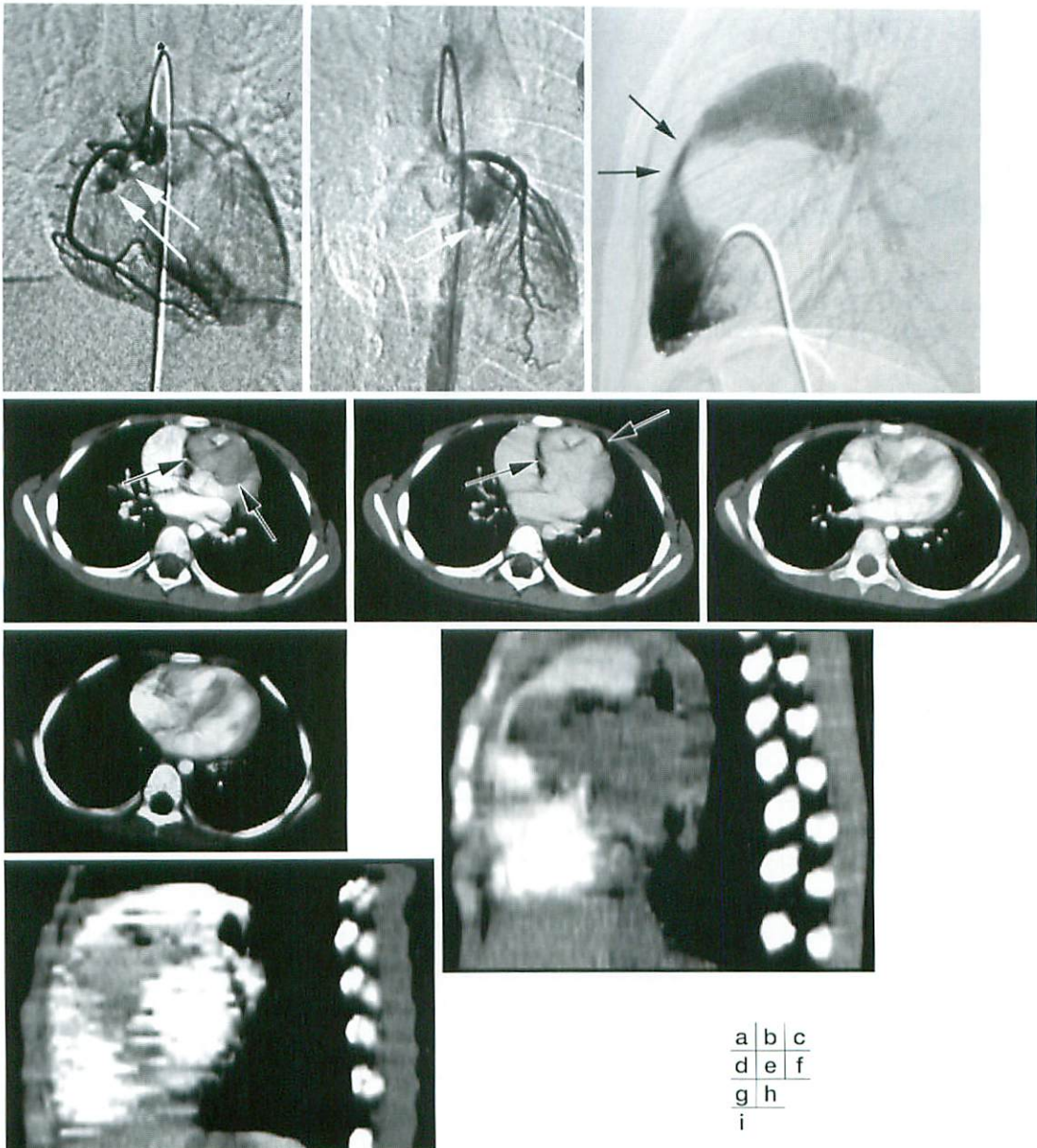


Fig.8 Cardiac hemangioma in a 3-year-old girl.

- a, b : Selective right and left coronary angiographies demonstrate vascular stain (arrow).  
 c : A right ventriculogram demonstrates right ventricular outflow stenosis (arrow).  
 d : An arterial phase CT image demonstrates a mass of the right ventricular outlet wall (arrow).  
 e : The mass is enhanced homogeneously on a delayed image.  
 f : An electrocardiographically (ECG) gated CT image on setting the center of the capture time to 20% of the R-R wave interval.  
 g : An ECG gated CT image on setting the center of the capture time to 70% of the R-R wave interval.  
 h : A sagittal multiplanar image using no ECG gated CT images.  
 i : A sagittal multiplanar image using ECG gated CT images.



Fig.8

j | k | l

j : An usual axial CT image.

k : An axial CT image on setting the center of the capture time to 20% of the R-R wave interval.

l : An axial CT image on setting the center of the capture time to 70% of the R-R wave interval.

像である。)を比べると左心室内腔の大きさならびに左室自由壁の心筋の厚さの違いが確認でき、心電図同期がかかっていることがわかる。心電図同期下CTの経験は少ないが、100beat/min前後であれば、心電図同期は可能と思われる。

#### 呼吸によるartifactの増加

心電図同期では、小さいhelical pitchを使用するため撮影時間の増加する。息止め下で撮影ができない小児の場合、呼吸によるartifactの増加がより多く生じる。Delay time 6秒で非心電図同期下helical pitch5.5で撮影した画像のMPRによる矢状断画像 (Fig.8h) とdelay time 30秒で心電図同期下helical pitch1.3で撮影した画像のMPRによる矢状断像 (Fig.8i) を示す。撮像時間が長くかかっている心電図同期下で撮影した画像がより多くの呼吸によるmotion artifactが入っていることがわかる。また、心電図同期処理前後の画像 (Fig.8j) : 同期処理なし、Fig.8k : RR20%で心電図同期処理後、Fig.8l : RR70%で心電図同期処理後) を比べると、心大血管の形態評価において、大きな違いが見られないことがわかる。

以上のことより、胸部大血管の評価には診断能および放射線被曝の観点から、心電図同期なしで十分と当センターでは考えている。しかし、小児領域の冠動脈病変の評価については当センターでは経験がなく不明である。

#### 腹部CT

Routine腹部CTの撮影および造影条件とMSCTによるvolume dataの応用としてDIC-CTについて記載する。

#### 1) 撮影条件

当院での腹部CTの撮影条件を示す (fig.1)。管電流の設定以外は、胸部CTと同一条件である。

#### 2) 造影条件

SDCTによる小児腹部CT造影条件として、2.0ml/kgの造影剤量を注入流量時点より撮影を開始すると十分な増強効果が得られるという報告がある<sup>1)</sup>。成人では、造影開始後60~80秒で撮影されている。MSCTによる小児腹部造影CTの至適造影条件の報告は認められない。当センターでは、胸部造影CTと同様に造影剤量は、SDCTと比べ減量可能であると考え、1.5ml/kg delay time 60~65秒で行い、診断に十分な増強効果を得ている。

#### 3) DIC-CT

現在、胆道系の評価には、MRCPが多く利用されているが、息止めができない症例が多い小児領域の場合、MRCPでは、評価が難しい場合があり、このような場合、DIC-CTが有用なことがある。撮影条件は、大部分で通常の腹部CTの条件を使用しており、造影方法は、イオトロクス酸メグルミン注射液 (Biliscopin) を、5ml/kg (最大100ml) を、30分で滴下し滴下終了後1時間から1時間30分より撮影している。

#### 症例呈示

3歳男児、腹痛、嘔吐、発熱を主訴に他院受診。超音波検査で、胆管嚢腫が疑われ、当センター紹介受診。撮影は70ml Biliscopinを30分で静注し、静注終了後1時間30分後に撮影している。撮影は、安静呼吸下で、ディテクタ幅2mmで撮影を行っている。

横断像 (Fig.9a-d) では、総胆管の嚢胞状拡張があり、その下部には、膵管への逆流と思われる造影剤の異常流入部位が認められる。MPR画像 (Fig.9e) およびMIP画像 (Fig.9f) では、胆道系の全体像の評価が可能であり、本症例では、DIC-CTで膵胆管合流異常を証明でき、術中胆道造影で確認された。

このように、DIC-CTは、放射線被曝や造影剤の投与が必要な侵襲的な検査であるが、ERCPが容易に行えない小児の場合、胆道の全体像の把握に有用であり、ときに、合流異常の証明も可能である<sup>7)</sup>。ただし、protein plaqueなどによ

り、必ずしも合流異常を描出できるとは限らないため、画像の解釈には注意が必要である。

### まとめ

当センターでの経験を踏まえ、MSCTによる胸腹部CTの使用法と有用性、限界につき供覧提示した。MSCTは、大量の画像データを短時間でもたすが、適切な条件設定および画像解釈を行わないと、間違った診断に到達する可能性がある。有用なMSCTの活用には、放射線科と臨床医の密接な情報交換が必要である。



Fig.9 Choledochal cyst in a 3-year-old boy.

- a-d : Drip infusion cholangiography (DIC) CT images show dilated common bile duct (arrow) and reflux of the contrast material into the pancreatic duct (arrowhead).  
e, f : A coronal MPR image and an MIP image show dilated bile duct (arrow) and reflux of the contrast material into the pancreatic duct (arrowhead).

●文献

- 1) Zeman RK, Baron RL, Jeffrey RB, et al : Silverman PM. Helical body CT : Evolution of scanning protocols. AJR Am J Roentgenol 1998 ; 170 : 1427-1438.
- 2) Fujita K, Aida N, Endoh K. : Optimaization of contrast enhanced multislice CT in pediatric chest : Preliminary experience in the routine study and CT angiography. In : 45th annual meeting of the society for pediatric radiology. Philadelphia, Pennsylvania, 2002 : 126.
- 3) Hopkins KL, Patrick LE, Simoneaux SF, et al : Pediatric great vessel anomalies : Initial clinical experience with spiral CT angiography. Radiology 1996 ; 200 : 811-815.
- 4) Brody AS, Kuhn JP, Seidel FG, et al : Airway evaluation in children with use of ultrafast CT : Pitfalls and recommendations. Radiology 1991 ; 178 : 181-184.
- 5) Brasch RC, Gould RG, Gooding CA, Ringertz HG, Lipton MJ. Upper airway obstruction in infants and children : Evaluation with ultrafast CT. Radiology 1987 ; 165 : 459-466.
- 6) Stern EJ, Graham CM, Webb WR, et al : Normal trachea during forced expiration : Dynamic CT measurements. Radiology 1993 ; 187 : 27-31.
- 7) Nambu A, Ichikawa T, Katoh K, et al : A case of abnormal pancreaticobiliary junction evidenced by 3D drip infusion cholangiography CT. J Comput Assist Tomogr 2001 ; 25 : 653-655.