

## 特集 胸部疾患の画像診断法 - モダリティの比較 -

### 3. 肺野病変 (肺局所機能) : CT vs. 核医学的検査

望月博之, 森川昭廣  
群馬大学医学部 小児科

#### *CT and Nuclear Functional Imaging in Pediatric Lung Diseases*

Hiroyuki Mochizuki, Akihiro Morikawa

*Department of Pediatrics, Gunma University School of Medicine*

#### Abstract

Over the past ten years, CT and nuclear functional imaging have become popular for the diagnosis of respiratory diseases in children. Due to recent advances, helical CT, multi-detector-row CT (MDCT) and ultra-fast CT show high quality in pulmonary imaging, so that it is now possible to use MDCT, in particular, for pulmonary functional analysis in children. Pulmonary ventilation and perfusion scintigraphy are used for the evaluation of pulmonary function in neonatal chronic lung diseases and congenital airway diseases, and FDG-PET is used for evaluation of intra-thoracic tumor metabolism.

These techniques may be used not only to create intra-thoracic images, but also to analyze lung function in children and are also useful to differentiate between various respiratory diseases and to determine the mechanisms of pulmonary dysfunction. Additional valuable advantages are that these techniques are non-invasive and safe, especially for use with young children. However, it is important to note the disadvantage of radiation exposure. It is necessary to consider the strong and weak points of each technique when selecting the best method to diagnose pulmonary diseases in children.

**Keywords**: Lung function test, Multi detector-row CT, Nuclear functional imaging, Ultra-fast CT

#### はじめに

小児の呼吸器疾患は多岐に及ぶため、その鑑別にあたっては、問診や胸部聴診に加え、胸部X線写真撮影や肺機能検査など、呼吸器の形態や機能についての検索を併せて行うことが多い。さらに鑑別が困難な症例では、形態的な精査としてCTやMRIを、機能的精査として核医学的検討が追加されることがある。

近年において、これらの画像技術の発達はめざましく、乳幼児の呼吸器疾患においても、信

頼のおける結果が得られるようになった。CTの分野では、ヘリカルCT, multidetector-row CT (MDCT, 多検出器列型, マルチスライスCT) や超高速CTなど、従来のCTと比較し時間的、空間的解像度に優れ、被曝についても有利な装置が開発されている<sup>1)</sup>。また、従来の手法に特異的な負荷試験や造影法を加えたり、三次元的な解析を加味させることによる画像的解析も飛躍的に進歩している<sup>2)</sup>。核医学的分野でも同様に、SPECT (single photon emission computed tomography) の時間的、空間的な改善が図ら

れ、ポジトロンCTを用いた呼吸器の検討も進められており、その代謝特異性、高分解能、および定量性を利用し、胸郭内の固形腫瘍のみでなく炎症性疾患での検討も進んでいる<sup>3)</sup>。今回、小児の肺野病変の精査をすすめる上で、CTと核医学的検査の特性について、具体的疾患を提示し述べてみたい。

### 小児の肺野病変におけるCT撮影

#### (a) 胸部CTの有用性

これまで小児科領域では、CT撮影は、肺内の線状、腫瘤性の病変の検索や気管支壁肥厚、気管支拡張の検索のほか、肺野濃度の不均一性や血管走行異常の検索など、主に形態の検索に利用されてきた。近年、ヘリカルCTやMDCT、超高速CTなど、従来のCTと比較し時間的、空間的な分解能に優れた装置を用いた検討が進み、機能面での検討も盛んである。特に、MDCTは体軸方向に複数の検出器列を配置し、X線管球が1回転する間に複数の画像情報を取得することが可能であるため、実効時間分解能は100～250msecまで短縮でき、体軸方向の実効スライス厚も1～2mm程度で、範囲を限定することでX、Y、Z軸の空間分解能が等しいisotropic voxel imagingを得ることが可能である。時間的に優れた撮影は、息止めでできない、かつ呼吸回数が多い小児にとって有利である。またMDCTでは、画像の再構成についても、粘膜の展開画像の描出などの機能も備わっているため、低侵襲的診断法としての多角的な利用が期待されている<sup>4)</sup>。

さらに気管支造影剤の使用が困難な現在においては、気管、気管支の形態検索に従来の気管支造影や気管支ファイバー検査に代わりうるものとして、ヘリカルCTやMDCTによるバーチャルブロンコスコーピー技術が実用化され活用されている(Fig.1)。この技術により、病変の広がりや中気道内腔の情報が非侵襲的に行うことができ、通常の検査に重要な追加情報を与えてくれるが、局所での色調の変化や出血の有無が確認できないことが欠点となっている<sup>5)</sup>。

超高速CTはスキャン時間が極めて短く、短時間に多数の連続撮影が可能であり、呼吸や心拍による影響を受けにくいという特性がある。超高速CTでは肺二次小葉レベルまで解剖学的に検討できるため、連続撮影による肺野の最大吸気時、最大呼気時における画像の比較や、シネCTとしての動的評価など、小児の肺の局所機能の評価という点において有用である。さらに、局所肺における関心領域を抽出し、そのCT値の変化から肺の伸縮性、air trappingの存在部位を評価する方法など、呼吸時の肺局所の伸縮性を機能的に評価することや、局所肺の血流の評価を造影剤の時間濃度曲線から行うことなどの臨床応用も行われている。近年、CT撮影のテクニックとして、air trappingの検索に呼吸時の撮影の有用性が報告されているが、呼吸に同期した撮影が可能であれば、息止めができない低年齢児でも最大吸気、最大呼気時に撮影が可能である<sup>6)</sup>。

さらに臨床上、CT撮影で短時間での撮影が可能であることは、従来のCTで必要とされた

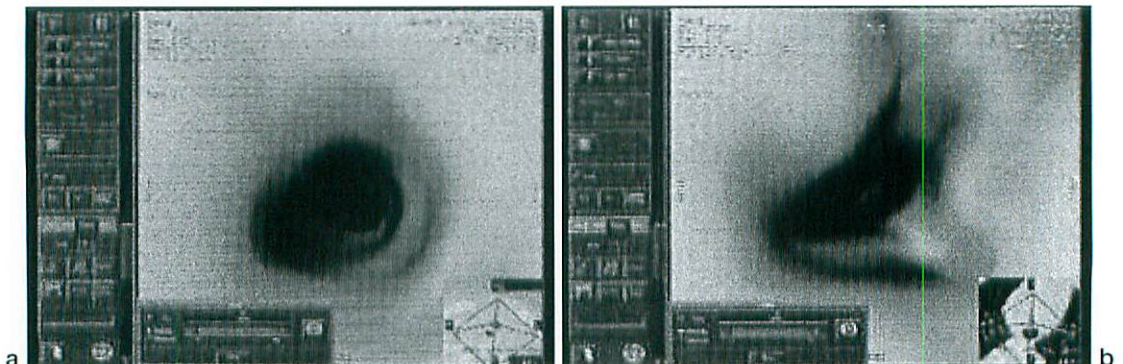


Fig.1 Virtual bronchoscopy in vascular ring (1-month-old boy) (helical CT)

(a) Upper part of trachea is intact. (b) Lower part of trachea was compressed by vascular ring.

麻酔操作が不要であり、検査に協力できない患者にも簡便に利用できる大きな利点である。

## (b) 胸部CTと小児呼吸器疾患

### 1. 胸部CTによる形態学的検索

#### (1) 胸郭内腫瘍性病変

従来、胸部CT撮影は胸郭内の腫瘍性病変の検索に頻用されてきた。これはCTにより、腫瘍の性状、体積、また造影による血管系との位置関係や、腫瘍の血管の豊富さについての検討が可能なることによる。肺分画症においては分画肺の存在と大動脈系から分岐した異常動脈の証明が必要であるが、造影CTにより、体循環から直接、病変に流入する血管が描出されれば確定診断も可能である。

#### (2) 間質性肺炎

胸部CTは肺の間質性変化をとらえやすいため、小児の呼吸器疾患では、ウイルス性肺炎、特に重症化しやすいサイトメガロ肺炎やカリニ肺炎の病初期での診断に有用である (Fig.2)。

特発性間質性肺炎は小児では稀であるが、進行すれば呼吸困難が出現する難治性疾患である。近年、病初期の胸部単純X線撮影で異常のみられない初期の症例でも、CT撮影により肺間質性変化の検出が可能となった。特に、スライス厚が1~2 mmの高分解能CT (HRCT) 撮影は、肺二次小葉レベルでの病変分布の評価が可能であるため、診断において重視されている。さらに、特発性間質性肺炎は、病理学的なサブクラスにより治療に対

する反応性や予後に相違がみられるため、CTによる非侵襲的な分類の検討も進められている。

#### (3) 反復性下気道感染症：

乳幼児期に肺炎、気管支炎を反復し、入退院を繰り返す症例は少なくない。この原因には気管支喘息や、気管気管支軟化症、血管輪、気管食道瘻などの肺、気道系の奇形や圧迫などによる形態異常、原発性線毛異常症など気道上皮細胞の機能異常から、易感染性を示す免疫系の疾患、また胃食道逆流 (gastroesophageal reflux, GER) の症例まで含まれるため、鑑別に苦慮することが多い。CTでは、気道系の奇形、圧迫などの形態の異常、気管支拡張症の有無、無気肺の存在など、胸部X線像では得られにくい所見を確認できる点が優れている。特に、近年、気管支造影が困難であるため、気管支拡張症の診断にCTによる画像評価は重要である。また各種血管病変でも、MDCTを利用すれば末梢における造影血管の三次元構造の検索も可能である。

### 2. 胸部CTによる機能的検索

#### (1) 閉塞性細気管支炎 (Bronchiolitis Obliterans) / Swyer-James 症候群

閉塞性細気管支炎は、感染症や膠原病などにより生じた気道内の肉芽組織により惹起される疾患で、慢性的の乾性咳嗽や喘鳴、呼吸困難が認められる。確定診断は肺生検により病理学的に行われるが、病変が局在性であるため、開胸肺生検で標本を採取しても病的所見

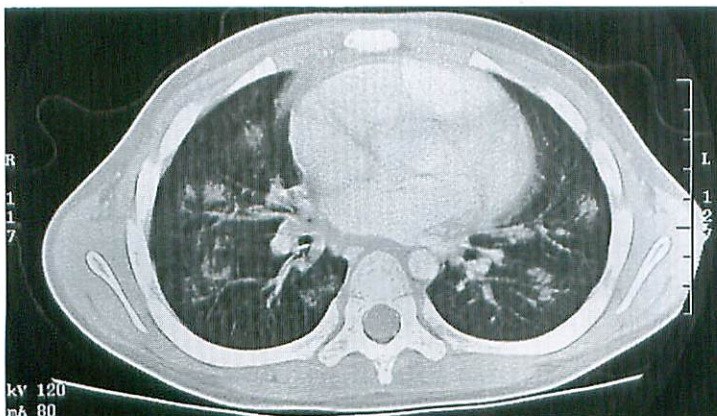


Fig.2 *Pneumocystis carinii* pneumonia (5-year-old girl) (conventional CT)

CT was able to detect an early stage of *Pneumocystis Carinii* pneumonia.

が得られない可能性がある。この点、症状が揃い、CT撮影により末梢気道に慢性、びまん性のair trappingが確認されれば診断的価値は高い。我々はair trappingの検出のため、吸気時と呼気時での撮影を勧めている。

Unilateral hyperlucent lung syndromeすなわち一側肺の透過性の亢進をきたす疾患の鑑別には、胸郭異常、異物による気道閉塞、肺葉性肺気腫などの疾患が考えられているが、これらの病因が認められず、乳幼児期の種々の下気道感染症後に発症するものは、Swyer-James症候群とよばれている(Fig.3)。これまでの報告でも、Swyer-James症候群の主な原因として閉塞性細気管支炎を指摘するものもあり、本症例においてもair trapping、さらに肺血管系の異常についての観察が容易なCT

を用いた検討は意義深いと思われる。

## (2) その他の呼吸器疾患

乳幼児慢性肺疾患では、無気肺と肺気腫様変化の混在が特徴であるが、吸気時、呼気時の画像の比較により、両肺野に散在するair trappingを認める症例が多い。退院後、在宅酸素療法を行っている症例も少なくないため、CTによって治療に反映する評価が検討されている。

また、気管軟化症や気道狭窄症においては、呼吸に伴う気道の断面積の変化を多断層的に、ほぼ同時に観察できることから、CTによる検討が有意義であると報告されている。特に気管軟化症の診断にあたっては、時間的解像度の優れたCTによる非侵襲的検討が考案されている(Fig.4)。

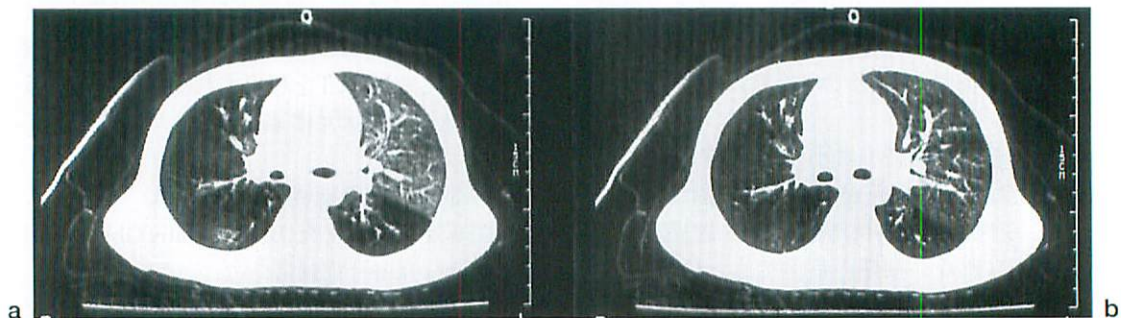


Fig.3 Air trapping in patient with Swyer-James syndrome (9-year-old boy) (ultra-fast CT)  
(a) Expiratory phase, (b) Inspiratory phase. In expiratory phase, air-trapping (black lesion) is more detectable.

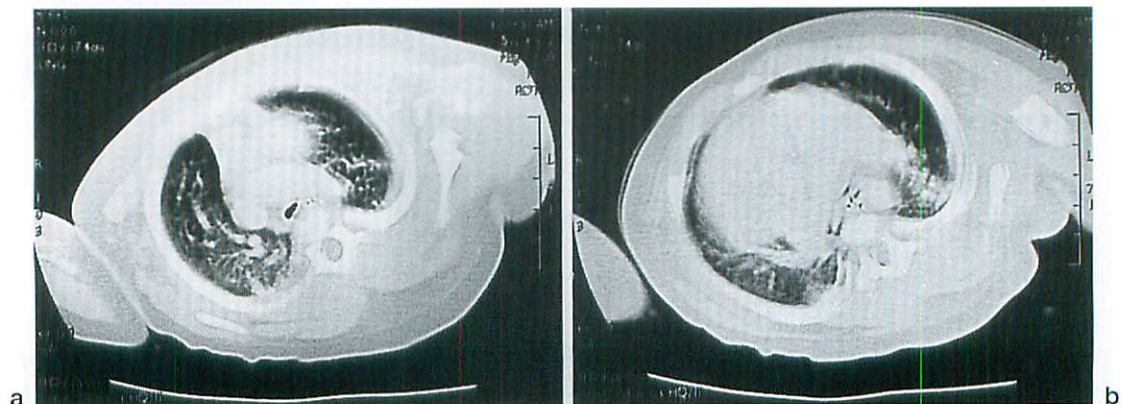


Fig.4 Deformation of trachea and bronchi in tracheo-bronchomalacia (10-month-old girl) (MDCT)  
(a) trachea, (b) main bronchi. Both trachea and main bronchi were deformed during expiratory phase.

## 肺野病変における核医学的検討

### (a) 核医学的検査の有用性

従来より、核医学的検査は呼吸器の機能的な評価を主に用いられており、一般には $^{81m}\text{Kr} + ^{99m}\text{Tc-MAA}$ または $^{133}\text{Xe} + ^{99m}\text{Tc-MAA}$ による換気血流シンチグラフィーが行われている。画像的には劣勢の検査であったが、近年になり、空間的、時間的に優れた解析が可能になってきた。

$^{67}\text{Ga}$ や $^{201}\text{Tl}$ を用いた腫瘍シンチグラフィーやSPECTは、腫瘍性細胞の浸潤、残存、再発、さらには癒痕巣や線維化の鑑別に用いられている。最近では3検出器のSPECTを用いることにより検査時間が短縮され、さらに三次元処置や体積の算出も容易になり、以前に比してより詳細な肺局所の換気、血流の動態解析を行うことが可能となった(Fig.5)。

PET (positron emission tomography) による検索は主に $^{18}\text{F-FDG}$  (2-deoxy- $^{18}\text{F}$ -fluoro-D-glucose) を用いた糖代謝の測定が用いられている(Fig.6)。胸部PETの適用の実際として、(1)腫瘍性病変のスクリーニング検査、(2)良性、悪性の鑑別、(3)癌の進展度の評価、(4)治療効果の予測、判定、(5)再発の診断がある<sup>3)</sup>。腫瘍性病変のスクリーニング検査としては、一般の検診での発見率より高い精度で腫瘍が検出されることが報告されている。良性、悪性の鑑別は必ずしも容易ではないが、血管腫などの限定された軟部腫瘍の場合は比較的容易である。良

性であっても膿瘍、活動性結核、サルコイドーシスなどの炎症巣にも集積するため総合的な診断が必要である<sup>7)</sup>。

その他の核医学的手法として、当科では、 $^{99m}\text{Tc-HSA}$  (human serum albumin) のエアゾルを用いた粘膜線毛系の検討や、 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$  (diethylene triamine penta acetate) のエアゾルを用いた肺胞透過性の評価を行っている。粘膜線毛系の検討は $^{99m}\text{Tc-HSA}$ が気道粘膜から吸収されないことを利用し、エアロゾルを吸入後、ガンマカメラを用いて胸部背面像を連続的に測定して肺からの移動率を算出、粘膜線毛系の指標とするものである。肺胞透過性の検討は、これとは逆に、 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ のエアロゾルを吸入後、肺からの移動率を算出し、肺胞上皮に対する透過性の指標とするものである。本検査は間質性肺炎などの肺疾患に伴う肺胞隔壁、特に肺胞上皮細胞障害の定量的な評価に用いられ、肺に間質性変化のみられる症例では $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ の両肺野からの速やかな消退が認められる<sup>8)</sup>。

### (b) 核医学的検査と小児呼吸器疾患

#### 1. 核医学的検査による形態学的検索

##### (1) 横隔膜ヘルニア

近年では肺活量に代表される各種肺容積の測定には、オートスパイロメーターが頻用されているが、患者の協力が必須であるため、年少児での測定は困難である。最近、核医学的手法により、肺の換気、血流の容積の算出が可

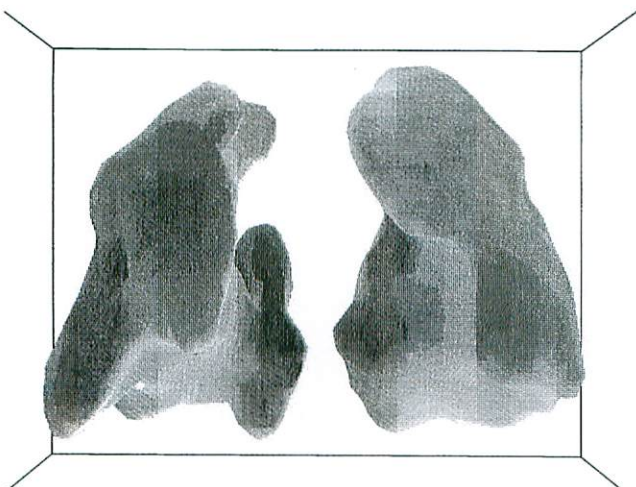


Fig.5 Three dimensional (3D) pulmonary ventilation and perfusion images using  $^{81m}\text{Kr}$  and  $^{99m}\text{Tc-MAA}$  in bronchiolitis obliterans (8-year-old boy) (SPECT)

Pulmonary perfusion image revealed random photodeficient areas in right and left lung. Same defects were seen on pulmonary ventilation image.

能となった。これは画像解析ソフトを用いて、肺血流換気シンチグラフィから換気、血流容積を算出するものである。当科では、横隔膜ヘルニアの手術後の評価にも用いている。

(2) 閉塞性細気管支炎(Bronchiolitis Obliterans)

閉塞性細気管支炎における、慢性、びまん性のair trappingの存在と血流の評価は、治療を行っていく上で重要である。肺野全体での治療による経時的な改善を評価するには、適している(Fig.5)。

2. 核医学的検査による機能的検査

(1) 特発性肺ヘモジデロシス

原因不明の肺胞内出血を繰り返す疾患で、血痰、鉄欠乏性貧血、肺のびまん性陰影を3主徴とするが、小児では急性の増悪を示す報告が多く、小児例の5年生存率は67%と致死的な疾患である。特発性肺ヘモジデロシスの患児では、肺胞に沈着した<sup>99m</sup>Tc-DTPAの両肺野からの速やかな消退が認められた<sup>9)</sup>。これまでの報告から、肺間質の線維性肥厚や肺間質の非可逆的変化が報告されているた

め、我々の症例の肺胞透過性亢進もこれらの肺間質の変化によると考えられた。

(2) 線毛運動機能異常症(primary ciliary dyskinesia, PCD)

線毛運動機能異常症は副鼻腔炎や気管支拡張症を伴うことが多く、逆に、副鼻腔気管支炎や気管支拡張症の症例では線毛運動機能異常の存在が疑われる。我々は、<sup>99m</sup>Tc-HSAを用いて気道の線毛運動を核医学的に評価しているが、PCDの症例では両肺の関心領域からの著しい消退遅延と胃部の関心領域への集積低下がみられる。

(3) その他の疾患

胸郭内腫瘍の検索として、<sup>67</sup>Gaシンチグラフィの最も有用性が高い疾患は悪性リンパ腫で、70~80%の病巣が描出されると報告されている<sup>4)</sup>。悪性リンパ腫では、病期診断だけでなく、放射線治療や化学療法後、腫瘍が活動しているか否か、形態学的に検索できない場合にも活用されている。また胸郭内の病巣以外に異常な集積がみられれば、他の精査により正確な病期診断を進めることができる。

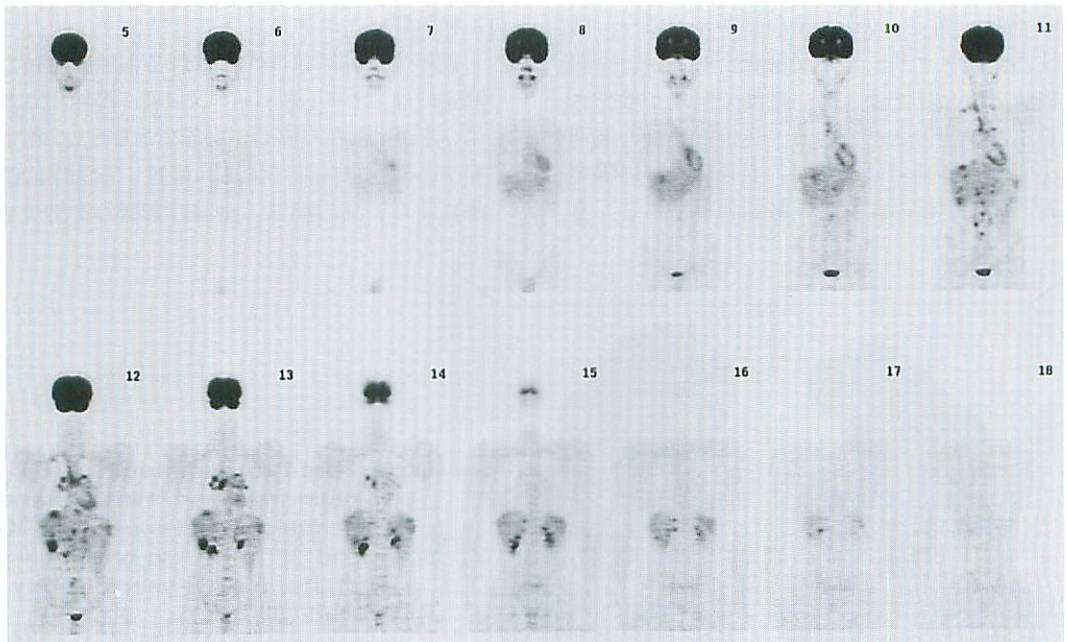


Fig.6 Tumor imaging in malignant lymphoma (19-year-old boy) (FDG-PET)  
Abnormal accumulation of FDG was detected in hilar, middle mediastinum and liver on whole body image.

小児科領域でもPETを用いての胸郭内腫瘍の鑑別が行われている。成人同様、腫瘍への放射能集積を測定し、良性、悪性の別、腫瘍の浸潤範囲の診断、縦隔、肺門リンパ節転移の診断、ステージングなどに利用されている。PETの臨床的有用性が最も発揮されるのは、胸部X線撮影、CT、MRIなどで病巣の存在は確認されるものの、その活動の程度や範囲が不明である場合、さらに病巣検索を広範囲に行う場合である(Fig.6)。治療後の癒痕巣や線維化に集積しないことは、治療を進めていく上でも重要である。

### まとめ

今回、CTと核医学的検査の小児呼吸器疾患の応用に言及したが、両者とも非侵襲的で臨床的意義の高い検査であること、かつ、近年の著しい技術的進歩により、小児科の臨床においても、これまで以上に信頼性が増していることが注目されている。

まず、これまで年少児では不可能であった肺機能の評価に新しい解釈が可能になったことは、乳幼児の慢性肺疾患や気管支喘息、気管支狭窄症など、気道の狭窄や閉塞を伴う疾患の診断や治療、さらに予後判定を行う上で、極めて有意義であると思われる。また、バーチャルブロンコピーなどのCTによる検査法が進歩することにより、疾患の診断法だけでなく診断基準も、より良いものに再検討される可能性が考えられる。さらに興味深いのは、閉塞性細気管支炎や特発性間質性肺炎のように、画像技術が進歩することによって、発症機序についての新しい解釈が可能になることである<sup>10)</sup>。

一方、これらの検査の問題点として、被曝の問題がある。米国では小児のCT検査に伴う被曝によって年間500名の小児が、将来、放射線が原因で癌死するという報告がなされ、社会的な問題となっている<sup>11)</sup>。MDCTでは新規ソフトの導入により画質を保ちながら被曝線量の低減化が可能であるが、その簡便性から検査件数の増加や適応疾患の増加、また造影検査の増加も考えられる。被曝量の多いカテーテル検査など

を省略できる利点もあるが、核医学的検査同様、常に念頭におかなければならない問題である。

近年の技術的進歩から、CTでは肺の機能的な検討も可能となり、核医学的検査でも、SPECTの画像的な改善が図られているため、CTが形態の精査、核医学的検査が機能の精査という従来のステレオタイプが崩れつつあると思われる。しかしながら現状においては、まず、前述のCTや核医学的検査の特性を理解し、患児にとって有意義な検査を選択することが重要であろう。

### ●文献

- 1) 望月博之, 重田 誠, 森川昭廣: 小児の臨床検査, 最近の進歩, 超高速CTによる小児呼吸器疾患の診断, 小児科診療 1997; 50: 769-775.
- 2) Arakawa A, Yamashita Y, Nakayama Y, et al: Assessment of lung volumes in pulmonary emphysema using multidetector helical CT: comparison with pulmonary function tests. *Comput Med Imaging Graph* 2001; 25: 399-404.
- 3) 井上登美夫, 遠藤啓吾: PETによる腫瘍の治療効果判定. *医学のあゆみ* 2000; 192: 1173-1174.
- 4) 宮坂実木子, 宮崎 治, 中山陸子, 他; 小児領域におけるMSCTによる検査法のポイント, *INNERVISION* 2001; 16: 61-68.
- 5) 奥本忠之, 石橋忠司: Virtual endoscopyの実際; 消化管, 気道への応用, *画像診断* 2000; 20: 551-558.
- 6) Wittram C, Batt J, Rappaport DC, et al: Inspiratory and expiratory helical CT of normal adults: comparison of thin section scans and minimum intensity projection images. *J Thorac Imaging* 2002; 17: 47-52.
- 7) 井上登美夫: PETによる肺腫瘍診断. *内科* 2000; 85: 1084.
- 8) 石坂彰敏, 金沢 実, 黒田道郎, 他: 気管支肺胞上皮からのクリアランス. *気管支学* 1985; 7: 459-465.
- 9) 吉田恭子, 荒川浩一, 望月博之, 他: 肺胞透過性の亢進が認められた特発性肺へモジデロシスの一症例. *日小呼誌* 2000; 11: 109-113.
- 10) 伊藤春海: 画像診断からみた間質性肺炎: IPFとその周辺. *日胸誌* 2001; 60: 514-524.
- 11) Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, et al: Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR* 2001; 176: 289-296.