

第1回日本小児放射線学会教育セミナー：
特集 小児画像検査の基本手技とのおさえるべき所見

4. 小児のCT検査

宮崎 治, 堀内哲也¹⁾

国立成育医療センター 放射線診療部, GE横河メディカルシステム株式会社¹⁾

Pediatric CT Practice : Many Aspects and Useful Information for Ideal CT Examination

Osamu Miyazaki, Tetsuya Horiuchi¹⁾

Department of Radiology, National Center for Child Health and Development

CT Engineering, GE Yokokawa Medical Systems, Ltd¹⁾

Abstract

This review article introduces many aspects of current pediatric CT scan technique.

The volume coverage speed may be substantially improved by using multidetector CT (MDCT), which also reduces the need for sedation. The CT unit in the National Center for Child Health and Development (NCCHD) uses a TV monitor system during the CT scanning for comfortable examination. The volume and injection rate of intravenous contrast material is important for adequate image quality. The FDA has reported potential for serious patient injury when vascular access devices not designed to tolerate high pressures are used for power injection of CT or MRI contrast media, and recommends steps to avoid these injuries.

Newer CT units may automatically adjust the tube current for the patient's size with an automatic exposure controller (AEC). This is a most easy and excellent way to reduce the radiation dose. Many institutions was a fixed setting of kilovoltage at 120kV. Now the CT unit in NCCHD is trying to reduce it to 80 kV in 3DCT angiography for diagnosis of congenital heart disease.

CT dose index (CTDI) has commonly been used as the most specific dose quantity guide for CT examination because it includes all particular scan parameters such as kV, tube current, slice thickness, helical pitch, and more. Otherwise, there are only two standard CT dosimetry phantoms for representative measurement of CTDI in the adult head and trunk. In recent years, diagnostic reference level (DRL) has been recognized for managing the patient dose in CT. ICRP publication 87 is available and is recommended. This article also includes recent CT cases in NCCHD, which have suggested some ideas and described technical errors in pediatric cranial, cardiac, and chest CT examinations.

Keywords : Child, CT, Radiation dose, Parameter

1. はじめに

Multidetector CT (以下 MDCT) は64列の時代

に突入し、その高性能化は今後さらに拍車がかかると思われる。小児のCT被ばく低減に関してはもはや“いかにスキャンしないか？”という現場

での努力が必要となっている。これは高性能レーシングカーを所有しながらも、分別を持って一般道を制限速度以下で走らなくてはならない状況と似ている¹⁾。

本稿は小児のCT全般という広範なテーマがあたえられているが、2004年2月に行ったセミナー当日では小児のCT被ばくを中心に解説した。小児CT被ばくの総論については著者の執筆した本誌第18巻第38回日本小児放射線学会シンポジウムの総説「小児のMDCT；被ばく低減の可能性」²⁾、および本誌21巻第40回日本小児放射線学会シンポジウムの総説「小児CT被ばくの現状と推奨条件」³⁾など⁴⁾に記載した。それらの総説と内容の重複を避けるために本稿ではCT被ばくの現状についての総論は割愛し、セミナーでの中～後半部分のCT検査方法、小児CT撮影の著者らの施設での工夫や自験例につき解説する。

1. 小児CT検査：スキヤンの前に

a. 鎮静の現状

MDCTの普及によりCT検査時の鎮静の頻度は減ったといわれている。6歳以下の患児で鎮静を必要とする頻度は、ヘリカルCT以前のコンベンショナルCTでは18%と報告されているのに対し、4列のMDCTではその頻度は3.3%に減らせたというデータが報告されている⁵⁾。本邦の小児画像検査における鎮静は神奈川こども医療センター放

射線科、相田らの調査によると、画像診断医(外来患者の約8.15%)や麻酔科医(2.1%)が施行している施設は少なく、主治医や当番小児科医によって大部分が行われているのが現状である⁶⁾。通常の経口、座薬鎮静剤に加え、特に経静脈性の鎮静薬物を使用する機会も稀ならずあり、鎮静中の監視や救急設備などにつき十分な安全確保が必要と思われる。

b. 鎮静剤を使用しないCT撮影の工夫

成育医療センターでは、主治医の判断で1歳以下、時に2歳児などでも、“お昼寝”の習慣のある子供であれば、眠剤を使用しない自然睡眠でのCTも積極的に行っている。その際、保護者に協力してもらい前夜の睡眠を意識的に減らしたり、当日早朝に起こし寝不足の状態で来院させたりする。またCT、MRI室に近接して入眠室を設けており、入眠後スムーズに検査が行えるよう対応している(Fig.1)。

筆者の施設では小型液晶TVモニターを使用し、患児がCTのテーブルに乗ってから実際のスキヤンまで、落ち着いて検査できるように子供向けの



Fig.1 Sedation room of National Center for Child Health and Development (NCCHD) next to CT and MRI units.

Note that beds and quiet environment are available next to CT and MRI exam rooms.



Fig.2 TV monitor system in CT unit of NCCHD

a : Lateral view of TV monitor.

b : Total appearance of system. Note DVD player, which is attached at the bottom of the vertical bar.

c : View from head (looking through CT gantry)

アニメーションなどのビデオを見せながらスキャンしている (Fig.2)。この方法は、時に鎮静剤に匹敵する効力を発揮するが、導入にあたり安全対策は重要である。液晶TVモニターをささえる支柱が頑丈なもの (筆者の施設ではウインテクノ社製 液晶モニター DVD システム <http://www.wintechno.co.jp/LCDARM/TFTDVD.html>) を使用している。

c. 造影剤

小児の造影CTを成人と比較した場合の相違点として、造影剤使用量が少ない、静脈確保されているゲージ数が細い、あるいは足などに静脈が確保されている、用手的注入が多く、注入スピードが不明あるいは一定ではないといった違いがある。造影剤の投与量は検査部位や目的によっても異なるが、腹部の場合は 2 ml/kg 、胸部は 1.5 ml/kg が標準的と思われる⁷⁾。筆者らの施設では胸部も 2 ml/kg を使用している。

新生児とくにNICUに入院中の未熟児では、造影剤を使用する場合、体重が 2.5 kg から 3 kg 程度しかなく、造影剤はわずか $5\sim 6\text{ ml}$ である。このような場合、筆者らの施設では投与造影剤量の20%相当の生理食塩水で希釈して注入している。これは用手的注入の抵抗感をなくし、注入スピードが速くなる分、早期に造影剤の血中濃度が上昇し造影増強効果が良好となる。

小児における造影剤自動注入機 (以下インジェクター) の使用は過去に比し普及しつつある。Frushらによれば小児造影CTにおけるインジェクターの使用について絶対禁忌項目はないが、相対的禁忌項目として24ゲージで末梢に確保されたルートで血液の逆流が不良な場合、または生理食塩水を注入した場合に抵抗を感じる場合を挙げている⁸⁾。

文献的には24ゲージでも $1\sim 1.5\text{ ml/秒}$ の注入は可能で、22ゲージなら $1.5\sim 2\text{ ml/秒}$ 、20ゲージなら $2\sim 3\text{ ml/秒}$ は注入可能と記載されている⁷⁾。この際穿刺部の注射針と延長チューブの連結部分を付属のロックを使用し確実に固定することが理想である。末梢ラインが確保できない場合に中心静脈栄養カテーテル (以下CVライン) から造影剤を投与するが、インジェクターによるCVラインからのパワーインジェクションは一般的ではない。

過去の文献では中心静脈も末梢ルートも合併症の頻度に差がないとの報告⁹⁾もあるが、本年2005年9月号の北米放射線学会会報RSNA Newsで、米国の食品衛生局 (FDA) よりインジェクター使用によるCVラインの破損に関する注意勧告がなされた。FDAの報告によれば2004年7月7日の日付で、過去数年に250件以上のインジェクターによる中心静脈カテーテル破損が報告され、各施設での使用カテーテルの規格を確認するよう注意を呼びかけている¹⁰⁾。

筆者の施設でも、末梢ルートが確保できない場合など、中心静脈カテーテルから用手的注入にて造影CT検査を行っている。この場合もカテーテルの活栓やピンチ式のロック解除に注意し、カテーテルの破損を来さないよう細心の注意が必要である。

2. 小児CTの実際：パラメーター設定など

a. 管電流時間積 (milli-ampere second ; 以下 mAs)

子供の体格に見合うようmAsを調節することが、もっとも簡便な被ばく対策である。

これは2001年以降米国を中心に興った被ばく低減の世界的な潮流の根源をなす考えである。

筆者らの調査結果では被ばく低減目的にmAsを変更している施設は頭部CTで93%、腹部CTで94%と本邦でも高率であった¹³⁾。

読者の施設のCTがどのような世代の、どのようなタイプのCTかにより、mAsの調節は異なる。ここ数年発売されているMDCTの機種であれば管電流自動調節が行えるソフトウェア (Automatic Exposure control : 以下AEC) が搭載されている。AECがないタイプのMDCTか、またはsingle helical scannerか、それ以前のCTかを知っておく必要がある。わからない場合は担当技師やメーカーに問い合わせ確認されることが望まれる。

東芝社製またはGE社製の現行のMDCTであれば、AEC使用時に画質の指定が必要となり、CT値の関心領域の標準偏差 (以下SD) を決定しなければならない。筆者の施設では頭部CTではSDを3~3.5に、腹部CTは8に設定している (頭部、腹部とも5mmスライス厚)。SDは低いほど均一で画質がよく、高いほど不鮮明な画質となる。AECを

併用して被ばくを減らしているつもりでも、SD設定が低いと画質は良好だが被ばく量は増えることを認識する必要がある。特に頭部CTは画質維持と線量低下のせめぎあいの状態であるが、腹部で不必要な高画質SD設定をしていないかの確認が望まれる。

一方線量不足の条件下での腹部CTも、時に診断が困難と感じる (Fig.3) ため、十分注意が必要である。小児科、小児外科、放射線科の各科における画質と被ばくに対する考えを日ごろのカンファレンスなどで検討されたい。

もし、AEC搭載でないCTを使用している場合は、手動で体重に見合うmAsを設定しなければならない。この際文献的報告が役に立つ。簡便な指標としては本学会と日本医学放射線学会、日本放射線技術学会が連盟で提唱している“小児CTガイドライン”¹¹⁾は簡便である。またDonnellyらの提唱したsingle helical CT¹²⁾、MDCT⁷⁾の推奨条件は詳細な設定を提示している。

b. 管電圧 (Kilovoltage: 以下kV)

上記のごとく体格にあわせてmAsを低下させる手法は近年普及した感があるが、kVは2002年に提唱された米国小児放射線学会ALARA (as low as reasonably achievable) executive summaryでも

“今後更なる研究が必要である”といった扱いであった¹⁴⁾。筆者らの調査でも頭部は新生児・乳児で約1.5～2割の施設が、120kV以外のkVを使用しているのみである。また腹部でも全体の9割以上の施設が120kV固定であった¹³⁾。一方海外の文献ではDonnellyらは患児の体重が40lb (ポンド、18kg) 以下の場合の胸腹部CTは100～120kVを推奨し⁷⁾、Frushらの最近の論文では心大血管領域のCTでは40lb以下で80～100kV、19lb (ポンド、8.6kg) 以下では80kVを推奨している¹⁵⁾。

80kVに管電圧を低下させるメリットは被ばく低減のみならず、むしろその造影増強効果に真の価値があると筆者らは考えている。共著者の堀内の検討では同濃度のイオン性造影剤のCT値は120kVでの撮影に比べ80kVの場合はCT値 (HU) が約1.6倍相当になる (Fig.4)。特に少量の造影剤しか使用できない新生児の心奇形の3DCT Angiographyでは非常に有用な手法である。

最近著者の施設でも心大血管の3DCT angiographyが必要な症例に対し80kVでの撮影を試み、画質の向上、画質の安定 (Fig.5) を得ている。これにより後述のSmart Prepはほぼ不必要になったと実感している。現在はkVの低減にあわせたmAsの低下、造影剤濃度の低下、各種パラメー

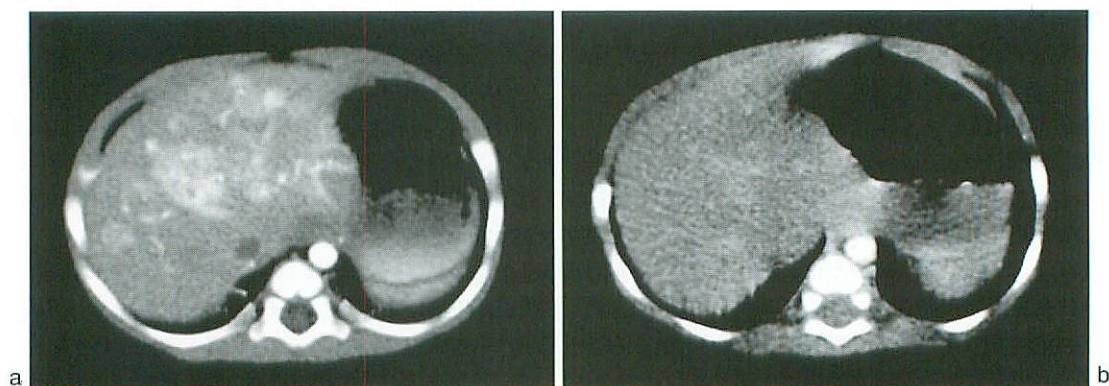


Fig.3 Example of adequate and excess low dose abdominal CT. 2-year-old female with hemangioendothelioma.

a : This scan was performed at 120kV, 30mAs as body weight based routine abdominal contrast enhanced CT. Note multiple round areas of enhancement suggesting a hemangioendothelioma.

b : 1.5 month after (a), follow-up CT was performed, continued as contrast enhanced chest CT. The set-up was adjusted for chest CT (120kV, 15mAs), which was thought to be a small dose for abdominal scan. Vascular lesions in the liver were not demonstrated clearly.

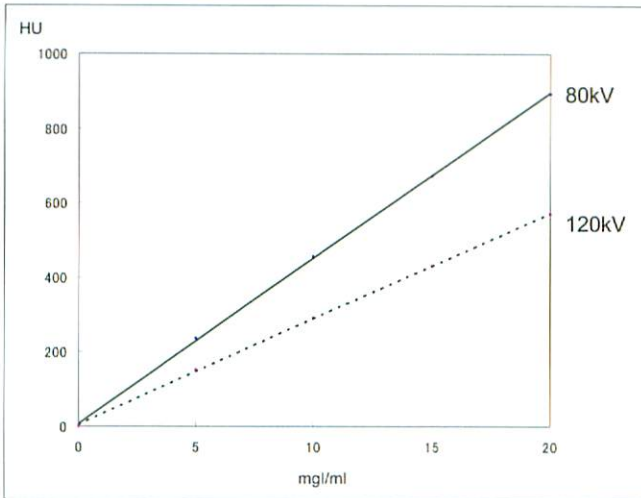


Fig.4 Comparison of CT number (HU) between 80kV and 120 kV

This graph depicts the difference in CT number of the contrast medium (iopamidol), scanned at 80kV and 120kV.

It is suggested that the density of contrast material needed for scanning at 80kV is approximately 1.6 times higher than at 120kV setting. This result is thought to show the excellent advantage of the use of 80kV scanning.

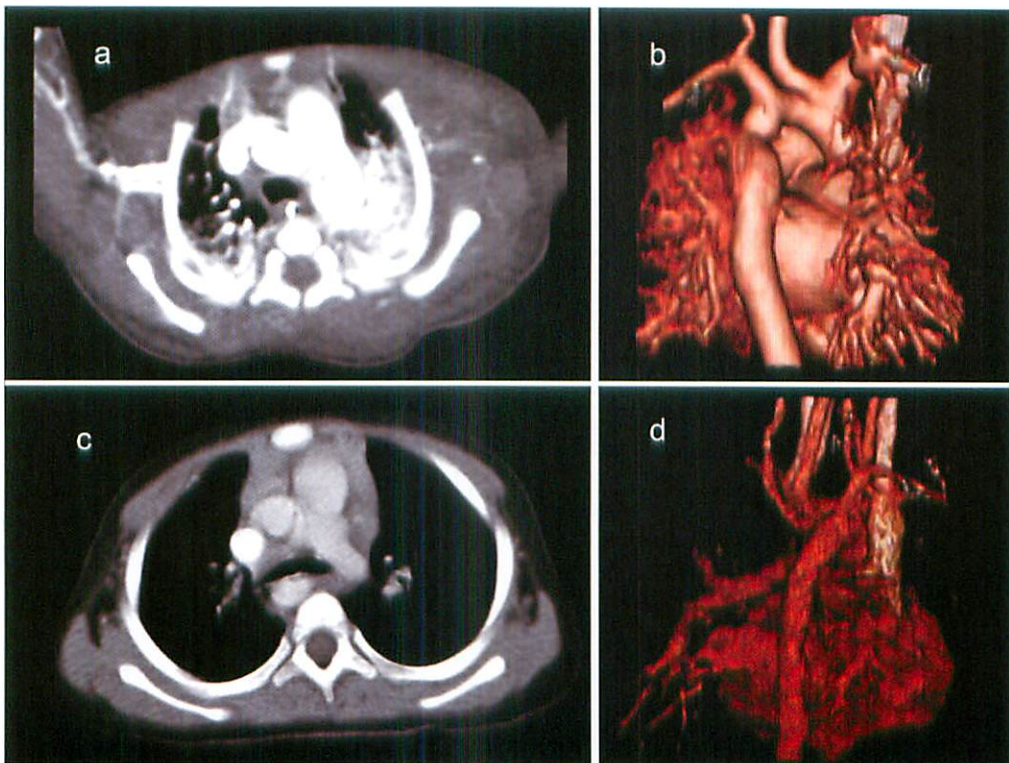


Fig.5 Difference of image quality of 80kV scanning as compared to 120kV scanning in pediatric cardiac 3DCT angiography.

a, b : 80kV CT scan was obtained for a seven-day-old male with simple coarctation of the aorta. Contrast material was manually injected from a peripheral venous access line. The scan was started from the end of injection without bolus tracking system. Note the vividness of vascular structure.

c, d : 120kV CT scan was obtained for the right aortic arch. The parameter setting and injection of contrast medium were similar to (a) except for kilovoltage. Also, this scan was performed with a bolus tracking system. However, visualization of vessels was not as clear as in (a).

ターの適正化を検討中である。120kVにおける心大血管3DCT Angiographyの撮影テクニックは後述する。

c. CT被ばくの目安について

上述のmAsや、kVの違いのほかにメーカーによるAECの手法の違い、多列検出器数の違い(1個から64個まで)、ヘリカルピッチ、フィルターの種類など被ばくを左右するパラメーターは多彩かつ複雑である。これらを一括してCT被ばくを表現する方法にCT線量指数(CT dose index; 以下CTDI)とDose length product(以下DLP)がある。端的にはCTDIは1回転分の局所での被ばくを目安、DLPはCTDIに距離をかけて表記した1回のスキャン全体の合計被ばく量の目安である。最近欧米の工業規格ではコンソールへのCTDI、DLPの表示を義務付けている。もはやmAsの増減のみで被ばくの多少を比較することは意味を成さず、CTDI、DLPでの表現のみが世界標準となりつつ

ある。またコンソールに表示がされないタイプのCTの場合は、やはりCTメーカーに問い合わせ機種と条件からCTDIを調べる必要がある。メーカーに頼らず、自分でさまざまなCTの撮影条件を知りたい場合は、英国のCT機器性能評価グループであるImPACT (Imaging Performance Assessment of CT scanners) が公表している線量計算ソフトウェア ctdosimetry.xls はImPACTのホームページよりエクセルファイルとして無料でダウンロードできる (Fig6)。これを使用すれば世界のCTメーカーのほとんどの機種につき、撮影条件を入力するとCTDIやDLPが自動的に計算できる (<http://www.impactscan.org/ctdosimetry.html>)。

CTDIの単位はCTのみに特定したCTの“方言”のようなもの⁴⁾であり、他のモダリティと比較できない。この場合は実効線量 (Effective Dose, E) に換算して比較する必要がある。文献的にはDLPに対する実効線量変換係数がいくつか知られており簡易的には計算でき便利である。筆者もCT室のコンソールの壁にメモ書きを貼り付けている。しかしながらここには2つの問題がある。ひとつはこれらの変換係数は欧米の成人に対する変換係数で、小児に対しこのまま用いるには問題がある¹⁶⁾。もう1点は、実効線量は局所被ばくが強いCTの特性を全身被ばくに換算するため、局所の被ばくが低く見積もられる傾向にある。

CTDIのもうひとつの問題は、計算に使用しているファントムが2種類のみであり、本来可変的に移行する被写体のサイズが加味されていない。またファントムのモデルは成人の頭部と腹部を模しているため、小児では低く見積もられている。

d. Diagnostic reference levelについて

前述のごとくCT被ばくの目安は現時点ではCTDIとDLPによる。したがって各施設のルーチン小児CTのCTDI、DLPがわかれば、それを他施設や地域、国の平均的なCTDIと比較すればよい。その際比較となる参考レベルがDiagnostic reference level (以下DRL)である。

DRLは広域調査データに基づき国や地域、あるいは臨床目的より設定される¹⁷⁾が、医療被ばくが問題となる小児CTに対する本邦のDRLはいまだ報告されていない、世界的にはICRP (国際放射線防護委員会) のPublication 87に小児CTのDRL

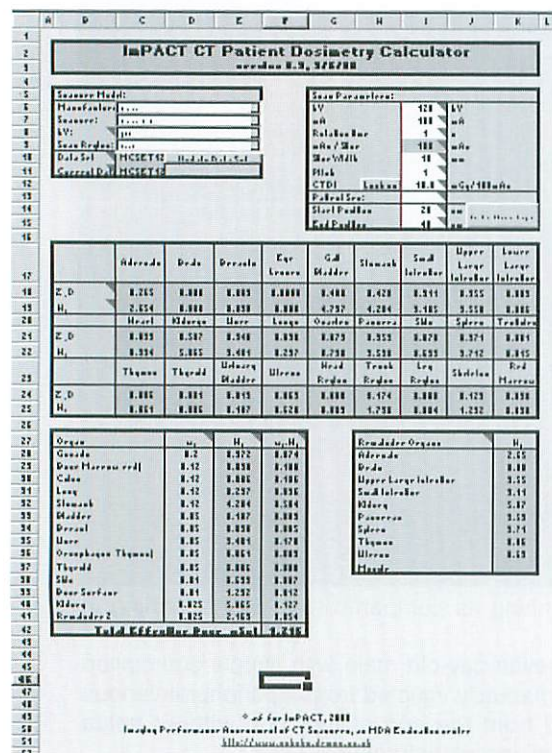


Fig.6 ImPACT CT patient dosimetry calculator. Note free software made by ImPACT group. The manipulation of the software seems to be easy to understand.

Table 1 Diagnostic reference level (DRL) for pediatric CT scan
It was introduced in ICRP publication 87 modified in Japanese¹⁷⁾

検査内容	患者年齢	CTDIw (mGy)	D L P (mGycm)
頭部 C T	<1歳	40	300
	5歳	60	600
	10歳	70	750
胸部通常 C T	<1歳	20	200
	5歳	30	400
	10歳	30	600
胸部高分解能 C T	<1歳	30	50
	5歳	40	75
	10歳	50	100
上腹部 C T	<1歳	20	330
	5歳	25	360
	10歳	30	800
下腹部・骨盤 C T	<1歳	20	170
	5歳	25	250
	10歳	30	500

が紹介されている (Table 1)。これはShrimptonとWallが2000年に報告したものを採用しているが、彼らも初期の報告であることを強調している。現時点での各施設のDRLをICRP勧告と比較されたい。

e. 自験例に学ぶCT撮影テクニックと画像再構成 (1) 頭部CT

頭部CTはヘリカルスキャンとコンベンショナルスキャンの選択が可能である。それぞれ一長一短があり、使用方法のルーチンは各施設により異なると思われる。Fig.7は髄膜炎が疑われ夜間当直帯に来院された11ヵ月の男児である。頭頂部の大脳鎌左側に沿った硬膜下膿瘍は初回単純CTコンベンショナルスキャンで指摘困難であった (Fig.7 a, b)。3日後に行った造影CTはヘリカルスキャン後に、矢状断、冠状断のmulti-planar reconstruction (以下MPR) が作成された。もちろん水平断造影CTでも硬膜下膿瘍は描出されている (Fig.7 c, d) が、MPRは診断が容易である (Fig.7 e, f)。初回のスキャンがもしヘリカルで行われておりMPRが作成されていたら診断可能であったかもしれない。

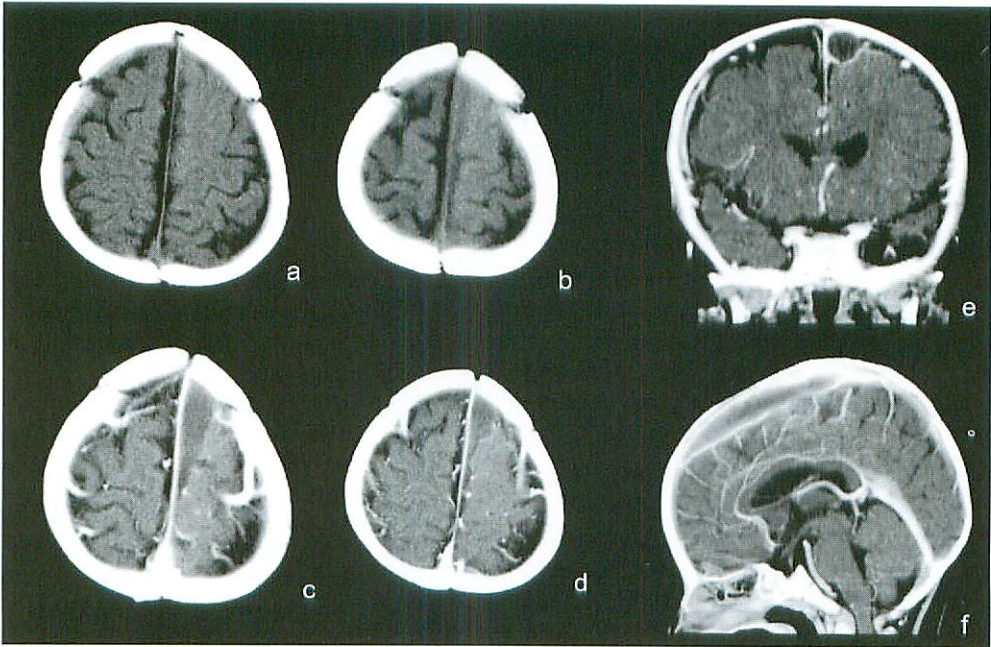


Fig.7 11-month-old female with suspicion of meningitis. The initial CT (a, b) was scanned at 120kv, 157mAs, conventional technique. It was difficult to detect any abscess on the left side of the falx. Follow-up CT (c, d) was carried out 3 days after initial CT at 120kv, 148 mAs, helical technique. Note focal fluid collection at left side of falx. A round shaped subdural empyema was clearly demonstrated on reconstructed MPR images (e, f)

Fig.8は急性リンパ球性白血病で化学療法中であった2歳男児である。意識レベルの変動の精査のため行った頭部ヘリカルスキャン (Fig.8 a, b) では右大脳半球に類円形のSOLを疑うも淡い円形の低吸収を認めた。翌日約18時間後に経過観察のCTをコンベンショナルスキャンで行った。前日と同じ病変はヘリカルスキャンに対し、コンベンショナルでは明瞭な病変として描出されている (Fig.8 c, d)。また皮髄境界の描出の違いも明瞭である。CT上脳膿瘍と診断した。もっともFigの解説に記載したように撮影条件は若干異なる。何がこの違いに寄与したのかは不明であるが、コンベンショナルスキャンのほうが画像が鮮明である印象がある。以上、提示例のようにコンベンショナルスキャンはヘリカルに対し低コントラスト分解能が良いが、画像再構成ができない。逆にヘリカルの画質はコンベンショナルに若干劣るが、再構成画像を作れる強みがある。

(2) 心大血管CT

小児胸部造影CTのうち、より厳密な新大血管の評価や3D CT angiographyの作成が必要な場合は、

bolus-tracking technologyを利用する場合がある。これは本番の造影CTに先立ち、少量の造影剤を注入し目的とする部位 (右心室、肺動脈、左心室、大動脈など) の経時的な濃度 (CT値) 上昇をtime-density curveとしてグラフに描出するリハーサル機能である。ピークを事前に検出した上で撮影開始時間を決定するメリットとして、新生児、乳児の心大血管CTでは使用造影剤量がわずかであり、複雑な心奇形やその術後で循環動態が正常と異なる場合もある。このような特殊な場合でも良好な造影のタイミングを逃さずに撮影可能となる (Fig.9)。特に著者らの施設では、造影剤の量は2 ml/kgであるが、前述のように新生児の場合にはこれを生理食塩水で20%程度希釈し、総注入量を増量して行っている。上記のbolus-trackingにはこの希釈した造影剤を1/4~1/3程度使用している (Fig.1)。

しかし前述のごとく80kVでの撮影のパラメーターが決定し普及した場合、より簡単に、より鮮明に、低被ばくで画像が得られるため、bolus-tracking technologyは不要となる可能性がある。

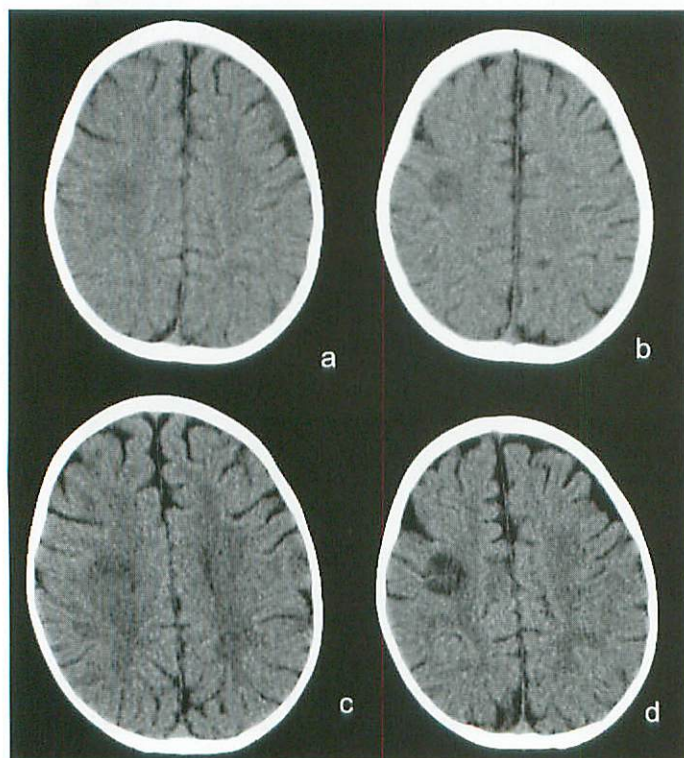


Fig.8

2-year-old male with suspicion of meningitis.

Initial CT scan was performed at 120kv, 138mAs with helical technique (a, b). The images were on 100window wide, 40window level. A Focal round SOL was seen in the right temporal lobe.

Follow-up CT (c, d) was obtained 12 hours later at 120kv, 212mAs with conventional technique (c, d).

It was demonstrated on window wide 80, window level 40. The brain abscess is more clearly identified than in (a, b). The reason for such a difference is unknown, but we trust the conventional scan much more than the helical.

今後の成人領域、小児領域、心大血管領域の各方面での研究や展開が期待される。

(3) 胸部CT

肺分画症、先天性嚢胞状腺腫様形成異常CCAM (congenital cystic adenomatoid malformation), bronchogenic cyst, Lobar emphysemaなどの疾患は、最近では胎児超音波や胎児MRIで出生前に分画症が診断されている場合もある。肺野の評価は通常の水平断のスキャンに加え、肺野条件の

冠状断、矢状断像を作成し気管の分岐異常、葉間胸膜の分葉異常などの確認に役立つ。

また肺分画症の診断には大動脈から直接分岐する異所性流入血管 (aberrant artery) や左心房に向かう流出血管の有無などを確認する必要がある。Aberrant arteryは大動脈から直接、あるいは腹腔動脈起始部周辺から分岐する場合が多いので、スキャン計画の段階で腹腔動脈が十分入る上腹部まで設定する必要がある。また造影早期相の撮影で

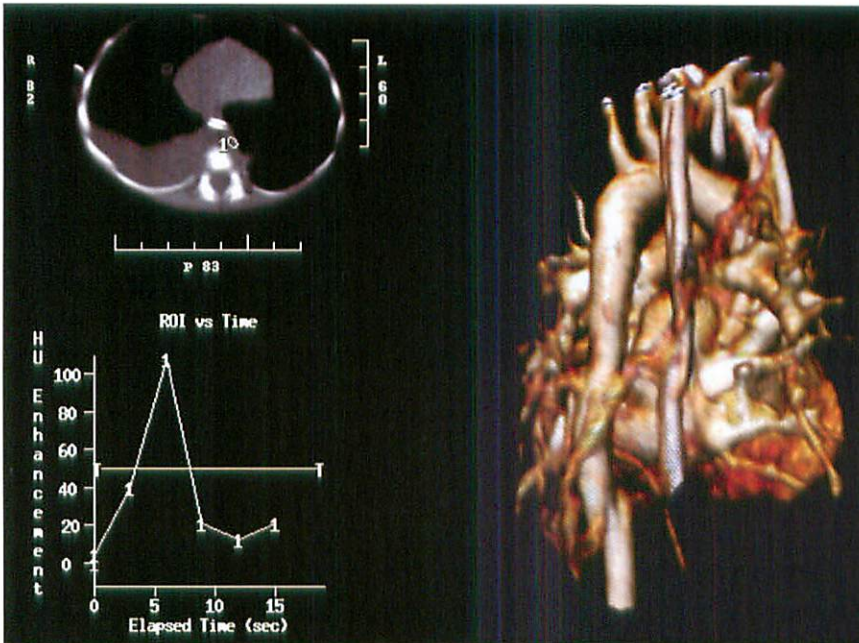


Fig.9

Demonstration of bolus tracking system for ideal timing of scanning. One-month-old male, with suspicion of pulmonary sequestration. Bolus tracking system suggested a peak in the enhancement of the descending aorta 6 seconds after administration.

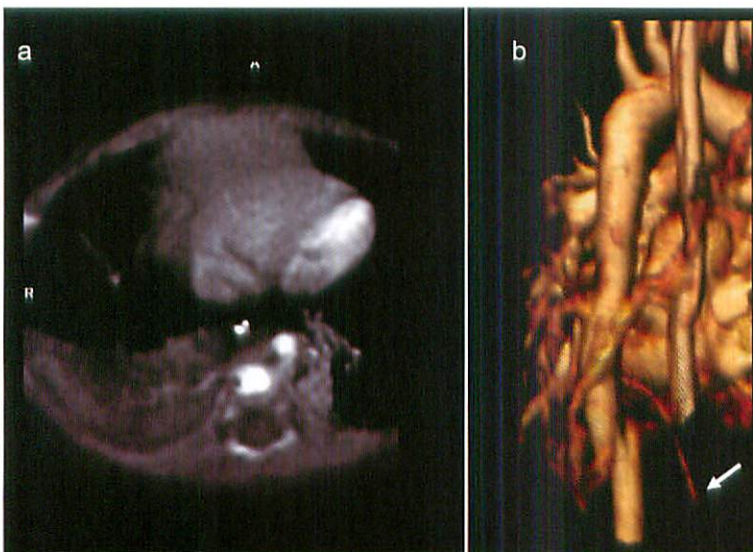


Fig.10

One-month-old male with suspicion of pulmonary sequestration. On the axial view, there is a tortuous enhanced vessel in the area of atelectasis (a). 3DCT angiography demonstrated an anomalous vessel, which directly branched from the thoracic aorta (b, arrow).

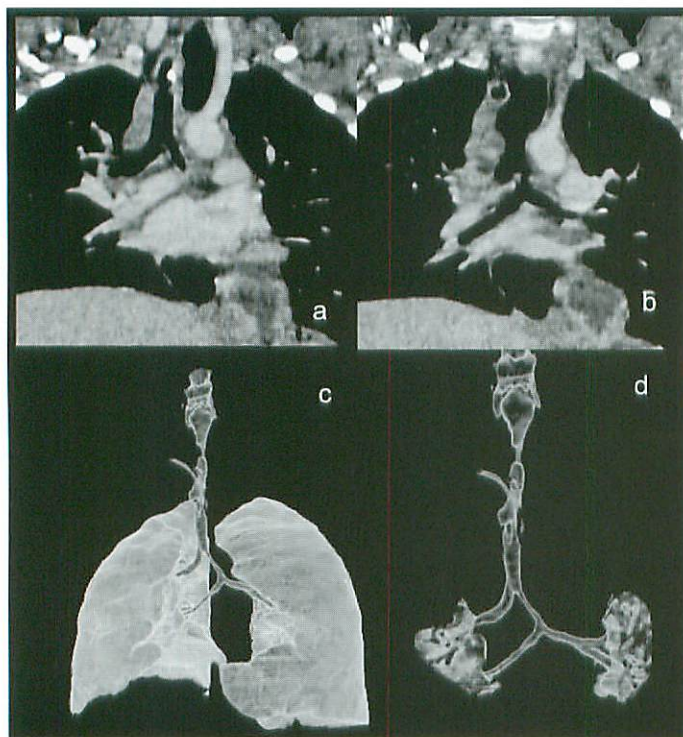


Fig.11

Various types of 3D reconstructed images : Coronal images of MPR (a, b), surface rendering of trachea and lung (c, d).

8-year-old boy with tracheal stenosis. Note bridging bronchus, which was obviously identified by surface rendering technique (c, d).

得られたボリュームデータを使用し、3DCT(CT-Angiography)を作成しaberrant arteryの走行が確認できれば、術前マッピングの血管撮影は省略できる(Fig.9, 10)。大動脈から異常な肺組織に向かう太い栄養血管の存在は肺分画症を強く疑うが、細い異常血管の場合、CCAMや繰り返す肺炎でも随伴しうる。

気管、気管支の先天異常には狭窄、軟化症、分岐異常の3つの可能性が考えられる。

分岐異常には気管の欠損、閉鎖、過剰、位置異常、不規則分岐、不規則分岐、左右同型などが考えられる。いずれも肺野条件のCTの水平断に加えMPRによる再構成冠状断、水平断像が診断に有用である(Fig.11)。また気管壁表面を描出するsurface renderingの3DCTも診断的価値が高い。代表的な気管分岐異常にtracheal bronchusがある。これは上葉枝が主気管支の分岐より上部で直接気管より分岐する奇形であり右側の頻度が高い。また知っておきたい気管の奇形にbridging bronchusがある。これは右中葉と下葉の気管支が左主気管支の内側から分岐し、縦隔を通り越し

て右肺へ向かう奇形である。Pulmonary slingの80%に合併するといわれている。

まとめ

小児画像検査の基本手技とその抑えるべき所見につき、鎮静、造影剤の量、インジェクション方法、管電流、管電圧、CTDI、DLP、DRLにつき最近の知見を解説した。また筆者の施設で経験した症例につき画質や再構成方法についてなど考察した。表題にある抑えるべき所見については、紙面の都合上記載が少なく他書を参照にされたい。

●文献

- 1) Jack Valentin : 論説 “ペダルを踏みすぎるな”. ICRP Publication87 CTにおける患者線量の管理, 社団法人日本アイソトープ協会編, 東京, 丸善株式会社, 2004, iii-iv.
- 2) 宮崎 治, 近藤睦子, 中島康雄, 他 : 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 2・小児のMDCT; 被曝低減の可能性. 日小放誌 2002; 18: 154-159.

- 3) 宮崎 治：第40回日本小児放射線学会シンポジウムより 小児における医療被ばく－特に小児のCTについて 3・小児のCT被ばくの現状と推奨条件. 日小放誌 2005 ; 21 : 14-20.
- 4) 宮崎 治：小児画像診断の最前線－患者管理－被ばく対策. 日獨医報 2004 ; 49 : 559-570.
- 5) Pappas JN, Donnelly LF, Frush DP : Reduced frequency of sedation of young children with multisection helical CT. Radiology 2000 ; 215 : 897-899.
- 6) 相田典子, 藤井佑太, 藤田和俊：小児画像診断の最前線 小児画像診断における沈黙：本邦での現状と問題点. 日獨医報 2004 ; 49 : 551-558.
- 7) Donnelly LF, Frush DP : Pediatric multidetector body CT. Radiol Clin N Am 2003 ; 41 : 637-655.
- 8) Frush DP, Donnelly LF : Helical CT in children : Technical considerations and body applications. Radiology 1998 ; 209 : 37-48.
- 9) Kaste SC, Young CW : Safe use of power injectors with central and peripheral venous access devices for pediatric CT. Pediatr Radiol 1996 ; 26 : 499-501.
- 10) Reminders from FDA Regarding Ruptured Vascular Access Devices from Power Injection ; <http://www.fda.gov/cdrh/patientsafety/remindervad.html>
- 11) 提言 小児CTガイドライン－被ばく低減のため－. 日医放誌 2005 ; 65 : 139-141.
- 12) Donnelly LF, Emery KH, Brody AS. et al : Minimizing radiation dose for pediatric body applications of single-detector helical CT : Strategies at a large children's hospital. AJR AmJ Roentgenol 2001 ; 176 : 303-306.
- 13) 宮崎 治, 北村正幸, 正木英一, 他；アンケートによる小児MDCT検査の実態調査. 日医放誌 2005 ; 65 : 216-223.
- 14) Slovis TL, Hall ET, Huda W, et al : ALARA CONFERENCE Executive Summary. Pediatr Radiol 2002 ; 32 : 221.
- 15) Frush DP, Herlong JR : Pediatric thoracic CT angiography. Pediatr Radiol 2005 ; 35 : 11-25.
- 16) 堀内哲也：CT装置上の被曝線量情報の理解と被検者間による最適化. 日放技誌 2005 ; 61 : 1377-1380.
- 17) 線量はどれほど高いか？ ICRP Publication87 CTにおける患者線量の管理. 社団法人日本アイソトープ協会編. 東京, 丸善株式会社, 2004, p7-13.