

特集 小児の肺機能の画像による評価／臨床的応用と最近の進歩

2. 小児核医学と肺機能の画像による評価

石井勝己

北里大学医学部放射線科

Evaluation of Lung Functional Image in Pediatric Nuclear Medicine

Katsumi Ishii

Department of Radiology, Kitasato University School of Medicine

Abstract

The majority of pulmonary function examinations practiced in pediatric nuclear medicine are pulmonary perfusion and pulmonary ventilation examinations, both being a type of respiratory pulmonary function examination.

The images and data analysis obtained from them are useful for the diagnosis and follow-up study of the therapy for pulmonary disease. Case histories are indicated with explanation.

Although the non-respiratory pulmonary function examination is a means practiced on adults, this report also includes explanations with case examples of a method practiced to understand the activities and disorders of lung tissue, the IMP examination, which can easily be performed in children.

Data analysis obtained from the lung transmission examination is also explained with case examples, and the respective advantages are mentioned.

Key words : Pediatric nuclear medicine, Pulmonary function, IMP examination, Transmission

はじめに

呼吸器に関する核医学検査は肺機能を画像として提示することの出来るものとして評価されてきた。核医学検査は肺機能の基本である呼吸性肺機能を肺血流と肺換気を画像としてとらえるとともにそのデータを解析することを中心として行われ、肺機能の診断のみならず治療による病状変化経過観察にも用いられている。また現在では非呼吸性肺機能検査として気道粘膜線毛運動、肺胞上皮透過性、血管透過性、肺組織の活性（又は肺血管内皮細胞機能）、気道系交

感神経機能などを調べる目的で施行され、殆どの場合成人を対象としたものであるが小児（年長児）に行うことが出来るものもあり、呼吸器核医学の小児への利用は高まると考えられる。

肺換気血流検査（RI肺機能）

肺血流検査には ^{99m}Tc -MAA（大凝集アルブミン）を静注し、肺換気検査には ^{133}Xe や ^{81m}Kr ガスを吸入させて行うのは成人と同じ手法である。

気道系の検査に ^{99m}Tc ガスや ^{99m}Tc -エロゾルを吸入させる方法は成人に行われるが、この方

法は小児では吸入時に汚染を起こしやすいので殆ど用いられない。

核医学による肺機能検査で最も重要であり、また普及しているのが肺血流検査である。

^{99m}Tc -MAAは肺毛細血管の微小塞栓を起こし、とどまることにより肺血流分布を知るのであるが、小児の肺動脈毛細血管数は身体の発育に伴い増加し、成人に近くなるのは8~10歳といわれているため¹⁾、用いるMAAの量は成人に用いる1/2~1/10以下にする。正常肺血流分布像は両肺野に均一なRI分布を示す像であるが、肺血流分布は重力の影響を受けやすいのでRIを静注した時の体位によって分布像は変わる²⁾。一般に小児(ことに乳幼児)では、仰臥位で静注するので前後像では均一な分布像を示すが、側面像では前面に分布低下が見られる(Fig.1a)。また左右のカウント比は成人では右:左=55:45と報告されているが、小児では年齢によってやや異なるがほぼこれに準ずる。

^{99m}Tc -MAAの肺分布低下は肺血流低下を示すものである。成人では肺塞栓などによる肺血流障害が多く、欠損像を示すが小児の肺塞栓は極めて少ない。肺血流異常を示す疾患には肺血管病変(肺動脈欠損症、高安病、肺動静脈奇形、他)の他に慢性の気道病変に伴うもの(喘息、肺結核、気管支形成異常、肺気腫、肺嚢胞症、他)や肺高血圧症、先天性心疾患に伴うものなどがある。更に細かく肺血流分布を知るためにSPECT検査も行われる。また ^{133}Xe 生食水を静注する方法もあるが現在では殆ど用いられていない。

肺換気検査は一方通行弁をそなえた回路を用いて ^{133}Xe ガスを吸入させた後、弁を開いて呼出させ、一連の肺気道系内のRIの動態を背面より連続画像として捉え、このデータを解析する。小児は年齢によって死腔、呼吸の強さなどが異なるため年齢に応じた回路を使用する。 ^{81m}Kr ガスも用いられるが半減期13秒と短いため呼出のデータが取りにくいことはあるが、すぐに繰り返し検査できる利点もある。

正常換気分布はほぼ均一にRIガスが両側肺

に吸入され、呼出(洗い出し)も左右同時に行われる(Fig.1b)。左右肺のカウント比(又はボリューム比)は肺血流分布とほぼ同じである。また平均通過時間(MTT)の算出も行われるがこの値は年齢によって異なる。

肺換気、血流検査のデータから換気/血流比(\dot{V}/\dot{Q} 比)を求める。 \dot{V}/\dot{Q} 比の異常はガス交換効率の低下を意味するので臨床上参考となる。

肺換気分布は肺血流分布のように重力の影響は受けないが、気管支形成不全などでは体位により換気に著明な影響を与えることがあり、新生児、乳児で特定の体位を取りたがりその体位でないと全身状態が芳しくない場合がある。このような患児に種々な体位(仰臥位、左側臥位、右側臥位)で検査すると、側臥位で肺病変側を下にした時の方が良好な換気を示すことが殆どで、新生児の呼吸障害では体位を変えて検査する必要がある場合がある。

症例1 肺動静脈瘻 1歳10ヵ月 男児

咳を主訴とし感冒を疑って来院。左上胸部に脈拍と一致したような雑音を聴取。胸部単純X線像にて左上肺野に異常陰影を認める。RIによる肺換気、血流検査を施行。換気分布では明らかな異常は認めないが、 ^{99m}Tc -MAAによる肺血流分布では左上肺野に欠損像があるうえ腎が描出されている(Fig.2)。これは肺の動静脈瘻によりMAAの粒子よりも吻合血管が太いため肺を通過して左心系より体循環に流入したMAAが腎の末梢血管に捕捉されたことを表している。

症例2 初期変化群肺結核 1歳10ヵ月 女児

家族に肺結核患者がおり来院。胸部単純X線像にて左肺門リンパ節の腫脹を認める。RI検査で肺血流は左上中肺野に著明な低下を認め、換気分布では左上中肺野に吸入の低下と洗い出しの遅れ、即ち換気障害を示している(Fig.3)。これは肺門リンパ節の腫脹による左肺機能障害を示しているもので換気による左右肺のカウント比は左:右=60:40、血流分布では左:右=64:36で換気平均通過時間は左8.2秒、右7.6秒、 \dot{V}/\dot{Q} 比は右0.98、左1.04で左肺のガス交換率の

低下が認められる。

症例 3 気管支拡張症 10歳 男児

感冒に罹患しやすく、発熱、咳、喀痰が多い。単純X線像で右下肺野に気管支拡張症を思わせる所見があり、気管支造影にて気管支拡張症と診断されている(Fig.4a)。¹³³Xe生食水による肺血流検査では肺血流分布に明らかな異常は見

られないが、右下肺野でガス化した¹³³Xeは肺胞からの洗い出しが著明に遅れている。また¹³³Xeガスによる肺換気検査では吸入には異常は見られないが、吸入された¹³³Xeガスは右下肺野に停滞し、呼出の遅れを示しており換気障害を画像として明瞭に捉えることが出来た(Fig.4b)。

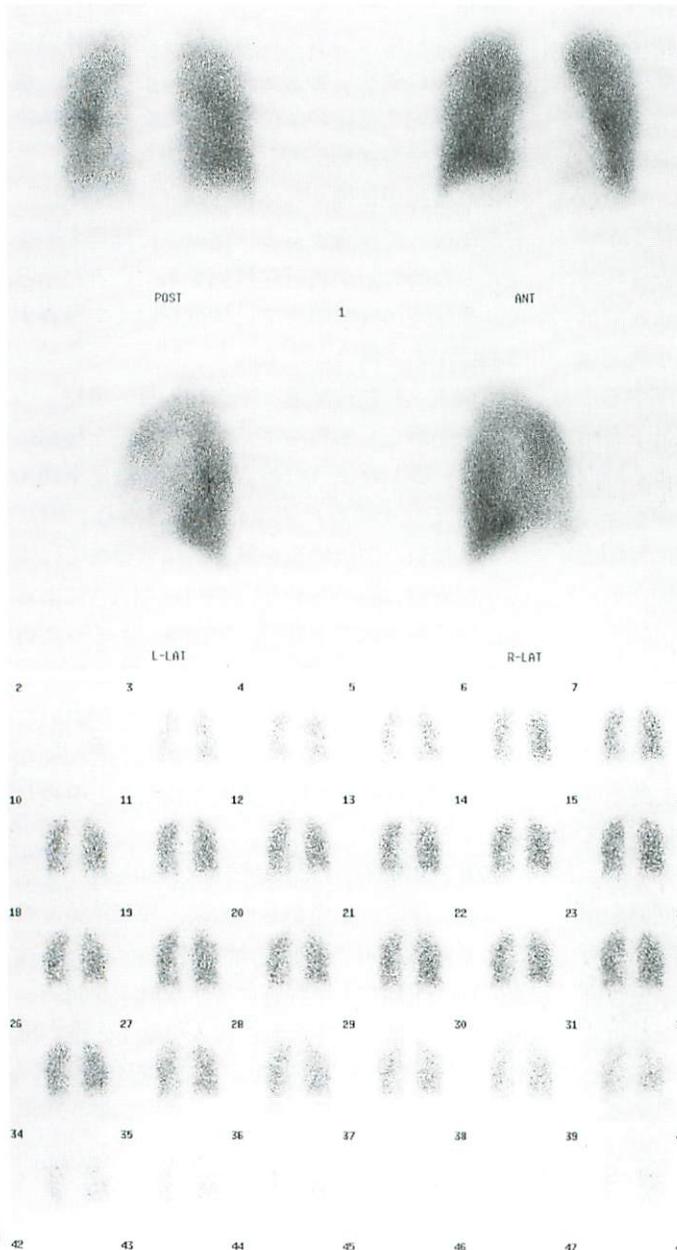


Fig.1

a : Normal ; pulmonary perfusion study by ^{99m}Tc-MAA.

b : Normal ; pulmonary ventilation study by ¹³³Xe gas.
2 sec/F



Fig.2 Pulmonary arteriovenous fistula 1 Y10M
Lung perfusion image.
There is a cold area in left upper part, and bilateral kidney's hot image.

R

L

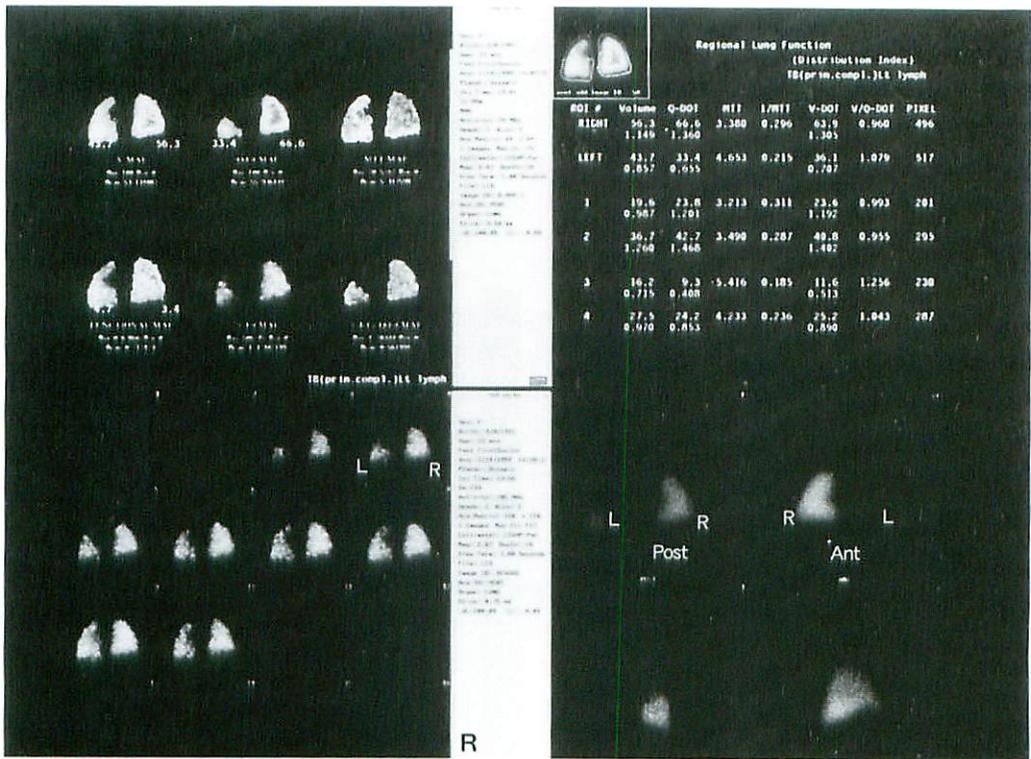


Fig.3 Pulmonary tuberculosis 1 Y10M
Pulmonary ventilation and perfusion study.

症例 4 肺分画症 12歳 男児

肺感染症を起こしやすく、胸部単純X線像にて左下肺野に異常陰影を指摘された。肺血流分布と換気分布で左下肺野に欠損象が見られ (Fig.5a, b), この部分への著明な換気、血

流障害のあることを示しており術前の局所肺機能の状態を知ることが出来た。この検査では体循環よりの異常動脈の流入を知ることが出来ないが、RIアンギオグラフィで体循環時の肺血流充満像が見られるとの報告もある³⁾。

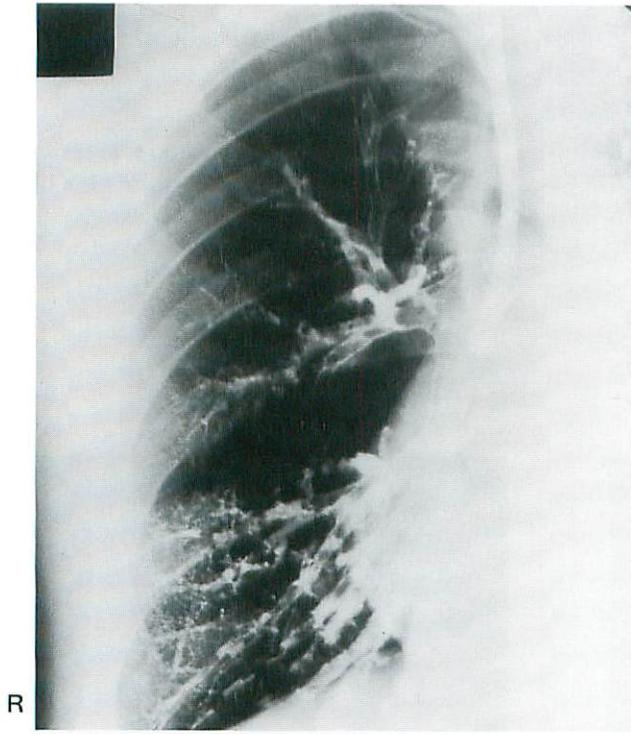
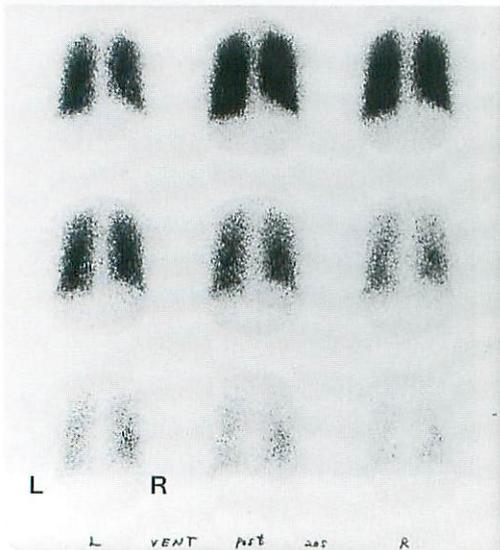
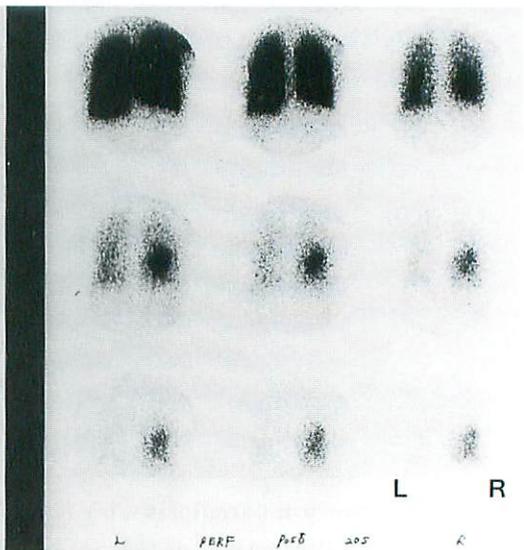


Fig.4 Bronchiectasis 10Y

a : Bronchography



b : Pulmonary ventilation study by ^{133}Xe gas



c : Pulmonary perfusion study by ^{133}Xe saline

症例 5 先天性食道閉鎖症術後, 右肺低形成, 右胸心, 術後左横隔膜麻痺 17歳 男児

乳児期に施行した先天性食道閉鎖症の術後の左横隔膜麻痺と右肺低形成のため, 臨床的に肺機能の低下が見られた. 食道閉鎖術後より定期

的な核医学による肺機能検査にて経過観察を行っていたが, X線検査では判断できなかったやや急速な変化を核医学で捉えることが出来たので症例として提示する. 変化前の核医学検査では両側肺の血流分布は不均一ではあるが左横

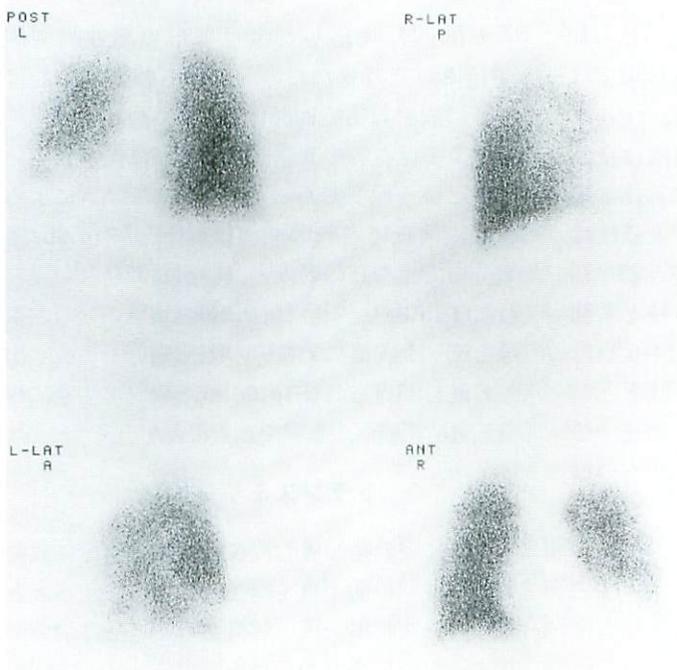
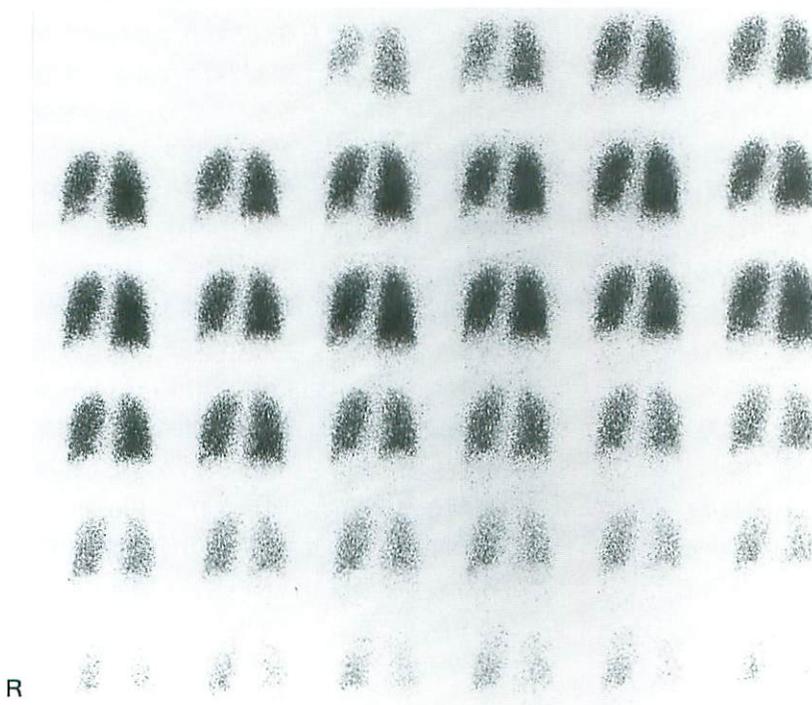


Fig.5 Pulmonary sequestration 12Y
a : Pulmonary perfusion study



b : Pulmonary ventilation study
L

隔膜の挙上はごく一部のみとなり、換気分布は右肺にわずかな吸入低下が見られる程度となっていた。換気分布による右左肺の比は右：左＝50.5：49.5、血流分布では右：左＝47：53で換気平均通過時間は右10秒、左7.9秒と右肺の換気に僅かな障害が見られる程度で、 \dot{V}/\dot{Q} 比は右0.94、左1.05であり、肺機能の改善が見られていた。その約8ヵ月後に胸部単純X線像では著明な変化が見られないにもかかわらず(Fig.6a)、核医学検査では右肺の血流は全体的に著明に低下し、換気分布は右肺に高度の吸入障害を示し(Fig.6b)、換気分布による比は右：左＝14：86、血流分布では右：左＝25：75、換気平均通過時間は右52.1秒、左8.7秒と右肺の高度の換気血流障害を示し \dot{V}/\dot{Q} 比は右0.11、左1.30と右肺のガス交換率の著明な低下となり、この結果緊急入院となった。この時点でのX線CTでは明らかな肺換気異常を示すものは見つからなかった(Fig.6c)。

非呼吸性肺機能⁴⁾

前述のごとく非呼吸性肺機能に関する検査は種々あるが、検査時間が長くかかったり、手技的に小児の日常検査としては適用しにくいものが多い。肺毛細血管上皮内皮細胞には肺動脈、気管支動脈などに血管作動性物質を代謝するmixed function oxidase (MFO)が存在し、MFOは¹²³I-IMPの肺組織での代謝に関与する。その集積はMFOの活性を通して肺組織の活性や障害が推定できるとされている³⁾。これを利用して肺組織の状態を知ることは、¹²³I-IMPの静脈注射と経時的撮像で済む検査なので小児に施行しやすい。

症例6 夏型肺過敏感症 11歳 女児

夏季になると呼吸器障害が起こり、冬季になると緩解することが繰り返されており、肺機能も夏季は低下するが冬季は改善する。¹²³I-IMPによる呼吸器核医学検査では胸部症状のある9月の検査では肺へのRI集積が多く、肺からの洗い出しは遅れ、肝への流入は遅れるが、無症状の1月の検査では肺からの洗い出しは早

くなっており(Fig.7a)肺組織の改善は見られているが、無症状期にあっても洗い出しは正常よりも遅れており、肺組織の改善は正常とはなっていないことが分かる(Fig.7b)。

症例7 悪性胸腺腫術後、放射線治療後 8歳 男児

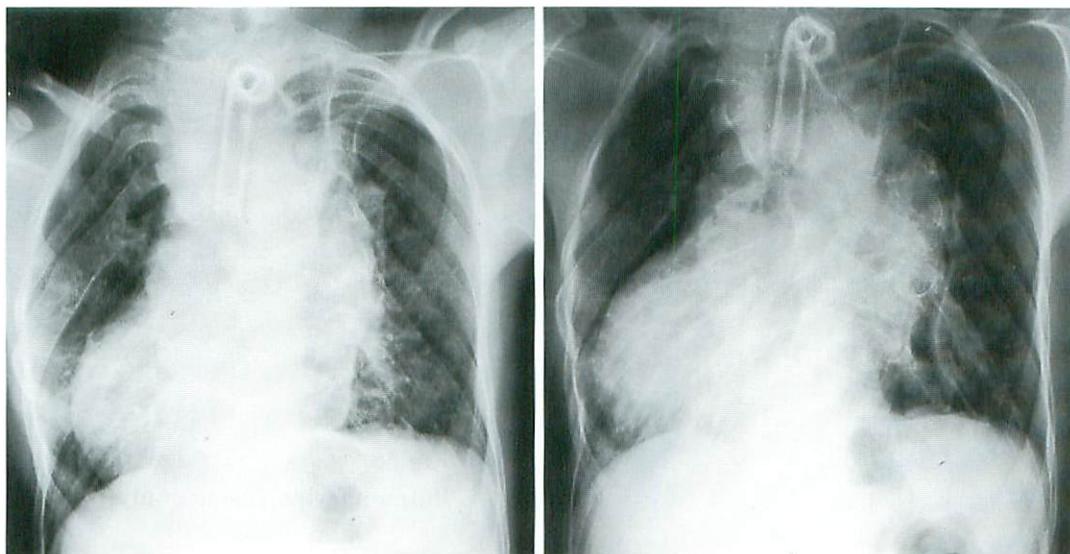
右肺門に突出したような形の悪性胸腺腫(Fig.8a)であったため、術後右肺部を中心に右肺に放射線治療2000radを行った。胸部単純X線像では右肺の血管陰影が僅かに低下しているかと疑う程度であった。^{99m}Tc-MAAによる肺血流検査で右肺の血流は低下し(Fig.8b)換気分布では右肺の吸入と洗い出しの遅れが見られた(Fig.8c)。¹²³I-IMPの静注後肺の経時的撮像とデータ収集にて右肺のRI分布低下と洗い出しの遅れが見られ(Fig.8d,e)、放射線治療に伴う正常肺組織への影響を知ることが出来た。

トランスミッション

体外に線源を設置し、X線検査と同様に放射エネルギーの通過量を画像としてとらえるとともにデータ収集を行い解析する。方法は肺のボリューム変化を捉えるため一定のリズムで呼吸させることが必要である。これにより呼吸に伴う含気量の変化に伴う通過放射エネルギーの変化データを位相解析することにより、肺含気量の変化を画像として知ることが出来る。

症例8 漏斗胸 14歳 男児

前胸郭の著明な陥凹を示し、十分な運動ができなかった。術前の肺トランスミッションデータの位相解析では換気に関与している部分が左肺に非常に少ないのと、また左横隔膜の動きは殆どみられなかった(Fig.9a)。術後の肺トランスミッションでは左肺の換気に関与している部分の増加を捉えることが出来たのみでなく左横隔膜の動きが振幅像で明示された(Fig.9b)。手術後の呼吸症状の改善は左肺の呼吸面積の増加のみならず横隔膜の動きの改善も関与していることを画像で知ることが出来た。なお肺血流分布は術前術後で軽度の差が見られたのみであった。



After 8 month

Fig.6a X-ray image 17Y
Post-operative esophageal atresia, hypoplasia of right lung, dextrocardia, phrenic nerve paralysis

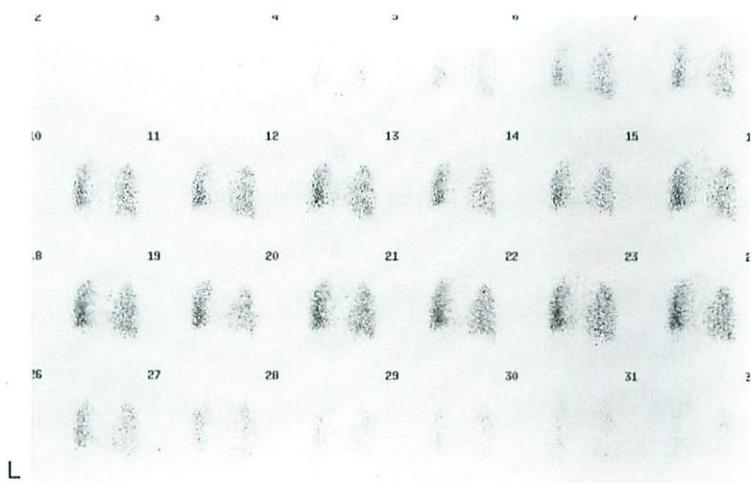
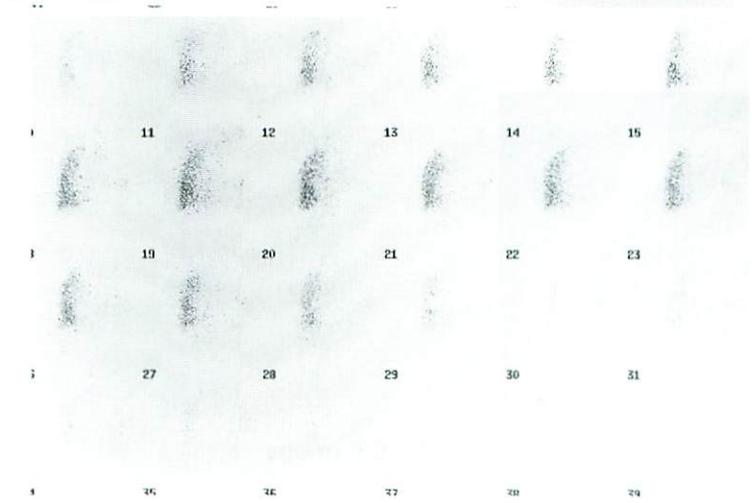


Fig.6b
Pulmonary ventilation study



After 8 month

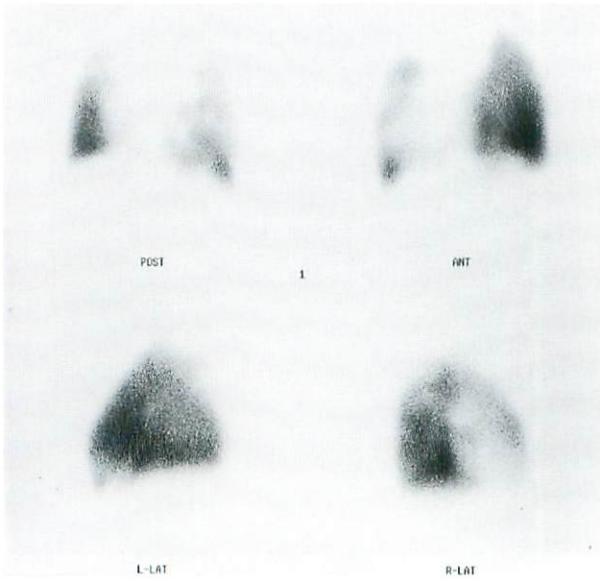
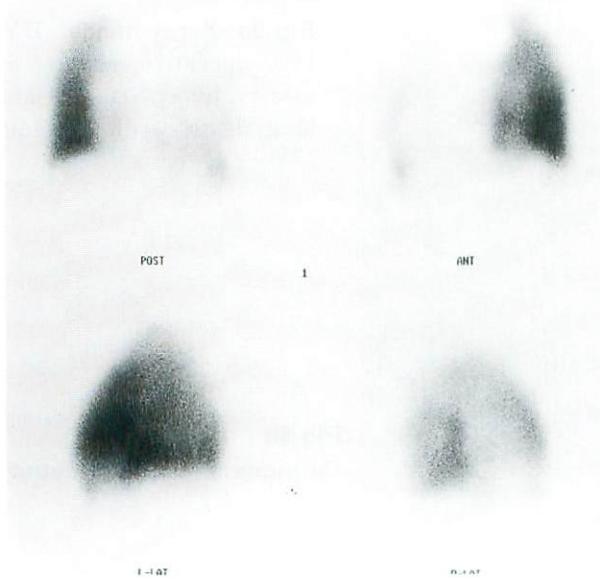


Fig.6b
Pulmonary perfusion study



After 8 month

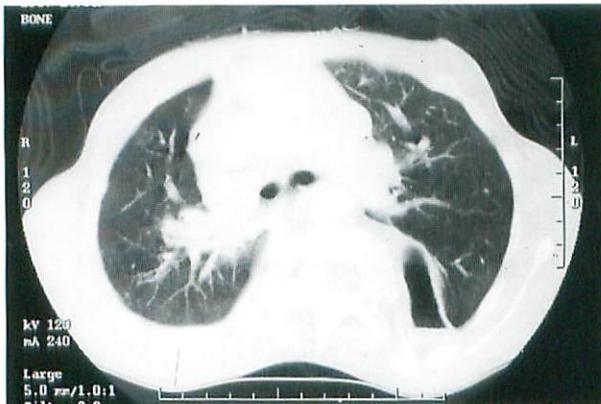
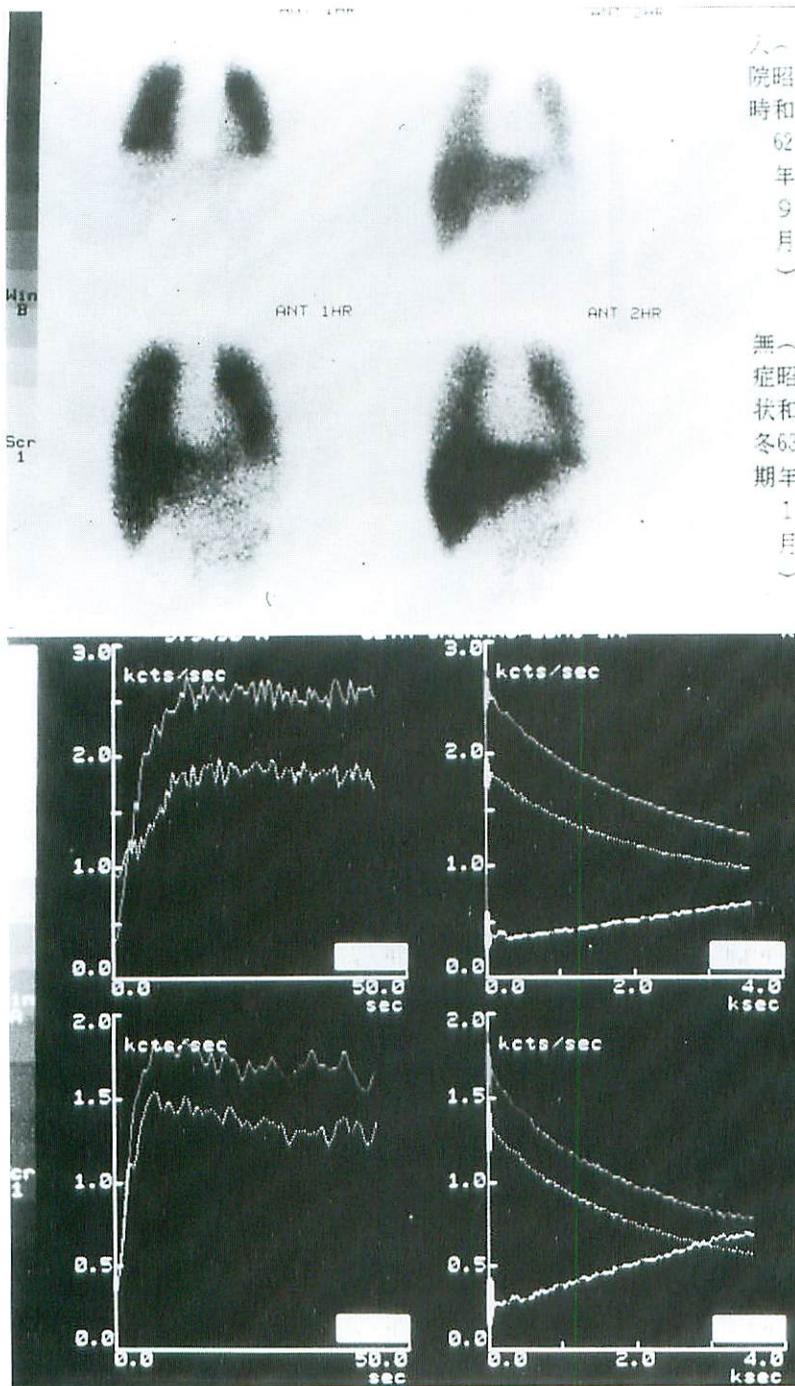
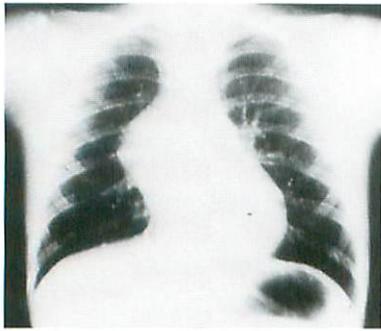


Fig.6c CT image

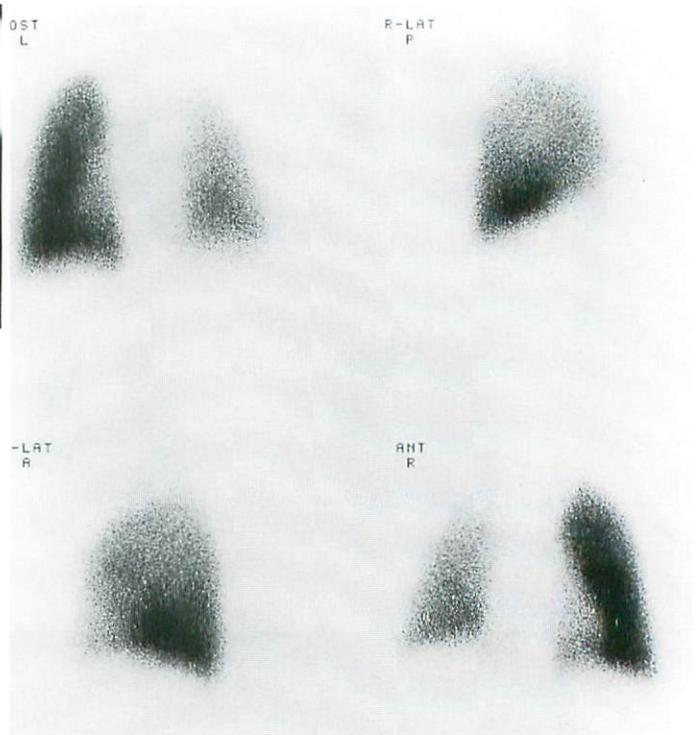


Upper : metabolic image by ¹²³I-IMP
Lower : wash-out curve

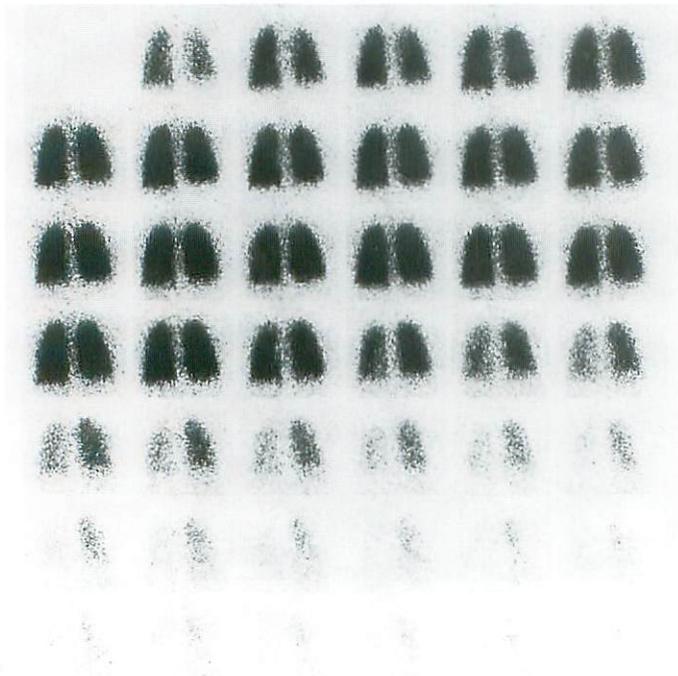
Fig.7 Pulmonary hyperesthesia in summer 11Y



a : X-P



b : Pulmonary perfusion study



c : Pulmonary ventilation study

Fig.8 Post-operative malignant thymoma, Post radiation therapy 8Y

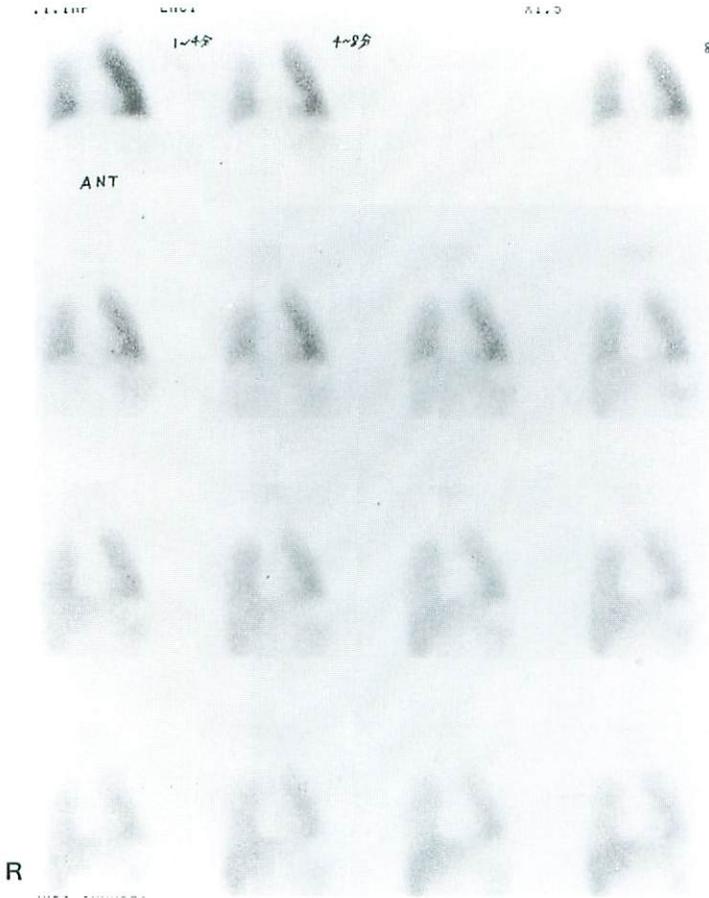
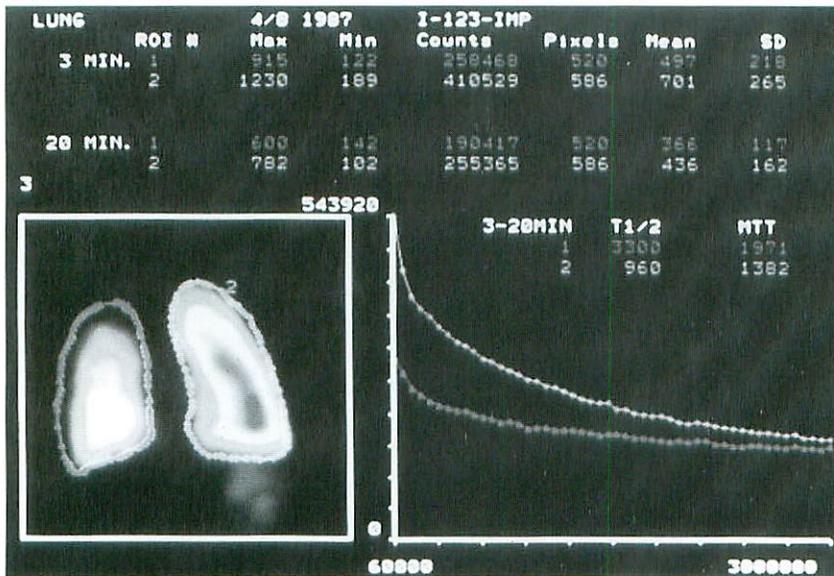


Fig.8

d : Pulmonary metabolic study by ^{123}I -IMP

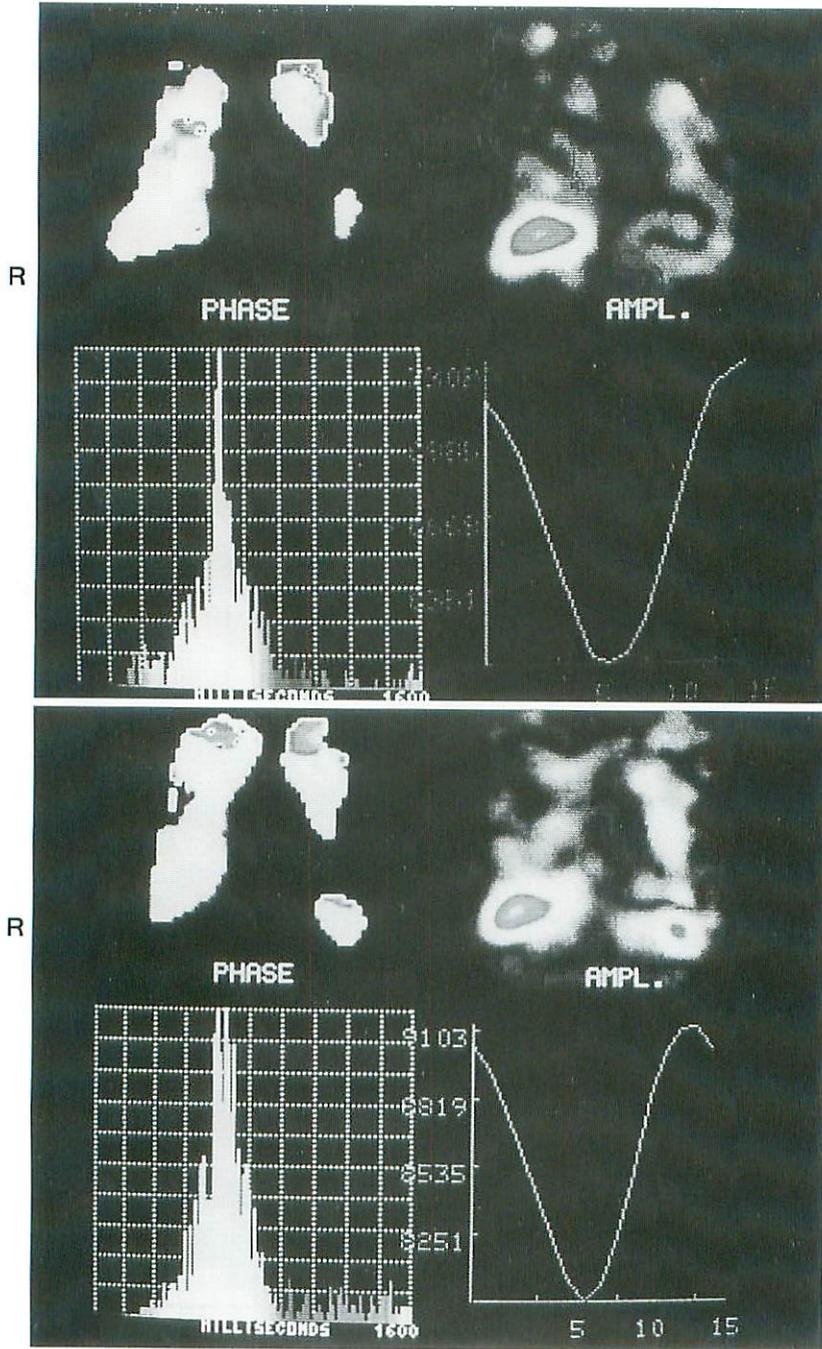


e : Wash-out curve

おわりに

肺機能に関する核医学検査は現在種々な方法が開発され臨床に用いることが試みられている

が、従来から行われている呼吸性肺機能検査としての肺換気・血流検査（肺機能検査）は診断のみでなく小児肺疾患の治療に伴う経過観察ことに手術後の経過観察には有力な情報を提供し



a : Pre-operative transmission study

b : Post-operative transmission study

Fig.9 Funnel chest 14Y

てくれる検査として欠くことの出来ないものといえる。また、非呼吸性肺機能検査も肺組織の状況を知るのには簡単な手技で、かなりの情報を得ることが出来るので、今後はこの方面の利用も開発がすすめられるであろうが、健保適用の問題から日常診療に常時利用しきれない恨みがある。症例の提示は僅かであったが、検査適用の疾患は数多くあり、核医学検査から得られる情報は治療方針を決めたり、治療経過の観察に大いに役立つと考えている。

●文献

- 1) Avery ME : Lung Development : The lung and its disorders in the newborn infant(2nd), WBSaunders 1968, 3-17.
- 2) 井澤豊春 : 正常肺における血流と換気の分布. 呼吸器核医学, 金港堂, 1995, 29-30.
- 3) 鈴木輝康 : 呼吸器系. 核医学ハンドブック, 鳥塚莞爾. 小西淳二編, 金芳堂, 1996, 163-184.
- 4) 菅 一能 : 呼吸器核医学の役割. RIイメージングの画像診断における役割. 日医放会誌付録 1998 ; 58 : 2-5.