



Title	一般診断医のための核医学-呼吸器-
Author(s)	菅, 一能
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(12), p. 684-690
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15080
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

一般診断医のための核医学 — 呼吸器 —

菅 一能

山口大学医学部放射線医学講座

Respiratory Nuclear Medicine for General Radiologist

Kazuyoshi Suga

This paper describes some of the basic pathophysiologic information required for the interpretation of pulmonary perfusion and ventilation scintigraphy, i. e., perfusion reduction associated with hypoxic vasoconstriction due to ventilatory dysfunction, vascular beds in the upper lung as a reserve of perfusion, stripe sign, fissure sign, characteristic MAA distributions in right-to-left shunt, and different tracer distributions in the lung according to tracer sizes. The utility of perfusion and xenon-133 SPECT in the evaluation of cross-sectional lung function in various disorders is also emphasized. Also described are the utility of Tc-99m-DTPA lung scan in the evaluation of alveolar permeability, Ga-67 scan in the diagnosis of sarcoidosis, bone scans in the diagnosis of pulmonary metastatic calcifications and stress rib fractures, lymphoscintigraphy in the diagnosis of chylothorax, and Tc-99m-HSA scan in the detection of bleeding sites.

Research Code No.: 722

Key words: Respiratory nuclear medicine, Pulmonary ventilation, Perfusion scintigraphy, Tc-99m-MAA, Xenon-133 gas, SPECT

Received July 24, 2000

Department of Radiology, The Jikei University School of Medicine

本論文は第59回日本医学放射線学会学術発表会(2000年4月)の教育講演:一般診断医のための核医学において、「一般診断医のための呼吸器核医学」の演題で発表されたもので、日本医学放射線学会誌編集委員会より執筆依頼した。

別刷請求先

〒755-8505 山口県宇部市南小串 1-1-1

山口大学医学部放射線医学講座

菅 一能

はじめに

肺は3~4億の肺胞からなり表面積は延べ85平方メートルに及ぶ。肺胞壁を形成する肺血管内皮細胞、基底膜、肺上皮細胞の3層構造は単純であるが、ガス交換に加え物理/化学的フィルタ機能、多彩な代謝機能さらには免疫反応まで営む。呼吸器核医学は呼吸性/非呼吸性肺機能の両面から、胸部 computed tomography (CT) などの形態像では把握し難い多彩な肺局所の機能情報を提供し、各種胸部疾患の診断と病態把握に重要な役割を果たす。日常診療の核医学検査の解釈には、肺の病態生理、放射性医薬品の性質や肺内動態を知る必要がある。本稿では、われわれが日常診療で遭遇した例を中心に、一般診断医に必要と思われる呼吸器核医学検査の基本的知識を解説する。

肺血流シンチグラフィ

平均径35 μ mの放射性微小塞栓粒子である^{99m}Tc-MAAは、内径が約12-15 μ m前後の肺動脈の前毛細血管床に大部分捕捉され、静注時の体位における重力効果を反映した肺血流分布像が得られる。通常の使用量では1~3/1000程度の血管床が塞栓されるのみであり血行力学的に安全に使用される。Magnetic resonance image (MRI)により肺動脈血流評価が可能となってきたが、現時点では肺血流シンチグラフィは最も確立された方法である。肺は肺動脈と気管支動脈(生理的には約5%程度)からの二重血流支配臓器でありトレーサの動態を検討する際には念頭に置く必要がある。造影剤を使用したdynamic MRIの肺血流イメージでは、肺血管透過性が亢進した病態下では、造影剤の静注早期から血管外へ造影剤が移行し、気管支動脈からの流入との分離も容易ではない。粒子性MAAが流入しえない微小循環の肺動脈・気管支動脈血流の評価にも注意を払う必要はあり、¹²³I-iodoamphetamine (IMP) シンチグラフィがその目的に使用される^{1),2)}。肺動脈血流イメージは^{81m}Krブドウ糖液静注後、安静呼吸下でも得られる。

1. 低酸素性肺血管攣縮

換気が低下した肺局所では低酸素性肺血管攣縮により肺

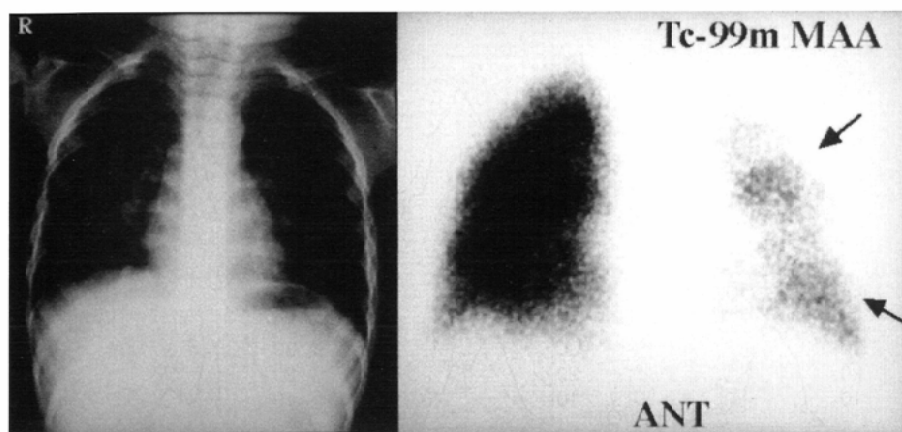


Fig. 1 Pulmonary perfusion scan obtained with ^{99m}Tc -MAA in a 2-year-old boy with an aspirated endobronchial foreign body (peanut) in the left main bronchus (reproduction from ref. 3). Pulmonary perfusion decreased in the left lung owing to hypoventilatory vasoconstriction (right, arrows).

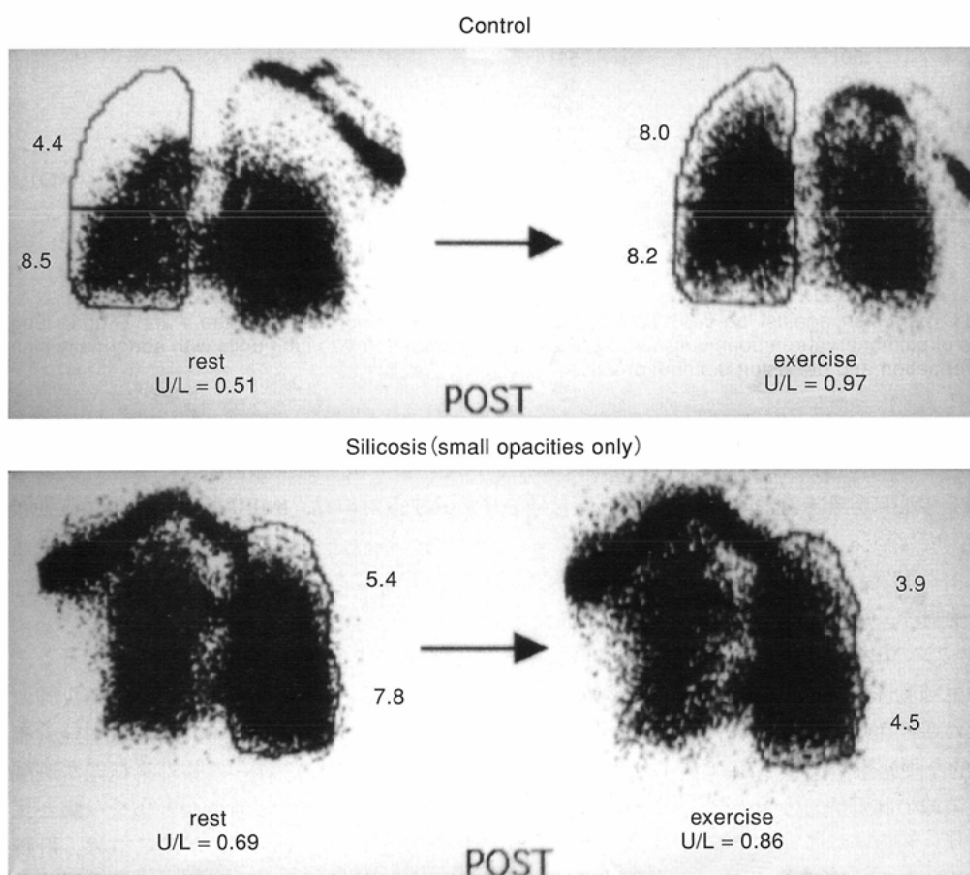


Fig. 2 Pulmonary perfusion scans with intravenous injection of ^{81m}Kr glucose solution before and after exercise load. Tracer activity shifts and distributes to the upper lung fields after exercise in a healthy subject (top). By contrast, no significant perfusion change is observed after exercise in this case of silicosis with tiny opacities throughout the lung, indicating a reduction in the reserve pulmonary capillary bed that can be accessed at the time of exercise.

動脈血流は減少する。本現象は肺換気/血流比の均衡を保ち低酸素血症を防ぐ防御反応ともいえる。Fig. 1は左主気管支内に気管支異物(ピーナッツ)を誤嚥した小児の肺血流シンチグラフィを示すが、胸部単純X線写真では異常の認められない左肺の血流低下が顕著である。本現象は、種々の肺疾患において換気が低下した肺領域に認められる基本的反応であり、肺血流シンチグラムの解釈上、常に念頭に置くべき現象である。本例では気管支異物の完全除去後もしばらく血流の完全な回復は得られなかった。機序は不明であるが、換気障害に反応した血流低下は遷延化する可能性がある³⁾。

2. 肺循環予備能

上肺野血流に対する重力効果は相対に大きく高換気/血流

比を示すが、運動負荷時の肺循環予備能を担う領域でもある。Fig. 2に運動負荷前後に ^{81m}Kr ブドウ糖液静注法により得た肺血流イメージを示す。健康者では運動負荷後に上肺野へ血流がシフトし、運動による効率のよい血液酸素化の需要に応えるため、この領域の血管床が動員されたと考えられる。これに対し比較的軽度の珪肺患者では、運動負荷前後で血流分布に差異はなく、肺循環予備能に乏しいことが示されており運動時に呼吸困難が増強する原因と考えられる。肺循環予備能はMAAでも評価可能である⁴⁾。

3. 肺塞栓症

肺塞栓症で低酸素血症がもたらされる機序は、血流欠損域そのものよりは結果として起きる非塞栓領域を含めた換気血流分布の不均等化が主たる原因である⁵⁾。肺換気血流分

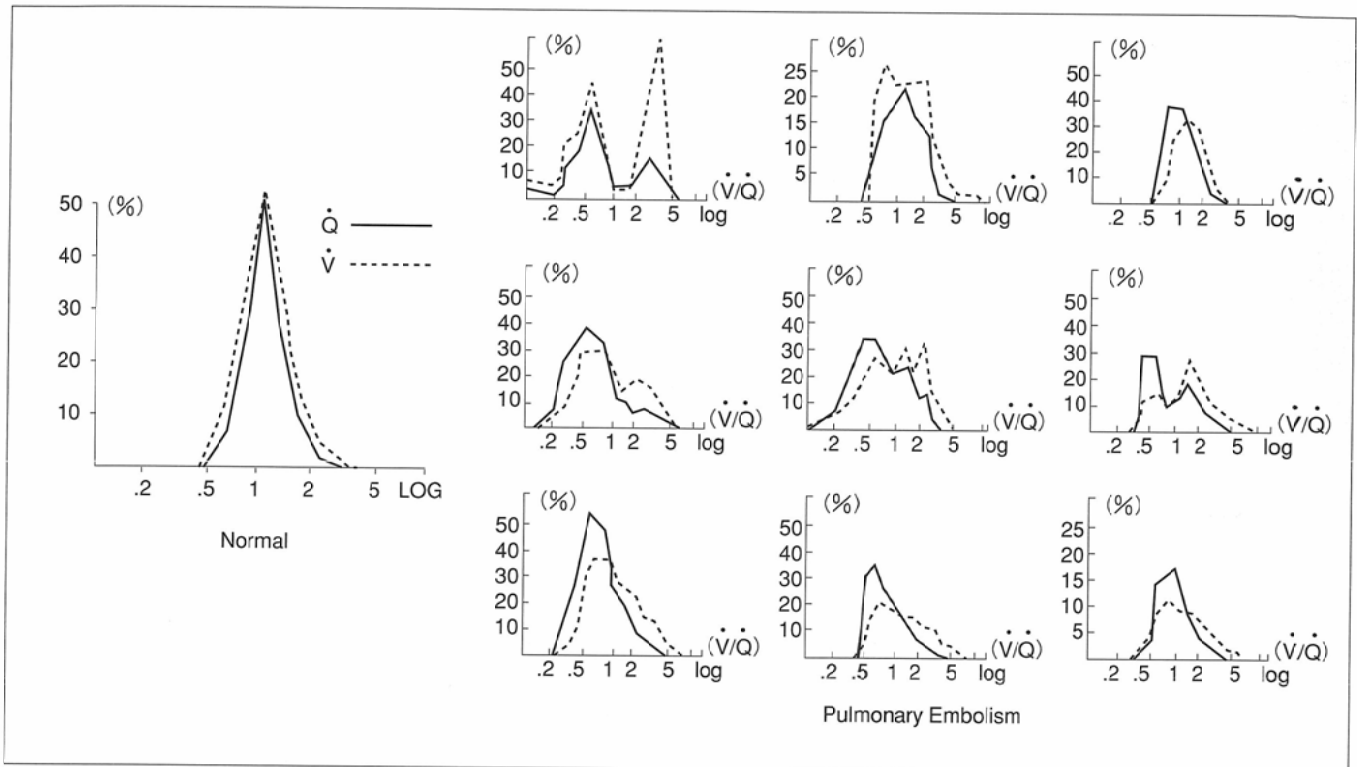


Fig. 3 Distribution of $\dot{V}$ (ventilation) and $\dot{Q}$ (perfusion) against $\log \dot{V}/\dot{Q}$ (ventilation-perfusion) ratios. In normal lungs, the $\dot{V}$ and $\dot{Q}$ go to lung units with $\log \dot{V}/\dot{Q}$ ratios near 1. In cases of pulmonary thromboembolisms, there is a large increase in $\dot{V}$ to lung units with abnormally high $\log \dot{V}/\dot{Q}$ ratios, contributing to uneven ventilation and perfusion distributions.

布を半定量化したヒストグラムでは、生理的には換気、血流分布は換気/血流比が1となる領域を中心に分布し効率よくガス交換に寄与するが、肺塞栓症例では換気、血流分布ともに幅広く不均等に分布する (Fig. 3)。肺塞栓症診断に果たす肺換気・血流シンチグラフィの役割は、造影 spiral CT スキャンさらには換気・血流MRイメージの出現により減少傾向にある。Spiral CT スキャンは中枢肺動脈血栓の検出には優れるが、モザイクパターンを含め塞栓領域の変化は非特異的であり、形態や分布が非典型的な梗塞巣も多く存在する。塞栓領域の変化よりも非塞栓領域の肺野濃度上昇や血管影の変化の方が目立つ症例もあり、肺血流シンチによる血流分布の評価はやはり重要である。さらに微小血栓塞栓による末梢肺野の血流低下や栓塞栓に続発した肺動脈高血圧症による肺血流の上肺野へのシフト、下肢静脈ペノグラフィ併用による深部静脈血栓の検出など、本検査の守備範囲は広い。肺塞栓症の診断は肺換気血流分布のミスマッチを検出し、PIOPED診断基準(またはその改編案)に基づいて行われるが、肺組織の重なりをさけて評価できるSPECT検査が望まれる。特にSPECTは肺底部と右内側の血流欠損の描出に有効との報告がある⁶⁾。

肺塞栓症におけるMAA分布欠損域でもMAAの到達しえない微小循環には気管支動脈または少量の肺動脈血は流入しており、肺組織の梗塞を防ぐとともに胸膜直下の台形状梗塞巣を形成する原因でもある。非粒子性で肺血管内皮細胞に親和性の高い¹²³I-IMPを使用すると、MAA欠損域でも時間経過とともに放射能分布が認められてくる。これは、

MAAで塞栓されていない微小肺動脈循環または気管支動脈から塞栓領域に流入するため、IMPは肺動脈・気管支動脈循環を含めた総合的な観点から肺血流肺脈血栓除去術の適応や治療効果判定に有用である^{1),2)}。

4. 右左シャント

心奇形や肺動静脈瘻による右左シャントが存在すると、腎臓、脳を中心に肺外の諸臓器および軟部組織がMAA肺血流シンチグラムで描出される。諸臓器のMAAの放射能分布は各臓器の血流分布を表す。これらの肺外集積像が遊離^{99m}Tcが原因でないことは、肝臓の放射能が腎臓や心臓と比較して少ないことを確認するとよい (Fig. 4)。これは、肝臓が二重血流支配であり、体循環により腸管の末梢動脈に分布し塞栓されたMAA粒子は門脈血流中には含まれないからである⁷⁾。血流に富む甲状腺は描出される例が多い⁷⁾。右左シャント量が多い場合には左室心筋が描出される例があり、肺野の放射能との区別が必要である。右左シャントが存在すると軟部組織や脳などに不均等に点状の比較的強い異常放射能が認められる (quantum pattern) 例が稀にある (Fig. 4)。MAAの組織分布のパラッキが顕著なため認められる現象で、右左シャントの存在を示すサインの一つと考えられる⁸⁾。先天性心奇形などを有する小児で大きな右左シャントの存在が予測される場合には、体重から換算した通常投与量よりも少量を使用するべきであろう。われわれの経験では60%を超える右左シャントが存在する場合でも、体重から換算した通常投与量で特に副作用の経験はないが、米国の文献では、MAA使用量は0.2mgを超えないほうが望まし

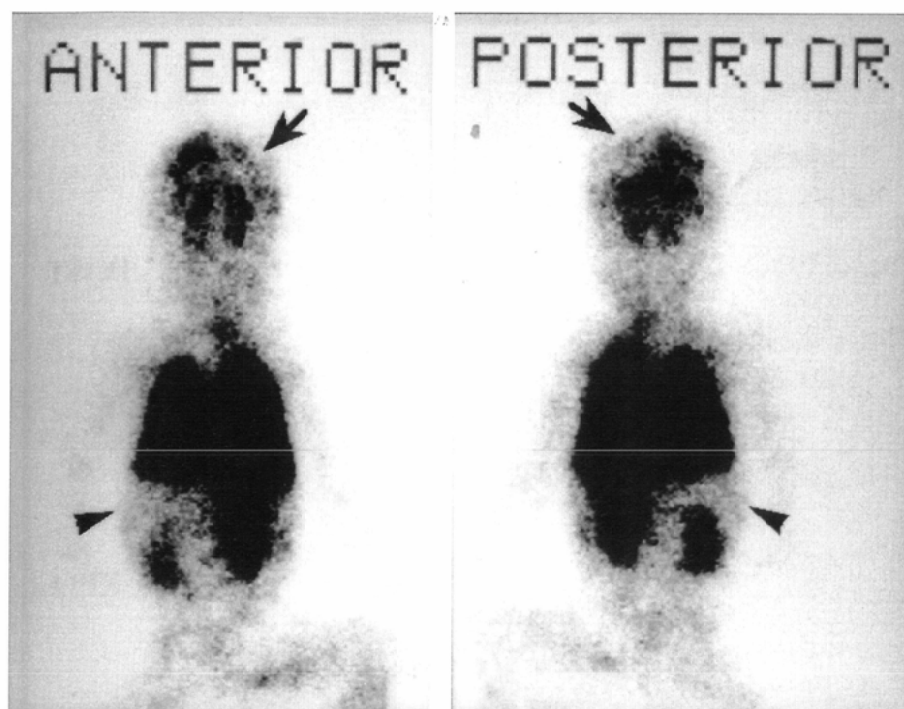


Fig. 4 Total-body image after ^{99m}Tc -MAA injection in a 3-month-old child with an intracardiac right-to-left shunt associated with complex cardiac anomalies (reproduction from ref. 8). Extrapulmonary tracer accumulation is seen in the brain, kidneys, spleen, liver, and thyroid, whereas, tracer activity of the liver is less than that of the kidneys and spleen (arrowhead). MAA particles distribute nonuniformly with a "quantum mottling" pattern in extrapulmonary soft tissues. A hypoperfused area is seen in the left cerebral hemisphere associated with cerebral infarction.

いとしている。過去には米国ではMAAを頸動脈から静注し脳血流イメージを得ていたが、特に副作用の報告はない。正常例ではシンチグラム上は右左シャントの存在は気付かれないが、生理的右左シャントのため定量すると5-6%程度のシャントは算定される⁷⁾。

肺動静脈瘻の周囲肺野の肺血流減少がスティール現象により低下する例がある。脳動静脈瘻ではよくみられる現象であるが、肺病変でも同様の現象が起きると考えられ、このため肺血流分布が不均等になる例がある⁷⁾。びまん性網目状の肺動静脈瘻例では肺血流シンチグラフィが唯一の診断の契機となる。本症では脳梗塞や脳膿瘍が起きる頻度が高まるが(Fig. 4)、脳のMAA分布に脳血流分布異常の反映されたイメージが得られる例があり注意を払う必要がある⁸⁾。肝肺症候群で肺底部を中心に右左シャントが発達し呼吸困難の原因となることがあり、肝機能障害による血管拡張物質の非活性化の阻害が一つの原因と推測される。肺塞栓症でも一過性に右左シャントが検出される例の報告もある⁹⁾。肺血流シンチグラフィの撮像および読影時には、肺以外の放射能分布にも日常から目を配るべきである。

5. ストライプサイン

閉塞性肺疾患のうち、特に進行した喫煙肺気腫(多くは汎細葉性肺気腫)では肺中心部での気腫性変化が強く血流障害が強く、胸膜に近い肺辺縁部では血流が相対に保たれる頻度が高いため、肺血流シンチグラム上、ストライプサインを呈する頻度が高い(Fig. 5)。これは、肺中心部の小葉中隔の構造上の脆弱性や、たばこ煙に含まれる肺障害物質がリンパ流により運ばれ肺中心部に集積しやすいこと、肺辺縁部では保護物質であるプロテアーゼとの接触時間が長く障害を受けにくいことが原因と考えられる¹⁰⁾。肺中心部に強い

気腫性変化が存在しても、側副血行路を通じて肺末梢辺縁部に向かう血流が保たれ、肺気腫で肺高血圧症や右室負荷が生じにくい原因でもある。ストライプサインもプランナー像よりSPECT像により鋭敏に検出される。肺塞栓症では通常、閉塞された肺動脈の支配する胸膜直下末梢肺まで血流欠損が認められ鑑別診断の一助となる。

6. フィッシャーサイン

Fig. 6に重症アデノウイルス7型肺炎後に、続発した閉塞性細気管支炎により肺過膨張と気管支拡張症所見を呈した小児の肺血流シンチグラムを示す。フィッシャーサインと呼ばれる葉間裂に沿った帯状の血流欠損が認められる。本サインは多発性微小肺塞栓、胸水貯留、胸膜肥厚、肺水腫などで認められることが知られている。本例では閉塞性細気管支炎に伴う末梢肺の換気障害により、この領域に二次性の血流低下がもたらされ、末梢肺組織が重なり合う葉間裂で強調されるため本サインを呈したものと考えられる¹¹⁾。肺葉間裂に沿う特色のある血流欠損を見逃さないよう注意深い読影が望まれる。

7. 肺血流シンチグラムの幅広い応用

簡便なMAA肺血流シンチは、肺血栓塞栓症に対する血栓溶解療法、肺動静脈瘻に対する塞栓療法、肺動脈閉鎖症に対するBlalok-Taussig手術、肺高血圧症に対する肺動脈拡張剤投与などの治療効果評価に有用である。ただし、複雑心奇形や肺動脈閉鎖症では投与ルート(右または左肘静脈あるいは下肢静脈など)によりMAA肺分布が変化するため、経過観察には同一ルートから静注する必要がある。

肺血流SPECTで有効肺体積定量を評価し、肺切除術後の残存肺機能予測が行われるが、術後呼吸機能予測値(VC , FEV_1) = 術前実測呼吸機能(VC , FEV_1) × 残存肺有効体積/全

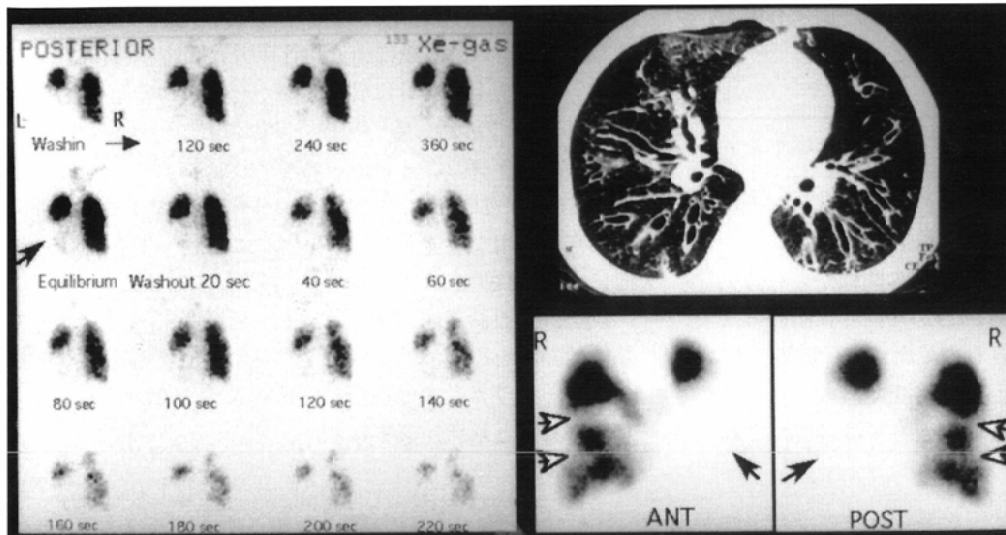


Fig. 6 A 3-year-old child with obstructive bronchiolitis after severe type 7 adenoviral pneumonia (reproduction from ref. 11). Chest CT scan shows heterogeneous hyperinflation and mild bronchiectatic changes throughout the lungs (top, right). Posterior images of ^{133}Xe ventilation scan show considerable ^{133}Xe retention throughout the lungs (left; arrows). $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA perfusion scan shows a perfusion defect along the minor pleural fissure, representative of "fissure sign" (bottom, right; white arrows).

肺有効体積として算出される^{12), 13)}。本法は肺CTによる体積評価よりも一般に相関性が高い。有効肺血流床の抽出にはしきい値の設定が重要で、さまざまな工夫がなされている^{12)~14)}。

肺換気シンチグラフィ

^{133}Xe ガス肺換気検査は、持続吸入による肺容量分布イメージに加え、洗い出し像で換気の悪い病変部を ^{133}Xe 貯留部として鋭敏に検出し種々の肺局所換気能のパラメータ[肺容量、洗い出し半減時間($T_{1/2}$: ^{133}Xe の肺洗い出し初期の比較的速い洗い出し過程を反映した指標、平均通過時間(MTT; height over area法により算出され、肺 ^{133}Xe 洗い出しの全過程を反映する指標)、換気率(λ ; 洗い出し曲線の勾配に相当する)]の定量評価も可能である。MTTと換気率(λ ; V/V)との間には $1/\text{MTT} = V/V$ の関係があり、MTTと肺容量(V)から1回換気(V)が算出される。閉塞性肺疾患やびまん性細気管支炎など、残気量の増大する疾患では、換気率(V/V)が低下するため、 ^{133}Xe 洗い出し時間は遅延し、洗い出し開始3分以降の像でも不均等な ^{133}Xe 貯留が認められる。最近では、多検出器型SPECT装置によるdynamic SPECT検査も導入されている^{15)~18)}。背臥位での正常肺では胸腔内圧較差は腹背方向に重力の影響を受け、吸気量や単位時間および単位肺容量当りの換気量は背側肺(dependent lung)で大きく、SPECT検査では ^{133}Xe の洗い出し時間($T_{1/2}$)は背側肺の方が腹側肺に比し相対に速い¹⁵⁾。

胸部CT上、肺気腫性病変は肺野低吸収域として描出されるが、空間分解能の限度のため早期病変の検出には限界がある。呼気CTを用いるとCT値変動に乏しい領域としてより鋭敏に検出されるが、肺野CT値の変動は肺胞換気のみならず血流/血流量や肺組織量の影響を受ける。Dynamic SPECT検査では、肺野低吸収域に乏しい例でも ^{133}Xe 洗い出し時間の延長が検出され、両側肺野にびまん性対称に気腫性変化が認められる例でも片寄りのある ^{133}Xe 貯留部が検出され

る。本検査は、換気が悪く過膨張傾向を有する肺組織を切除する肺容量減少術におけるターゲット肺の決定に有用である^{17), 18)}。

肺血流シンチグラフィでストライプサインを呈する喫煙肺気腫例でのdynamic SPECT検査では、肺血流が比較的保たれたストライプサインを呈した胸膜に近い肺辺縁部の ^{133}Xe 洗い出し時間は肺中心部に比較して相対に速く(Fig. 5)、この領域では肺血流のみならず肺換気能も相対に保たれていると考えられる¹⁰⁾。汎細気管支炎では、逆に肺辺縁部の ^{133}Xe 貯留が強い¹⁵⁾。dynamic SPECT検査は肺断面での肺中心部と肺辺縁部の換気能の差異の評価に有用である。

テクネガスは、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -親水性エロゾルと $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ガスの中間的肺分布を示し、閉塞性肺疾患では $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ガスよりも不均等分布が強調される。米国では最近、コスト面から $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ガス供給がストップし、換気シンチグラフィとしては ^{133}Xe ガスまたは γ 線のエネルギーの高い(172-203keV) ^{127}Xe ガスへの依存が高まっている。

非呼吸性肺機能の基礎知識と応用

核医学検査により非呼吸性肺機能評価を行う機会は少ないが、各種肺疾患の早期検出や病態の深い理解には有効な検査法である¹⁹⁾。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPAエアロゾル吸入シンチグラフィによる肺胞上皮透過性評価もその一つである。肺胞上皮の物質透過性は肺血管内皮に比較して1/10と少なく、肺胞から微小循環への物質の移動は強く制限されている。DTPAエ肺クリアランスは、喫煙肺や各種間質性肺炎、日和見感染症、ARDSなど広いスペクトルの肺疾患で亢進し早期肺障害の検出に有用である。逆にクリアランスが遅延する疾患として肺胞蛋白症があり、肺胞からの移動を制限する肺サファクタント類似物質が過剰に分泌されるためと考えられる。エアロゾル吸入シンチグラフィは、ARDSに対する合成サファクタント、喘息患者に対するサルタモールや免疫性肺疾患に対するインターフェロンなどの薬剤吸入療法

において、薬剤の肺内分布や薬剤作用時間の評価に有用である¹⁹⁾。

呼吸器疾患に関連するその他の核医学検査のワンポイント

全身性疾患であるサルコイドーシスのガリウムシンチ全身像で、パンダサイン(唾液腺と涙腺への集積)とラムダサイン(肺門縦隔リンパ節へ集積しリンパ流の関係から右傍気管リンパ節が高頻度に病変を有するため)が同時に認められる場合には、本疾患の可能性はきわめて高く²⁰⁾、胸部CTで診断に苦慮する場合には是非行うべき検査である。さらに肺病変、皮下サルコイド結節や心筋病変も鋭敏に検出され

る。骨シンチグラフィは、肺転移性石灰化症、肺気管支アミロイドーシス、咳嗽による肋骨疲労骨折(機械的ストレスに弱い液下線上の肋骨に異常集積が認められる)など胸部X線写真やCTで診断し難い疾患の診断に有用性が高い²¹⁾。リンパ節シンチグラフィは乳び胸水の原因検索に試みる価値がある²²⁾。^{99m}Tc-HSA-(D)肺出血シンチグラフィは出血部位の同定に有用な場合がある。小児や高齢者の嚥下性肺炎診断における食道シンチグラフィの有用性は高い。

以上、一般診断医に必要と思われる呼吸器核医学検査の基本的知識を総説的に解説した。日常診療で遭遇する1枚のシンチグラムに深い病態が反映されている例は多く、注意深い読影と解釈が望まれる。

文 献

- 1) Kume N, Hayashida K, Cho IH, et al: Visualization of functional improvement by I-123 IMP lung SPECT after thromboendarterectomy for chronic pulmonary thromboembolism. *Nucl Med Commu* 20: 247-253, 1999
- 2) Suga K, Ariyoshi I, Nakanishi T, et al: Clinical and experimental studies on the mechanism of abnormal accumulation in lung scanning with I-123 IMP. *Nucl Med Commun* 13: 282-289, 1992
- 3) Suga K, Nishigauchi K, Kume N, et al: Delayed restoration of lung perfusion after removal of aspirated foreign body. *Clin Nucl Med* 20: 1032-1033, 1995
- 4) Votion DM, Harmegnies NF, Lekeux PM, et al: Pulmonary perfusion redistribution in exercised horses. *J Nucl Med* 4: 325, 2000
- 5) 菅 一能, 横山 敬, 山川公子, 他: 肺塞栓症の核医学診断—Functional imageを中心として—. *画像診断* 6: 519-526, 1986
- 6) Magnussen JS, Chicco P, Palmer AW, et al: Single-photon emission tomography of a computerised model of pulmonary embolism. *Eur J Nucl Med* 26: 1430-1438, 1999
- 7) Suga K, Kuramitsu T, Yoshimizu T, et al: Scintigraphic analysis of hemodynamics in a patient with a single large pulmonary arterio-venous fistula. *Clinical Nuclear Medicine* 17: 110-113, 1992
- 8) Suga K, Kume N, Hirabayashi A, et al: Crossed cerebellar diaschisis demonstrated by brain SPECT with Tc-99m MAA in a child with intracardiac right-to-left shunt. *Clin Nucl Med* 24: 282-283, 1999
- 9) Panoutsoulos GP, Ilias I, and Christakopoulou I: Transit right-to-left shunt in massive pulmonary embolism. *Annals of Nucl Med* 14: 217-221, 2000
- 10) Suga K, Kume N, Matsunaga N, et al: Relative preservation of peripheral lung function in smoking-related pulmonary emphysema: Assessment with Tc-99m-MAA perfusion and dynamic Xe-133 SPET. *Eur J Nucl Med* 27: 800-806, 2000
- 11) Suga K, Ishikawa Y, Motoyama K, et al: Irreversible long-term pulmonary functional impairments after adenovirus type 7 pneumonia: Assessment with Xenon-133 ventilation and Tc-99m MAA perfusion studies. *Eur Radiol* 10: in press, 2000
- 12) Suga K, Nishigauchi K, Matsunaga N, et al: Three-dimensional surface displays of perfusion SPECT in the evaluation of patients with pulmonary emphysema for thoracoscopic lung volume reduction surgery. *Nucl Med Commun* 18: 719-727, 1997
- 13) 細川敦之, 田邊正忠, 佐藤 功, 他: ^{99m}Tc-MAA肺血流SPECTを用いた肺切除後残存呼吸機能の予測. *日本医放会誌* 55: 414-422, 1995
- 14) 浅田佳邦, 鈴木輝康, 藤野昇三, 他: 肺換気・血流シンチグラフィの3次元画像による局所肺機能評価—肺切除術前後の左右肺別機能変化—. *日本胸部外科学会雑誌* 45: 119-129, 1997
- 15) Suga K, Nishigauchi K, Kume N, et al: Dynamic pulmonary SPECT of xenon-133 gas washout. *J Nucl Med* 37: 807-814, 1996
- 16) Suga K, Nishigauchi K, et al: Three-dimensional surface display of dynamic pulmonary xenon-133 SPECT in patients obstructive lung disease. *J Nucl Med* 39: 889-893, 1998
- 17) Suga K, Nishigauchi K, Matsunaga N, et al: Application of three dimensional displays of dynamic pulmonary Xenon-133 SPECT in the evaluation of patients with pulmonary emphysema for thoracoscopic lung volume reduction surgery. *Eur J Nucl Med* 25: 410-416, 1998
- 18) Suga K, Tsukuda T, Awaya H, et al: Interactions of regional respiratory mechanics and pulmonary ventilatory impairment in pulmonary emphysema: Assessment with dynamic MRI and Xenon-133 SPECT. *Chest* 117: 1646-1655, 2000
- 19) Suga K, Mitra A, et al: Effect of inhaled surfactant on pulmonary deposition and clearance of technetium-99m DTPA radioaerosol. *J Nucl Med* 39: 543-547, 1998
- 20) 由水多津子, 菅 一能, 折橋典大, 他: サルコイドーシスのGa-67シンチグラフィの検討—Lambda & Panda signを中心に—. *核医学* 28: 1151-1157, 1991
- 21) Suga K, Nishigauchi K, Arita T, et al: Bone scintigraphy in three patients with cough related stress fractures of ribs. *The Bulletin of the Yamaguchi Medical School* 39: 49-54, 1992
- 22) Suga K, Kume N, Hara A, et al: Abnormal lymphatic flow demonstrated by lymphoscintigraphy in chylothorax correlation with lymphography. *Clin Nucl Med* 24: 716-727, 1999