



Title	133Xeガス肺換気シンチグラフィの臨床適応
Author(s)	本田, 憲業; 町田, 喜久雄; 細野, 眞
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(5), p. 237-242
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14781
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

^{133}Xe ガス肺換気シンチグラフィの臨床適応

本田 憲業 町田喜久雄 細野 眞

埼玉医科大学総合医療センター放射線科学教室

Clinical Application of ^{133}Xe Ventilation Scintigraphy

Norinari Honda, Kikuo Machida
and Makoto Hosono

Xenon-133 ventilation scintigraphy provides three sets of scintigrams: wash-in, equilibrium, and washout images. Krypton-81m or $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegas can be used as alternatives depending on their physical characteristics and the purpose of scintigraphy. Xenon-133 scintigraphy is compatible with SPECT when a multi-detector gamma camera is used.

Ventilation images are analyzed by the height/area method to calculate regional lung volume and the mean transit time of the posterior planar view.

If perfusion scintigraphy is done during the same examination, a ventilation/perfusion ratio image is also obtained. Factor analysis is applicable to the washout phase and permits a more detailed depiction of uneven ventilation. Series of consecutive SPECT during washout (dynamic SPECT) visualize ventilation in cross section and provide three-dimensional images of regional lung volume and poorly ventilated areas.

A major indication for ^{133}Xe scintigraphy is acute pulmonary thromboembolism (PTE) when used in combination with perfusion scintigraphy. The scintigraphic diagnosis of PTE is not inferior to that of contrast-enhanced helical CT, although the latter was initially reported to have higher sensitivity and specificity than scintigraphy.

Other important indications are differentiation between primary pulmonary hypertension and chronic pulmonary thromboembolism, and the prediction of postoperative pulmonary function.

Ongoing trials are attempting to create functional images of ventilation by CT or MRI, both of which may become rivals of scintigraphy because of their higher image resolution.

Research Code No.: 722

Key words: Xenon-133, Scintigraphy, Ventilation,
Pulmonary embolism

Received Jan. 16, 2000

Department of Radiology, Saitama Medical Center, Saitama Medical School

本論文は第35回日本医学放射線学会秋季臨床大会(1999年10月)の教育講演:呼吸器核医学において、「 ^{133}Xe -gas」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

〒350-8550 埼玉県川越市鴨田辻道 1981

埼玉医科大学総合医療センター放射線科

本田 憲業

はじめに

換気シンチグラフィはわが国の核医学検査のなかでは比較的頻度の少ない検査であり、 ^{133}Xe ガス使用量は体内診断用放射性医薬品総使用量の約2.2%にすぎない¹⁾。しかし、わが国人口の高齢化や環境悪化に伴い予想される慢性肺疾患の増加、現実に観察されている肺癌の増加²⁾に伴い、今後の検査数の増加が見込まれる領域である。将来の検査増加に備え、 ^{133}Xe 換気シンチグラフィの実際的方法および解析法の現状をまとめ報告する。放射線診断学を主たる業務とする放射線科医を対象に記述する。

換気シンチグラフィ製剤の特徴

我が国で健康保険の適用があり、容易に使用できる換気シンチグラフィ用放射性医薬品は、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegas、 ^{133}Xe ガス、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ガスの3者である。これらにはそれぞれの特徴があり、検査法やシンチグラム所見の解釈が異なる。すなわち、検査目的に応じて使い分ける必要がある。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegasは、主として粒子径50nm以下の、炭素の超微粒子からなるエアロゾルであり³⁾、後2者が真の気体であるのとは根本的に異なる。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegasは専用の発生装置と付属する吸入回路があれば、どの核医学施設でも使用可能である。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレータから溶出した過テクネ酸溶液を付属の炭素製のつば内で乾固させ、発生装置に装着し、電気加温して生成させる³⁾。これを肺活量呼吸、または、安静換気にて吸入し、肺内に沈着させる。専用の使い捨て吸入回路を使用すれば、検査室の汚染を最小限にする事ができる。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレータさえあれば、昼夜を問わず使用可能で、その生成と投与が簡便であるのが大きな利点である。いったん肺に沈着した後は、肺内分布は変化しないので⁴⁾⁻⁷⁾、換気分布の“フリーズ”像が撮影できる。たとえば、座位での吸入分布をSPECT(通常仰臥位でしか撮影できない)で、観察できる特徴がある。座位と仰臥位では換気分布は肺の静水圧により異なり⁸⁾、座位や立位での換気分布を断層像で検索するのが目的の場合に、他に得がたい利点となる。

^{99m}Tc -Technegasは閉塞性換気障害の強い例では点状の高集積を生じ、さらに、その末梢側は集積低下を示すことがあり^{4)~7)}、肺内換気を反映できなくなるのが欠点である。

^{99m}Tc -Technegasの分布の不均一性をフラクタル解析で分析し疾患重症度の定量判定に使用する試みがあり⁹⁾、この性質は利用法によっては必ずしも欠点ではない。しかし、閉塞性換気障害を有する患者で、できるだけ正確な換気の機能図を得たい場合には、他の放射性医薬品を選択すべきである。

^{133}Xe ガス、 ^{81m}Kr ガスは、いずれも真の気体である。前者は検査所要時間に比し半減期(5.24日)が充分長いので、一回吸入像・平衡像・洗い出し像の3者が撮影できる。 ^{133}Xe ガス一回吸入像では、放射能の低い部分が相対的低換気領域である。 ^{133}Xe ガス洗い出し像では、洗い出し遅延部位(相対的高集積部位)が低換気部である。 ^{133}Xe ガス平衡像は、換気分布を示す画像でなく、局所肺気量(=肺の局所にしめる気腔部分の割合)を反映する画像である。

呼吸により室内に ^{133}Xe ガスが排気されると室内の放射能汚染を起こすのでこれの制御のため、Xeガス投与・回収装置(Xeガスコントロール装置)の使用が便利である。SPECT撮影は多検出器型ガンマカメラを使用すれば、可能である。

^{133}Xe は常時検査室に予備を用意しておけば、夜間や緊急の使用が可能であるが、症例の少ない施設(わが国のほとんどすべての施設はこれに該当する)では無駄が多く、事実上不可能である。

^{81m}Kr ガスは、検査所要時間に比し半減期がきわめて短い(13秒)ので、上記のような3種類の撮影は不可能である。撮影時間を通して、安静換気下に持続吸入させながら撮影し、換気画像が得られる。集積低下部位が相対的換気低下部位である。半減期が非常に短いので、呼吸による検査室空気の汚染は容易に対処できる。通常、患者の呼吸がガンマカメラの視野に入らぬよう、患者や検査者に当たらぬよう、送風機で吹き飛ばす程度で充分である。 ^{81m}Kr ガスの分布は持続吸入下の平衡状態で換気を近似的に反映するとされる¹⁰⁾。頻呼吸で近似が悪くなる欠点がある。酸素吸入用の鼻カニューラによる持続吸入では吸気の最初に ^{81m}Kr ガスが多く吸入され、常に同じ濃度で吸入されず、さらに近似を悪化させる。しかし、いずれも換気シンチグラフィの有効性を損なうほどでないと考えられている。

^{81m}Kr ガスはジェネレータで供給されるが、親核種の半減期も短い(^{81}Rb , 4.6時間)ので、予約検査が主で、緊急時の対応には向いていない。

^{81m}Kr の少量を種々の肺気量位(RV, FRC, TLC近傍)でボラス投与すると各肺気量における換気分布を視覚化でき、肺の圧-容量曲線の状態を推測することができる¹¹⁾。

エアロゾル状の放射性医薬品を用いて、換気シンチグラフィが施行可能であるが、前述の ^{99m}Tc -Technegasを除き、健康保険の適応はなく、研究目的でのみ使用される。エアロゾルの粒子径が肺内沈着パターンに決定的影響を与えるのでネブライザーの仕様・性能を確認すること、呼吸中に

排気されるエアロゾルの捕捉装置を設けること、に注意が必要である。放射性医薬品には、 ^{99m}Tc -DTPAエアロゾル、 ^{99m}Tc -ヒト血清アルブミン、等がある。エアロゾルの粒子径が $1\mu\text{m}$ 以下であれば肺胞に沈着するとみてよい。

^{133}Xe 換気シンチグラフィ施行上の注意

検査中に回路が予定外に開放されるのを極力避けるため、被験者の協力が絶対に必要である。苦しくなっても、フェイスマスク、または、一組のマウスピースと鼻クリップを、絶対顔面から離さず安静呼吸に移行すればよいことを教育すること、フェイスマスクなどを装着した状態で検査前にリハーサルを行うこと、呼吸停止可能時間をリハーサル中に確認しておくこと、がスムーズな検査に必要である。必要に応じて(機能画像の作成など)、引き続き血流シンチグラフィを行う。この血流シンチグラフィ後、再度換気シンチグラフィを撮影する報告もある^{12),13)}が、予備の ^{133}Xe の用意が経済的に困難なため、筆者らには経験はない。

一回吸入相・平衡相・洗い出し相の経時的撮影に必要な、回路の切り替え、排気される ^{133}Xe の処理には、Xeガスコントロール装置を使用するのが能率的である。同装置から ^{133}Xe ガス(370-740MBq)を外気とともに一回吸気で最大吸気位まで吸入させ、呼吸停止を行い、後面像を撮影する。撮影中に閉鎖回路に切り替える。ついで安静呼吸で平衡に達しさせる。安静呼吸3~5分で平衡に達したとみなすのが通例であるが、閉鎖回路内の放射能がモニタ可能なら、この放射能が一定になったとき平衡に達したと判定する方が、正確である。換気障害の高度な患者ほど、平衡に達するのに時間がかかるので、回路内の放射能をモニタするのが望ましいと筆者らは考えている。

平衡を確認後、後面像を撮影し終えたら、回路を開放して新鮮外気を吸入し、呼吸はガス貯留バッグに導く。この過程を経時的に撮影する。機能画像の作成のためには、引き続き血流シンチグラフィを行い、一連の撮影をすべて後面像とするのがよい。肺血栓塞栓症の診断目的には、平衡相・洗い出し相で左右の後斜位像を撮影しておく。

^{133}Xe 換気シンチグラフィの解析

1. 換気・血流のパラメータ機能画像の作成

洗い出し像を用いて、局所換気機能指標の計算が可能である。平衡時の局所放射能(各画素のカウント)は、そのまま局所肺気量の指標(V)である。各画素ごとに時間放射能曲線を描き、洗い出し相にheight/area法を適応して換気率と、その逆数である平均通過時間(mean transit time, MTT)を各画素ごとに求める。

引き続き、 ^{99m}Tc 大凝集アルブミン(MAA)肺血流シンチグラフィを施行すると、換気/血流比画像が作成可能である(Fig. 1)。 ^{99m}Tc -MAAの後に ^{133}Xe を投与する事は、ガンマ線

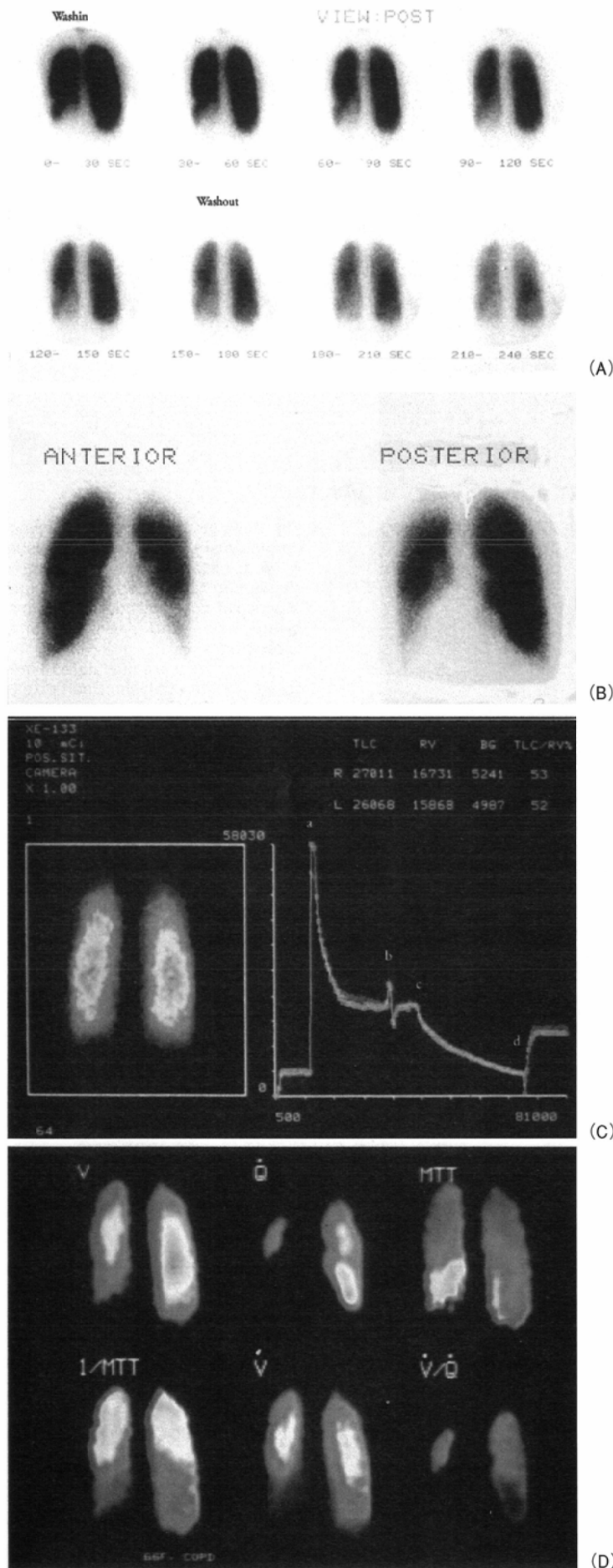


Fig. 1 Height/area method. A: ^{133}Xe scintigraphy begins with a single breath inhalation and breath-holding (left upper image), with subsequent rebreathing in a closed circuit to reach equilibrium (second line, left image). Finally, the circuit is opened and washout images are taken. Perfusion scintigraphy (B) is obtained next. Time-activity curves of both lungs are generated (C).

Peak *a* is due to activity from inhaled ^{133}Xe , and peak *b* to residual volume (RV)-to-total lung capacity (TLC) breath to measure RV/TLC. Decline from peak *a* represents the dilution of ^{133}Xe in a closed circuit. Peak *c* denotes the start of washout (circuit open). Trough *d* represents the end of ventilation scintigraphy and injection of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA. Functional images obtained by the height/area method are calculated as regional lung volume (upper left), regional perfusion (upper middle), mean transit time (MTT, upper right), $1/\text{MTT}$ (lower left), regional ventilation (lower middle), and ventilation/perfusion ratio (lower right).

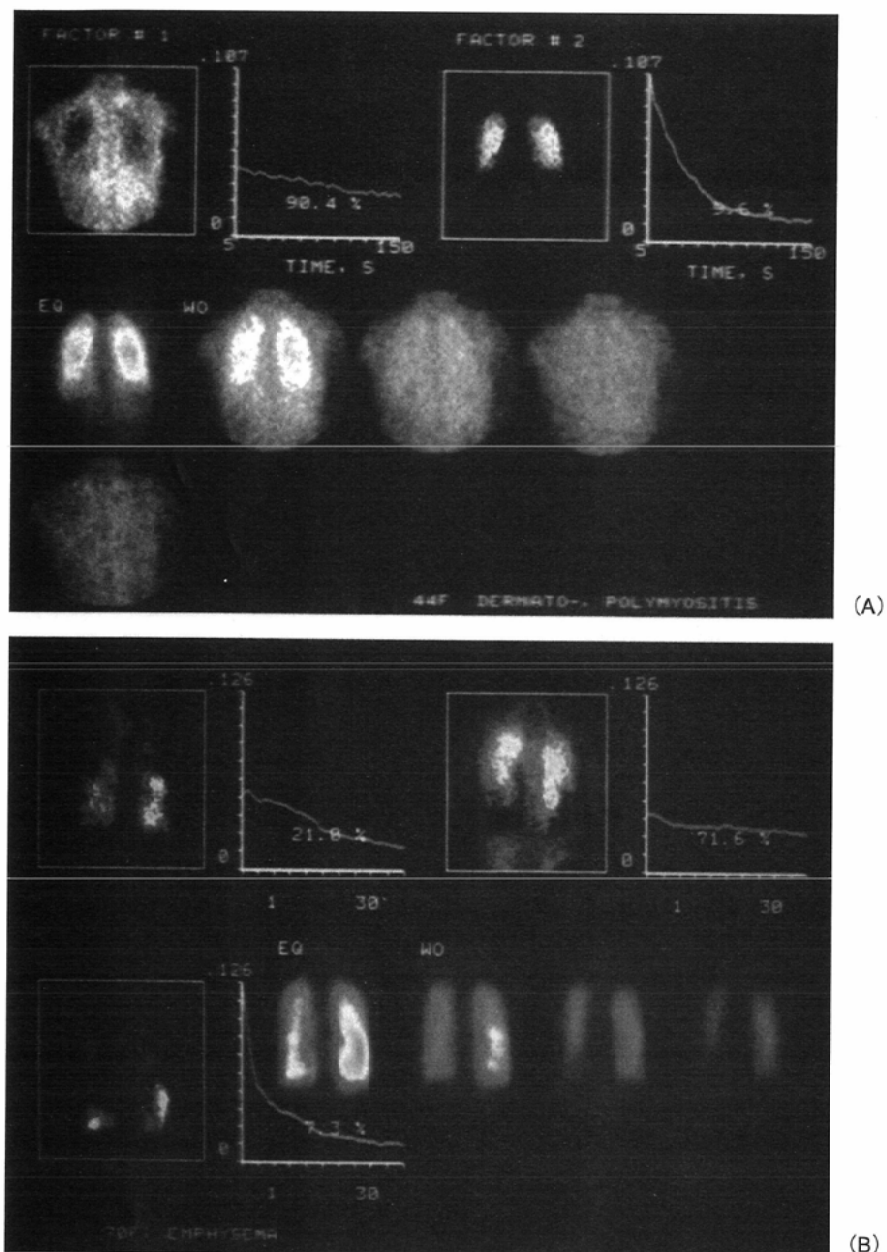


Fig. 2 Factor analysis of ^{133}Xe washout. A: normal washout, B: abnormal washout. A: A 44-year-old woman with dermatomyositis shows normal washout as evaluated by inspection of serial washout images (middle and lower panels) and also by factor analysis (upper panel).

Two curves were calculated time-activity curves by the analysis. Each pixel value of images left of the curves was a coefficient denoting the contribution of the curves to the real washout curve of the pixel. Factor #1 (upper left pair of curve and image) represents background because the curve shows a markedly slow decline, and the image shows that this curve was mainly seen in chest wall and liver. Factor #2 (upper right pair) represents lung. B: A 70-year-old woman with chronic bronchitis. Delayed washout was seen in the right lower lung by examination of the serial washout images (lower panel).

Factor analysis revealed more inhomogeneous washout. Slow washout as in factor #1 (upper left pair), very slow washout nearly equal to background (upper right pair), and rapid washout (lower left pair) are shown.

エネルギー(80keV)が低いため、通常行われない。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の散乱線が ^{133}Xe の収集ウィンドウに干渉し、 ^{133}Xe シンチグラムの画質が不良になるからである。

2. 洗い出し相の因子分析¹⁴⁾

洗い出し相に、経時データ用に特殊化した因子分析を行えば、洗い出しの遅延部位と遅延した洗い出し曲線の形状が求められる(Fig. 2)。洗い出し遅延部位が、画像の視診によるよりも明瞭に観察でき、観察者間変動を減少できる利点がある。

3. 洗い出し相のdynamic SPECT

SPECT撮影装置が最近、多検出器型が主流となり、30秒程度で一回のSPECTデータ収集が可能となった。この機能を利用し、平衡相から洗い出し相にかけてSPECT撮影を経時的・連続的に複数回行い、洗い出しをSPECT像で観察す

る試みが行われるようになった。SPECT像の利点を活かし、これらのデータから、肺気量や洗い出し遅延部の3次元画像が得られている^{15),16)}。

換気シンチグラフィの適応

血流シンチグラフィと併用し、急性肺血栓塞栓症(PTE)の診断に供するのが最も重要な適応である。診断の特異度を高めるため、血流シンチグラフィのみでなく、換気シンチグラフィを加えることが絶対に必要である。わが国では、血流シンチグラフィのみの施設が多いようであるが、この場合、慢性閉塞性肺疾患、喘息などによる多発性血流欠損とPTEとを区別できない。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA血流シンチグラフィを先行させると、同日に ^{133}Xe 換気シンチグラフィを施行する

Table 1 PIOPED改訂強化診断基準¹⁷⁾

高可能性 (有徴正診率 > 80%)
—2 個以上の大ミスマッチ欠損
—1 個の大ミスマッチ欠損および 2 個以上の中ミスマッチ欠損
—4 個以上の中ミスマッチ欠損
中可能性 (20~80%)
—1 個の中ミスマッチ欠損から 2 個未満の大ミスマッチ欠損まで
—下肺野の 3 重マッチ
—1 個の中一致欠損で胸部X線写真で同部位正常
—少量胸水を伴う一致欠損
—他の区分のいずれにも入らぬもの
低可能性 (10~20%)
—多発性一致欠損で胸部X線写真で同部正常の場合
—上肺野または中肺野の 3 重一致
—大量胸水 (胸郭の1/3以上) を伴う一致欠損
—肺野陰影よりもかなり小さい、あらゆる血流欠損
—stripe signを有する血流欠損
—4 個以上の小血流欠損で胸部X線写真で同部位正常
—非区域性欠損 (心拡大、拡張した肺門臓、大動脈による圧痕)
超低可能性 (10%以下)
—3 個以下の小血流欠損で胸部X線写真で同部位正常
正常
—胸部X線写真と一致した肺の形状で、欠損がない

注) 欠損の大きさ:

大—区域の75%以上の大きさ,
中—25-75%,
小—25%以下,
大きさの指定ないものは大きさ不問

欠損の種類:

ミスマッチ欠損—血流低下・欠損部位で換気正常、かつ、胸部X線で同部の肺野は正常。
一致欠損—換気と血流シンチグラフィ両者の所見が一致
3 重一致—換気・血流ともに低下・欠損しており、胸部X線写真で同部に陰影あるもの
血流欠損—換気シンチグラフィ所見不問

ことが困難になるので、換気シンチグラフィを先行させるべきである。^{99m}Tc-Technegasを使用する場合も、換気シンチグラフィを先行させる必要がある。^{81m}Krを使用すれば 2 核種同時収集法を使用して同時検査が可能である¹⁷⁾。血流シンチグラフィのみを施行して正常であった場合は、PTEは否定できるので、換気シンチグラフィは必要ない。臨床症状・検査情報などからPTEの可能性が低い場合にはこのような検査戦略が可能であるが、一般的にこれらの情報のみでPTEの可能性を推測・診断するのは困難である。胸部X線写真も必要である。胸水・心拡大・肺門の形状・肺野の異常陰影の有無、などとシンチグラムとを比較する。

多発性の区域性ミスマッチ欠損を証明すればPTEの診断が可能である。血流シンチグラフィで欠損を認める部位が、胸部X線写真および換気シンチグラフィで正常であり、2 区域以上あれば、肺塞栓と診断する。Table 1に改訂PIOPED診断基準¹⁸⁾を示す。Table中の可能性の数値は、PIOPEDの前方調査研究データ¹⁹⁾から得られている。

換気と血流シンチグラフィはPTE診断の最初に行うべき重要な診断法であったが、造影ヘリカルCTが本症の診断に有効とする論文²⁰⁾が発表された。prospective studyでもシンチ

グラフィを凌ぐ感度・特異度が報告²¹⁾され新しい診断法として脚光を浴びたが、最近、造影ヘリカルCTの診断能は感度 60~53%, 特異度81~97%との報告²²⁾が提出された。これは従来の換気/血流シンチグラフィの診断能²³⁾と大差なく、いまだシンチグラフィは重要な診断法であると考えられる。シンチグラフィの利点は、治療効果判定に全体像がつかみやすいこと、欠損の大きさから重症度の判定が容易である、ことである。ヘリカルCTでは亜区域枝より末梢の塞栓の診断は困難であるが、シンチグラフィにはそのような制限はない。

慢性血栓塞栓症と原発性肺高血圧症の鑑別に換気・血流シンチグラフィが有用である²⁴⁾。慢性血栓塞栓症は急性の症状のあるものと、進行性の呼吸困難を主訴とし原発性肺高血圧症と区別のつかないものがある。わが国では後者が多い²⁵⁾。慢性血栓塞栓症は手術により治療可能であるので、原発性肺高血圧症との鑑別は極めて重要である。原発性肺高血圧では、多発性の一致欠損に加え、しばしば逆ミスマッチが認められる²⁴⁾が、慢性肺血栓塞栓症は、PTE同様、多発性ミスマッチ欠損が特徴である²⁵⁾。

肺手術後の肺機能予測

シンチグラフィを用いれば術後の残存肺機能予測が簡便に施行できる。術前の肺機能測定値(1秒量および肺活量)に、シンチグラフィで得られた、残存予定部のカウントと全肺のカウントの比を乗じて予測する。シンチグラフィは換気、または、血流のいずれであってもよい。予測1秒量800ml以下では術後呼吸不全が高率に生じるとされる²⁶⁾。

換気機能画像の将来

シンチグラフィ以外の換気や血流の定量機能画像²⁷⁾⁻²⁹⁾が研究されている。これはシンチグラフィの低い解像力を克服しようとする試みである。いずれも研究途上であり、今後の発展が待たれる。

文 献

- 1) 社団法人日本アイソトープ協会：放射線医薬品流通統計，p 3，1999，日本アイソトープ協会，東京
- 2) 日本統計協会：厚生統計要覧 平成10年版，p 52，1998，日本厚生統計協会，東京
- 3) Burch WM, Sullivan PJ, MacLaren CJ: Technegas-a new ventilation agent for lung scanning. Nucl Med Commun 7: 865-871, 1986
- 4) 川上健司，岩村 登，後藤英介，他：^{99m}Tcテクネガスの基礎的検討と臨床応用。核医学 27: 725-733，1990
- 5) 井澤豊春，手島健夫，穴沢予識，他：超微粒子放射性エロソール(テクネガス)による吸入肺シンチグラフィ。核医学 27: 1273-1280，1990
- 6) 井上登美夫，渡辺直行，織内 登，他：^{99m}Tc-テクネガスによる肺シンチグラフィの臨床的有用性に関する検討。日本医放会誌 50: 1590-1600，1990
- 7) 分校久志，瀬戸幹人，久慈一英，他：テクネガスによる肺換気イメージング。核医学 28: 229-239，1991
- 8) 本田憲業：肺の解剖と生理。久田欣一監修，利波紀久，久保敦司編著：新臨床核医学，288-294，1999，金原出版，東京
- 9) Nagao M, Murase K, Yasuhara Y, et al: Quantitative analysis of pulmonary emphysema: Three-dimensional fractal analysis of single-photon emission computed tomography images obtained with a carbon particle radioaerosol. AJR 171: 1657-1663, 1998
- 10) Fazio F, Jones T: Assessment of regional ventilation by continuous inhalation of radioactive krypton-81m. Br Med J 3: 673-670, 1975
- 11) 檜林 勇：放射性ガスによる肺換気・血流シンチグラフィ。久田欣一監修，利波紀久，久保敦司編著：最新臨床核医学，305-319，1999，金原出版，東京
- 12) Jacobstein JG: Xe-133 ventilation scanning immediately following the Tc-99m perfusion scan. J Nucl Med 15: 964-968, 1974
- 13) Kipper MS, Alazraki N: The feasibility of performing Xe-133 ventilation imaging following the perfusion study. Radiology 144: 581-586, 1982
- 14) 本田憲業，町田喜久雄，間宮敏雄，他：Xe-133肺換気シンチグラム洗いだし相の因子分析による不均等換気の診断。核医学 26: 507-513，1989
- 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, Kume N, Shimizu K, et al: Evaluation of abnormal regional ventilation in patients with lung cancer using three-dimensional display of dynamic 133Xe SPECT. Nucl Med Commun 19: 593-598, 1998
- 17) 本田憲業，町田喜久雄，間宮敏雄，他：2核種同時収集による肺のKr-81m肺換気/^{99m}Tc-99m大凝集アルブミン血流SPECT，および，換気/血流比画像の作成。核医学 30: 789-794，1993
- 18) Gottschalk A, Sostman HD, Coleman RE et al: Ventilation-perfusion scintigraphy in PIOPED study: Evaluation of the scintigraphic criteria and interpretations. J Nucl Med 36: 1119-1126, 1993
- 19) PIOPED Investigators: Value of the ventilation/perfusion scan in acute pulmonary embolism. JAMA 263: 2753-2759, 1990
- 20) Remy-Jardin M, Remy J, Wattinne L, et al: Central pulmonary thromboembolism: diagnosis with spiral volumetric CT with the single-breath-hold technique-comparison with pulmonary angiography. Radiology 185: 381-387, 1992
- 21) Mayo JR, Remy-Jardin M, Muller NL, et al: Pulmonary embolism: prospective comparison of spiral CT with ventilation-perfusion scintigraphy. Radiology 205: 447-452, 1997
- 22) Drucker EA, Rivitz SM, Shepard J et al: Acute pulmonary embolism: assessment of helical CT for diagnosis. Radiology 209: 235-241, 1998
- 23) Freitas JE, Sarosi MG, Nagle CC, et al: Modified PIOPED Criteria Used in Clinical Practice. J Nucl Med 36: 1573-1578, 1995
- 24) Engeler CE, Kuni CC, Tashjian JH, et al: Regional alterations in lung ventilation in end-stage primary pulmonary hypertension: correlation between CT and scintigraphy. AJR 164: 831-835, 1995
- 25) 国枝武義：慢性肺血栓塞栓症の診断と治療。日本呼吸器学会誌 36増刊号: 114，1998
- 26) Olsen GN, Block AJ, Swenson EW et al: Pulmonary function evaluation of the lung resection candidate: a prospective study. Amer Rev of Respir Dis 111: 379-387, 1975
- 27) Honda N, Machida K, Takahashi T, et al: Ventilation SPECT is superior to CT ventilation map by non-radioactive xenon inhalation. J Nucl Med 40: 197, 1999
- 28) Edelman RR, Hatabu H, Tadamura E, et al: Noninvasive assessment of regional ventilation in the human lung using oxygen-enhanced magnetic resonance imaging. Nat Med 2: 1236-1239, 1996
- 29) Osada H, Machida K, Honda N, et al: Quantification of regional pulmonary blood flow using Tc-99m MAA SPECT and cine phase contrast MR angiography. J Nucl Med 40: 195, 1999