

《原 著》

ガンマ線 transmission computed tomography を併用した肺血流分布測定

前田 尚利* 伊藤 春海* 石井 靖* 向井 孝夫*
藤堂 義郎* 湊 小太郎* 藤田 透* 鳥塚 菁爾*

要旨 ^{99m}Tc 平板線源によるガンマ線 transmission computed tomography (TCT) を用いることにより胸郭の輪郭像を得ることができた。 ^{99m}Tc 人巨大凝集アルブミン (MAA) による肺血流分布の single photon emission computed tomography (ECT) 像を、胸郭の TCT 像とコンピューターを用いて重ね合わせ、肺の辺縁での血流欠損を明瞭に描き出すことができた。TCT と ECT を併用する方法 (T-ECT 法) は、胸膜側よりの血流分布異常の診断上有用であると考えられた。

本法を肺線維症、慢性気管支炎、血管炎、硅肺、サルコイドーシス、心疾患、肺炎、卵巣腫瘍の12例に対して応用し、6人の放射線科医による4方向からの通常肺シンチグラムの読影結果と比較した。診断結果は、全体の約8分の3に不一致を見た。内訳は、単純肺シンチグラムで欠損「あり」としたが、本法では欠損が認められなかつたものがそのうちの約3分の1、逆に本法で欠損があったにもかかわらず、単純肺シンチグラムからは「なし」としたものが残りの約3分の2に認められた。これらの診断については今後症例を重ねて行くことが必要と考えられた。

I. はじめに

微小粒子の塞栓による肺血流シンチグラムは血流分布の非侵襲的検査法で、肺塞栓の診断に有用である。近年開発された single photon emission computed tomography (ECT) を用いた肺血流分布の横断々層表示は、多方向からの通常肺血流シンチグラムに較べ病的変化の把握に優れている。局所肺血流分布異常は隣接正常部との比較、もしくは区域変化より診断される。通常の肺血流シンチグラムおよび ECT のみからは肺の外縁が不明であるため、胸膜に接した肺の前後、および外側、横隔膜上での血流分布異常の検出は困難である。肺の輪郭像と、肺血流シンチグラムの重ね合せの

像を得ることができれば、肺辺縁部での血流異常が明確になり、診断に役立つと考えられる。この目的で我々は ^{99m}Tc 平板線源を用いた Transmission computed tomography (TCT) 装置を考案した。TCT と ^{99m}Tc -MAA (人巨大凝集アルブミン) による肺血流分布の ECT 画像の重ね合せを行うことにより、胸膜側の血流分布異常の抽出に有用であったので、その成績について報告する。

II. 方法および対象

1) 装 置

回転リングに取りつけられたガンマカメラおよび、平板線源を Fig. 1 に示す。平板線源は内径 50 cm 厚さ 2 cm のルーサイト製円形容器で、 ^{99m}Tc 30~40 mCi を含む水で充したものを用いた。

測定手順は、平板線源取付け腕に ^{99m}Tc の平板線源を装着し、被検者の体軸を中心にカメラを一回転し、TCT データを収集した。次に ^{99m}Tc -平板線源を取りはずし、 ^{99m}Tc -MAA 3~4 mCi を静

* 京都大学医学部附属病院放射線核医学科

受付：56年5月8日

最終稿受付：56年6月26日

別刷請求先：京都市左京区聖護院川原町53（番606）
京都大学医学部附属病院放射線核医学科
前田 尚利

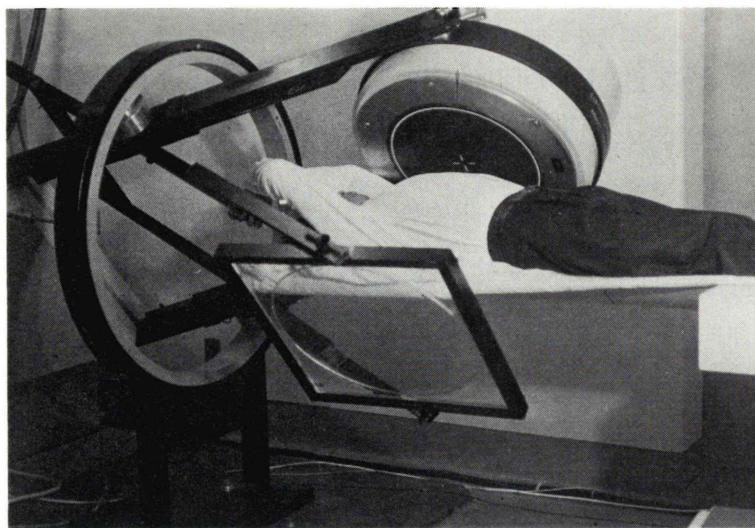


Fig. 1 Apparatus for transmission imaging. A flood source of ^{99m}Tc is set at the end of the rotating arms. It faces both to the patient and the camera.

脈投与し¹⁾、同様に肺血流シンチグラムの ECT データを収集した。この時ガンマカメラと被検者の位置関係が、TCT データ収集時と変わらないように注意を払うことが重要である。

TCT, ECT の 360 度回転によるデータ収集は、64 方向からそれぞれ 1 方向につき 10 秒間づつを行い、検査に要する時間は約 30 分であった。

各方向からの画面は、 64×64 の画素よりなり、1 画素当り $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ の大きさである。1 画素当りのカウント数は、TCT の場合体外を通過し胸郭肺での減衰を受けない場所で約 350、含気胞を含む肺野で約 70、心臓を含む中央陰影では約 40 カウントであった。一方 ECT では、1 画素当り平均 250 カウントであった。TCT 断層像再構成に関しては、X 線 CT と同様、減衰係数 μ の分布像作成のため、各画素ごとのカウント数を対数変換し、逆投影法^{2,3)}により再構成を行った。Fig. 2 a と b はそれぞれ正面からの ^{99m}Tc 平板線源による透過像と再構成された胸郭輪郭像で、上が腹側、向って右が被検者の左側に対応する。肺血流分布については ECT のデータに吸収補正を加え、逆投影法を用いた。Fig. 3 a, b は、肺 $^{99m}\text{Tc-MAA}$ による正面からの肺シンチグラム像と ECT を用い

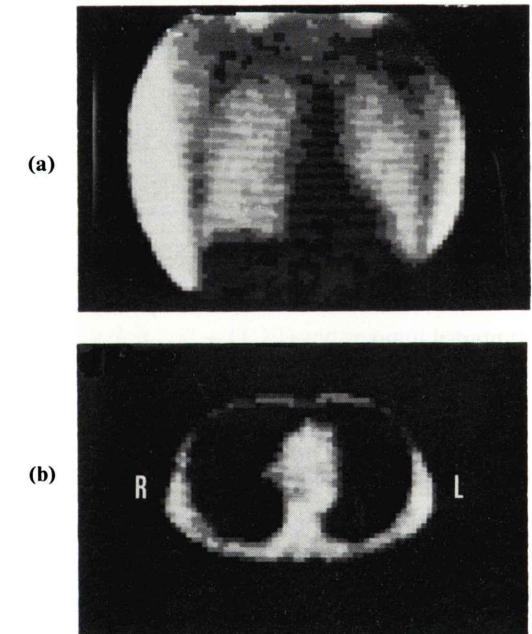


Fig. 2 Image of the transmission CT a: planar transmission image of the thorax. b: Transverse image of the thoracic cage obtained by TCT. R and L indicate the right and the left of the patient, respectively. Upper portion of the image corresponds to the anterior aspect of the patient.

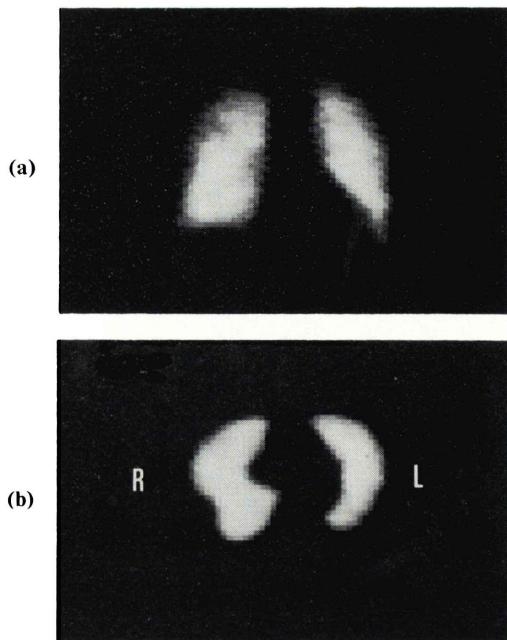


Fig. 3 Image of the emission CT a: An emission image with $^{99m}\text{Tc-MAA}$. b: Transaxial image of the pulmonary perfusion at the same level of the lung as shown in Fig. 2b.

た横断々層像を示す。TCT と ECT による画像をコンピュータで重ね合せ、肺血流分布像とそれを囲む胸郭輪郭像を同時に描き出すことができた。Fig. 2b と Fig. 3b を実際に重ね合わせた肺血流分布の横断々層面 (T-ECT 図) を Fig. 4 に示す。ECT と TCT の画像再構成に要する時間は各々 20 分づつで、画像の重ね合せは 30 秒以下で終了する。

T-ECT 像を得る際に胸郭と肺の輪郭を決定する必要が生ずるが、われわれは閾値法を用いることにより辺縁を決定した⁴⁾。胸郭ファントムに肺を模したゴム風船を接せしめ、TCT と ECT によるファントム実験を行った。その結果 TCTにおいては 20% 以下をカットし、ECT では 35% 以下をカットするのが、胸郭ファントムの内径外径の実測値と TCT における像の大きさがよく一致し、かつ胸郭ファントムと肺ファントムとの間隙の描出が実験の設定値とよい一致をみたので、以下に示す症例については全てこれらの閾値を用いた。

TCT による被爆線量は、40 mCi の平板線源を

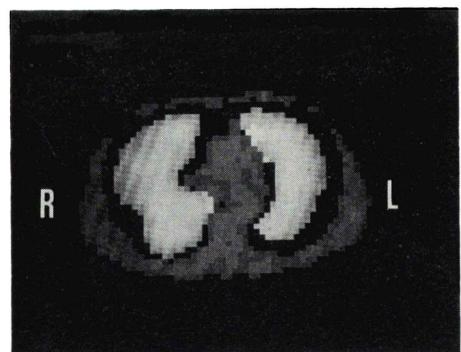


Fig. 4 Overlaid image (T-ECT) of the TCT and ECT given in Figs. 2 and 3. A wedge shaped defect on the lateral segment of the right lower lobe and the hypoperfusion along the pleural edge of the left lungs are delineated.

用いた場合、胸郭での表面測定線量率 30 mR/時であった。TCT は約 15 分で終了するので、被爆線量増加はたかだか 10 mR 程度に過ぎないと考えられた。

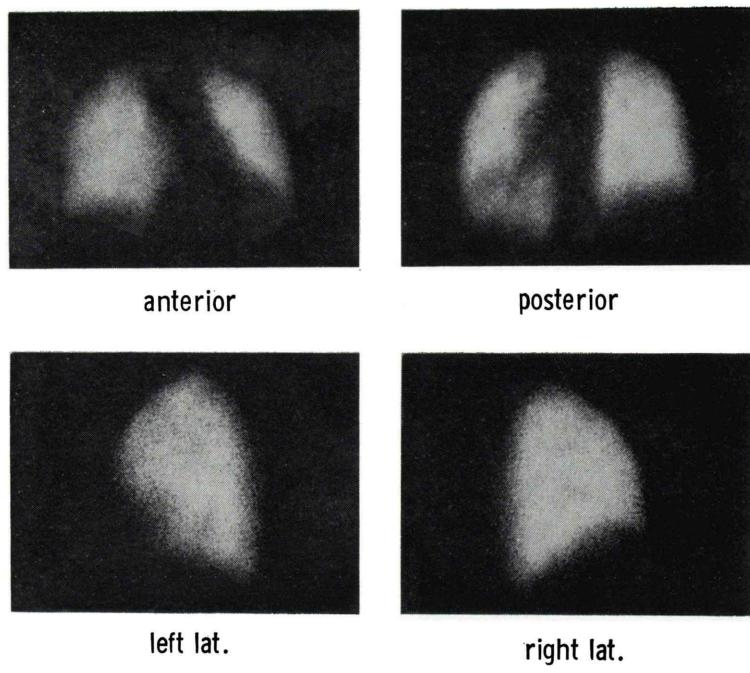
2) 検査対象

京大医学部附属病院放射線核医学科において、協力の同意を得た男女合わせて 12 症例につき T-ECT 検査を施行した。対象は男性 7 人、女性 5 人、年齢は 32 歳から 70 歳まで平均 50.6 歳で、疾患分布は膠原病に伴った肺線維症 3 例、慢性気管支炎 2 例、血管炎 2 例、硅肺、虚血性心疾患、サルコイドーシス、肺炎、卵巣腫瘍各 1 例であった。

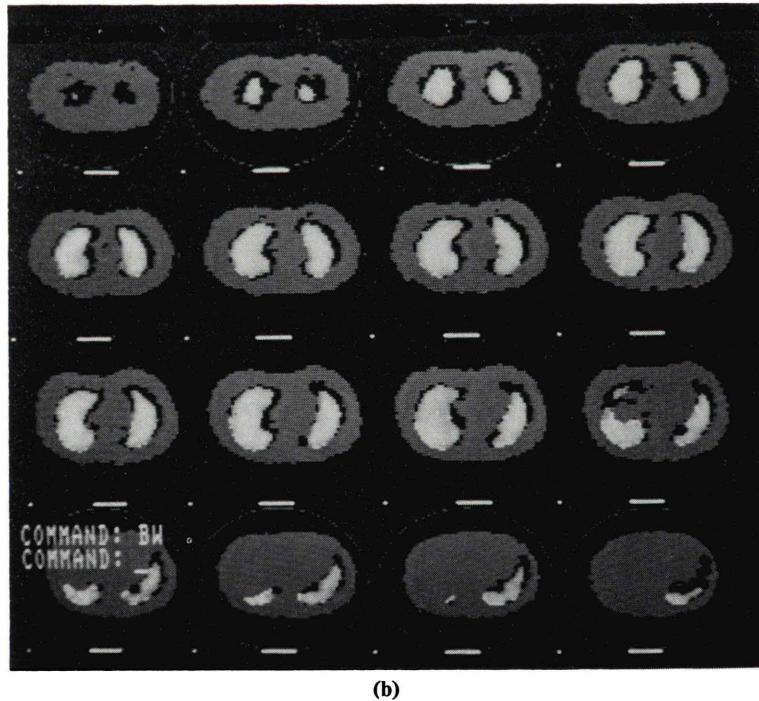
上記 12 症例につき、4 方向からの通常肺血流シンチグラムを 6 人の放射線科医が別個に、肺の胸膜側、横隔膜に接した部位での肺血流分布状態に重点をおき読影した。読影診断の後に T-ECT 像より肺辺縁の血流分布状態を再度検討した。縦隔側の血流低下については、正面、背面からの通常肺シンチグラムからの読影は困難であり、今回は比較の対象より省いた。

III. 結 果

4 症例につき、肺の各々の高さでの T-ECT 像を Fig. 5 から Fig. 8 に示す。横断々層像は上が腹側、向って右が患者の左側に対応し、各スライス巾は 1.2 cm で、上端向って左端が一番上のレベル

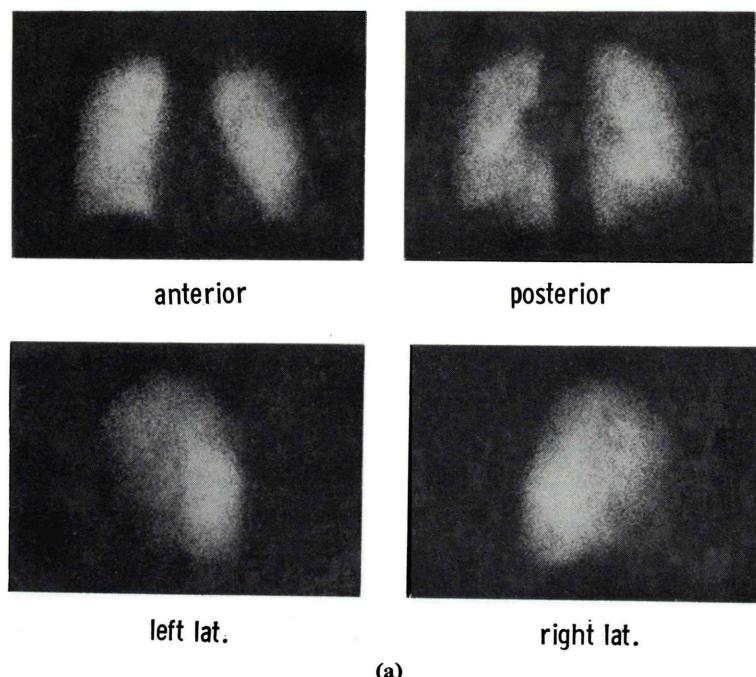


(a)

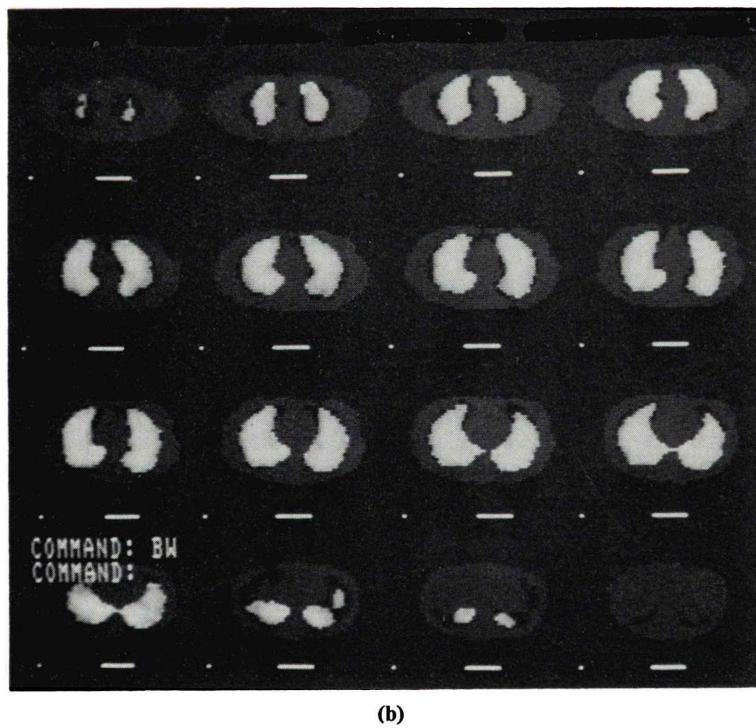


(b)

Fig. 5 Blood perfusion studies of a patient with ovarian cancer. a: Conventional ^{99m}Tc -MAA planar images from four directions. b: T-ECT images at the different levels of the lung. Each slice has 1.2 cm thickness.



(a)



(b)

Fig. 6 ^{99m}Tc -MAA scintigrams of a patient with SLE. a: Planar images of perfusion studies from four directions. b: T-ECT images of the perfusion study.

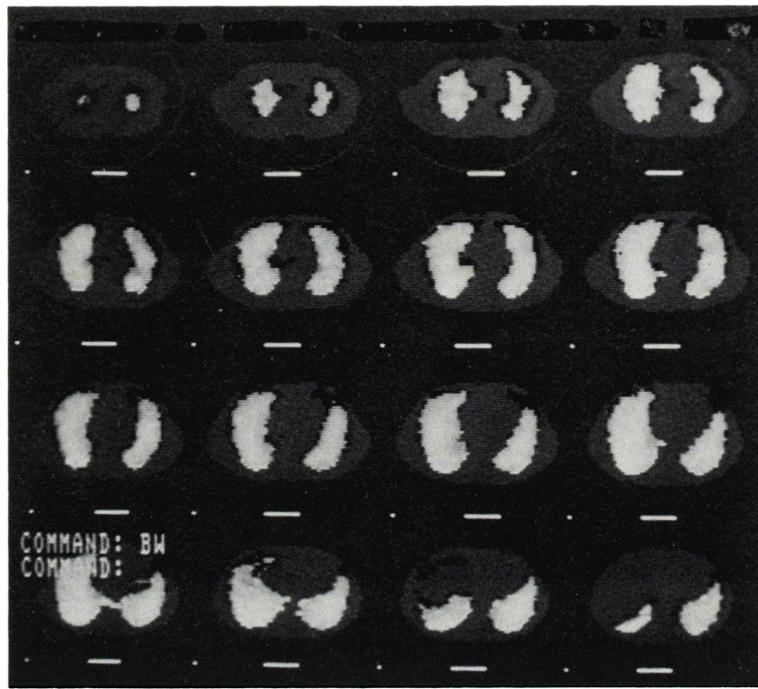


Fig. 7 T-ECT images of a patient with pneumoconiosis. Marginal hypoperfusions are observed on the lateral side of the left upper and on the middle right lobes.

で、下端右端が最下レベルに当る。

症例1：48歳女性。卵巣腫瘍

Fig. 5a は通常の肺シンチグラムを示し、ほぼ正常と考えられた。Fig. 5b は T-ECT を示し、右肺縦隔側、左 S₁₀ における縦隔に接した部位での円形血流欠損が描出された。

症例2：41歳女性。SLE に伴う肺線維症

通常の肺血流シンチグラム (Fig. 6a) では両上肺野の辺縁がやや不規則で両下肺底部、横隔膜面の血流低下が疑われた。Fig. 6b は T-ECT 像を示し上肺と下肺腹側血流低下が描出された。

症例3：46歳男性。硅肺

単純肺血流シンチグラムは正常。Fig. 7 は T-ECT 像を示し、左上肺外側、右中肺野胸膜よりにやや血流の低下が認められたが、大きな欠損は見られなかった。

症例4：69歳男性。虚血性心疾患

Fig. 8 は Fig. 2, 3, 4 で示した症例で、右 S₆ 外側の楔形の血流低下があり、左肺も lingula の外側

に広範な血流低下を認めた。S₆ の血流低下は T-ECT 施行約 2か月前に、同部に肺炎を起こしていた。

以上、通常の肺血流シンチグラムからは不明瞭であった肺辺縁の血流分布状態が、T-ECTを行うことにより、より明瞭となった例をあげた。

Table 1 から 3 は、今回検査した12症例につき単純肺血流シンチグラムと、T-ECT 像からの診断結果を比較したものである。Table 1 は肺の腹側、背側および外側の辺縁の肺血流分布の診断結果を比較したもので、単純肺血流シンチグラム、T-ECT 両者ともに血流低下「あり」としたものが 34.7% (72 読影中 25 読影, 25/72) で、ともに「なし」としたものが 30.6% (22/72) 両者の診断の一一致しなかったものが 34.7% (25/72) であった。

Table 2 は横隔膜上での肺血流分布の診断結果における両者の比較を示す。横隔膜側では、両者ともに血流低下「あり」としたものが 22.2% (16/72)、ともに「なし」としたものが 37.5% (27/72) で、

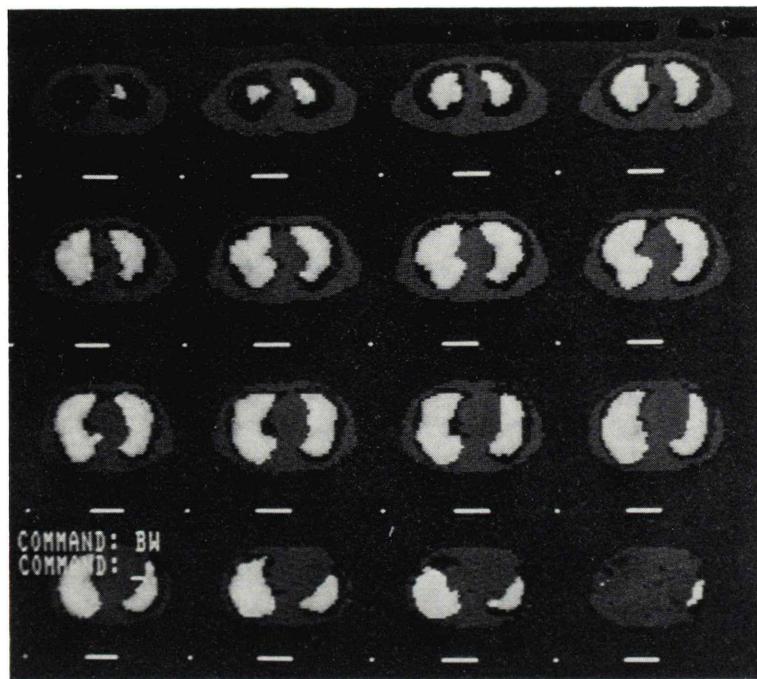


Fig. 8 T-ECT images of a patient with old pneumonia. A peripheral hypoperfusion on the lateral segment of the right middle lobe and a diffuse hypoperfusion of the lateral side of the left lung are demonstrated.

Table 1 Diagnosis of the marginal defect by two different methods (hypoperfusions on ventral, dorsal and lateral sides of the lungs)

T-ECT	plain MAA image	
	positive	negative
positive	25 (34.7)	15 (20.8)
negative	10 (13.9)	22 (30.6)

The percentages of the total readings are bracketed.

Table 2 Diagnosis of the basal defects by the two methods (hypoperfusions on the diaphragmatic side of the lung)

T-ECT	plain MAA image	
	positive	negative
positive	16 (22.2)	21 (29.2)
negative	8 (11.1)	27 (37.4)

Table 3 Diagnoses of the overall defects by the two methods

T-ECT	plain MAA image	
	positive	negative
positive	41 (28.5)	36 (25.0)
negative	18 (12.5)	49 (34.0)

40.3% (29/72) に診断結果の不一致をみた。Table 3 は、Table 1 と 2 に示されたものの合計を示す。肺血流シンチグラム、T-ECT ともに血流欠損「あり」としたもの 28.5% (41/144), 「なし」としたもの 34.0% (49/144) で、37.5% (54/144) に診断の不一致をみた。胸郭輪郭の情報に欠ける通常肺シンチグラムに比し、T-ECT の結果をより正しいと考えれば、肺腹背側、外側における通常肺血流シンチグラムによる診断は false positive が 13.9%, false negative が 20.8% となり、一方、横隔膜上の

それは11.1%と29.2%となる。全体ではfalse positiveが12.5%, false negativeが25.0%になり、縦隔側の診断率を含めれば、不一致になる率はより高くなるものと考えられる。

IV. 考案

肺血流シンチグラムにおいては、限局された血流低下の部位が隣接区域と明瞭なコントラストをもつ場合は、血流分布異常を指摘するのは困難ではない⁵⁾。しかしながら血流の低下領域が胸膜に接している症例では、臓器の境界が不明であり、胸郭と肺の境界の情報が必要となってくる。

胸郭の情報を得るには、X線CTを用いる方法⁶⁾、放射性ガスの再呼吸法による肺シンチグラムを用いる方法^{7~9)}、含気領域と胸郭部のガンマ線透過度の差を利用して胸郭輪郭像を得る方法^{10~13)}などが考えられる。X線CTの胸郭横断々層像を肺血流シンチグラムの胸膜辺縁として用いる場合、得られた胸郭画像をECT上に重ね合わせるために画像の縮尺の割合が二つの画像間で異なるため、長さと位置の補正が必要となるばかりでなく、同時に2つの検査を行うことは困難である。

放射性ガス(Kr, Xe)の再呼吸法による、呼吸領域のイメージングにおいては、同一のガンマカメラを用いるので、縮尺補正なしに肺の輪郭と肺血流シンチグラムの像を重ね合わせることが可能である。しかしながら欠点としては、必ずしも肺換気領域が肺実質を反映しているわけではなく、たとえ含気胞が存在しても、気道を通じて換気が行われなければ、ガス再呼吸肺シンチグラム上に欠損部として描出されてしまい、肺の胸郭境界の情報が得られない。また、放射性ガスを使用するので、ガス自体のもつ取り扱いの困難さが残る。

^{99m}Tc-平板線源によるTCT法は以上に述べた困難を伴わず、比較的簡単に胸部の輪郭を描き出すことが可能で、肺血流ECTと重ね合わせる事により肺辺縁の血流分布状態を知ることができる。

肺血流ECT、胸郭TCTの臓器辺縁決定法として閾値法⁴⁾を用い、それぞれの閾値を35%と20%

に決定した。これらの値が各々の場合につき最適値かどうかについては更に検討が必要であり、画像処理における新しい辺縁決定法につき現在検討中である。

Tableに示したように、本報告例の12症例について、単純肺血流シンチグラムのみからの診断と、T-ECTを用いた診断結果の間に約3分の1の高率で不一致を見、そのうち約20%がfalse negativeで、約14%がfalse positiveであった。T-ECT法による胸郭輪郭の描出には、既に述べたように肺内含気胞と胸郭部分の^{99m}Tc-140 KeVガンマ線の吸収の差を利用してある。肺が線維化、浮腫などを起して吸収が大きくなった場合TCTによっては胸郭とこれらの肺の部分との区別ができず、あるべきはずの血流欠損部がT-ECT上で消失することが考えられる。従ってfalse positiveとした部分のあるものは、上記の理由により必ずしもT-ECTによる診断が正しいとは言えない。又、本報告の全症例について^{99m}Tc-MAAは背臥位にて静注投与しており、肺血流分布の重力効果¹⁴⁾により、前胸部の血流低下の原因となっている事が考えられ、これらの問題の解決が今後の課題といえよう。

V. 結論

各種肺疾患12例の肺辺縁部血流分布異常の描出に対し、^{99m}Tc-平板線源を用いたTCTと^{99m}Tc-MAAの静注法によるECTの画像重ね合わせ法(T-ECT法)の有用性について検討を行った。

従来の4方向からの肺血流シンチグラムからの読影では肺の辺縁での血流低下が約25%の症例において見落とされ、また13%の症例で血流低下ありと診断されていたことが、T-ECT法との比較により判明した。これは縦隔側の異常を含めていないが、縦隔側の値を入れればより高率になるものと思われる。

従ってTCTと^{99m}Tc-MAAによる肺血流のECTの画像重ね合わせ法(T-ECT法)は、肺辺縁部における血流分布状態の診断にきわめて有用であると考えられる。

文 献

- 1) Wagner HN, Sabiston DC, Iio M, et al: Regional Pulmonary Blood Flow in Man by Radioisotope Scanning. *JAMA* **187**: 133-135, 1964.
- 2) Gordon RR, Herman GT, Johnson S: Image Reconstruction from Projection. *Sci Am* **133**: 56-68, 1975.
- 3) 向井孝夫, 藤田 透, 石井 靖, 他: ミニコンによる RI 断層像の合成. 映像情報 **9**: 21-27, 1977
- 4) Chang W, Henkin RE, Hale JD, et al: Methods for Detection of Left Ventricular Edges. *Sem Nucl Med* **X**: 39-53, 1980.
- 5) Burdine JA, Murphy PH, DePuey EG: Radio-nuclide Computed Tomography of the Body Using Routine Radiopharmaceuticals. II. Clinical Applications. *J Nucl Med* **20**: 108-114, 1979.
- 6) Grossman DZ, Thomas FD, Gagne G, et al: Transmission Computed Tomographic Diagnosis of Experimentally Produced Acute Pulmonary Vascular Occlusion in the Dog. *Radiology* **131**: 767-769, 1979.
- 7) Goris ML, Daspit SG, Walter JP, et al: Applications of ventilation Lung Imaging with 81m Krypton.
- 8) Fazio F, Lavender JP, Steiner R: 81m Kr Ventilation and 99m Tc Perfusion Scans in Chest Disease: Comparison with Standard Radiographs. *Am J Roentgenol* **130**: 421-428, 1978.
- 9) Short MD, Dowsett DJ, Heaf PJD, et al: A Comparison between Monodisperse Tc-99m Labeled Aerosoles and Kr-81m for the Assessment of Lung Function. *J Nucl Med* **20**: 194-200, 1979.
- 10) Bland HW: Nuclear Medicine, New York, McGraw Hill, 1971, pp 60-61.
- 11) 赤木弘昭, 福田徹夫, 関本 寛: 臨床核医学第一版, 脇坂行一, 管原 努, 鳥塚莞爾編, 南江堂舎, 東京 1981, p64
- 12) Doconinck F, Bossuyt A, Lepoudre R, et al: Dynamic Densitography and Tomography of the Breathing Lung. *J Nucl Med* **20**: 665, 1979.
- 13) Kuhl DE, Hale J, Eaton WL: Transmission Scanning: A Useful Adjunct to Conventional Emission Scanning for Accurately Keying Isotope Deposition to Radiographic Anatomy. *Radiology* **87**: 278-284, 1966.
- 14) 前田尚利, 伊藤春海, 藤堂義一郎, 他: ECT による血流分布の測定. 核医学 **18**: 487-493, 1981.

Summary

**Study of Pulmonary Blood Flow with Determination of the Pleural Edge
by Gamma-Ray Transmission Computed Tomography**

Hisatoshi MAEDA, Harumi ITOH, Yasushi ISHII, Takao MUKAI, Giro TODO,
Kotaro MINATO, Toru FUJITA and Kanji TORIZUKA

*Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University Hospital,
Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan*

A technique is described for transaxial imaging of the thorax during pulmonary perfusion study. The contours of the air-containing lungs were obtained by transmission computed tomography (TCT) of gamma rays from a 99m Tc plane flood source. The transverse images of the rib cage were overlaid on those of the emission computed tomography (ECT) of 99m Tc-macroaggregates of human serum albumin (MAA), which was injected for the perfusion study. Results of the ECT in conjunction with the ECT (T-ECT) were applied to evaluate the marginal hypoperfusions of the lungs in patients with pulmonary fibrosis, pneumonia and

other cardio-pulmonary diseases. It permitted reliable estimates of the peripheral perfusion defects.

Twelve patients were studied by this technique. The detection rates of the hypoperfusions on the pleural edges were compared between the T-ECT method and the planar 99m Tc-MAA pulmonary scintigrams. Discrepancies were found in approximately three eighths in our cases. Further investigations were considered to be necessary to improve accuracies in the diagnoses.

Key words: Transmission Computed Tomography, Emission Computed Tomography, Pulmonary Perfusion, Tc-99m MAA.