

## 《原 著》

連続回転収集機能を有する 3 検出器型 SPECT 装置を使用した  
Dynamic SPECT 像による肺局所  $^{133}\text{Xe}$  ガス洗い出し像の検討

菅 一能\*      西垣内一哉\*      久米 典彦\*      高野 勝之\*  
小池 晋司\*      松本 常男\*      松永 尚文\*

**要旨** Xenon-133 ( $^{133}\text{Xe}$ ) ガス洗い出し法は肺局所換気異常を鋭敏に検出する。しかし従来の SPECT 装置では比較的速い洗い出し過程の撮像は困難であった。今回、短時間にデータ収集が可能な連続回転収集機能(リターンモード)を有する 3 検出器型 SPECT 装置を用いて、ボランティア(6 例)および種々の肺疾患(23 例)を対象に、 $^{133}\text{Xe}$  ガスの肺洗い出し SPECT を施行し検討した。

$^{133}\text{Xe}$  (60~72 MBq/l) を閉鎖回路内で 6 分間吸入後の平衡像と引き続き開放回路として洗い出し像を連続的に 60 秒毎のデータ収集により撮像した。洗い出しの指標は平衡時の肺局所放射能が半減する時間 ( $T_{1/2}$ ) を用いた。

健常肺では洗い出しに対する重力効果が把握された。肺疾患群では拘束性肺疾患を除き全例で、胸部 X 線 CT 像の異常影の有無に関わらず、洗い出し遅延部が検出され、 $T_{1/2}$  も健常例に比し遅延していた。本検査は局所換気異常の 3 次元的把握に有用である。

(核医学 32: 51-61, 1995)

## I. はじめに

肺局所換気異常の検出において Xenon-133 ( $^{133}\text{Xe}$ ) ガスの洗い出し検査は Krypton-81m による定常状態での換気分布評価より鋭敏で、さらに定量的に半減時間や平均通過時間 (Mean transit time; MTT), 換気率などにより局所肺機能を評価できる利点を有する<sup>1-9)</sup>。

ブレイナー像による検査では多方向からの撮像は困難で体壁の放射能の影響を受けるなどの欠点があり、正確な換気障害部の把握や定量的評価のためには断層像が望まれてきた<sup>1,2,7)</sup>。しかし従来

の SPECT 装置では比較的速い洗い出し過程の画像表示は困難で<sup>1-3)</sup>、これまで洗い出し相の断層像は  $^{15}\text{N}$  ガスを用いた positron emission computed tomography (PET) 検査でのみ検討されている<sup>2,7,10-12)</sup>。

しかし最近、連続回転収集機能を有する多検出器型 SPECT 装置の登場により高分解能画像と短時間のデータ収集が可能になった<sup>13)</sup>。今回、われわれはこの機能を有する 3 検出器型 SPECT 装置を用いて  $^{133}\text{Xe}$  ガス洗い出し過程の SPECT 像の撮像を試み、さまざまな肺疾患で検討し、局所肺機能の評価に有用と思われたので報告する。

## II. 対象と方法

対象は占拠性の腫瘍性病変を有する 10 例(肺癌 7 例, 珪肺症 3 例), 閉塞性肺疾患 8 例(肺気腫 3 例, 気管支喘息 2 例, びまん性汎細気管支炎 2

\* 山口大学医学部放射線医学教室

受付: 6 年 6 月 3 日

最終稿受付: 6 年 11 月 18 日

別刷請求先: 山口県宇部市小串 1144 (☎ 755)

山口大学医学部放射線科

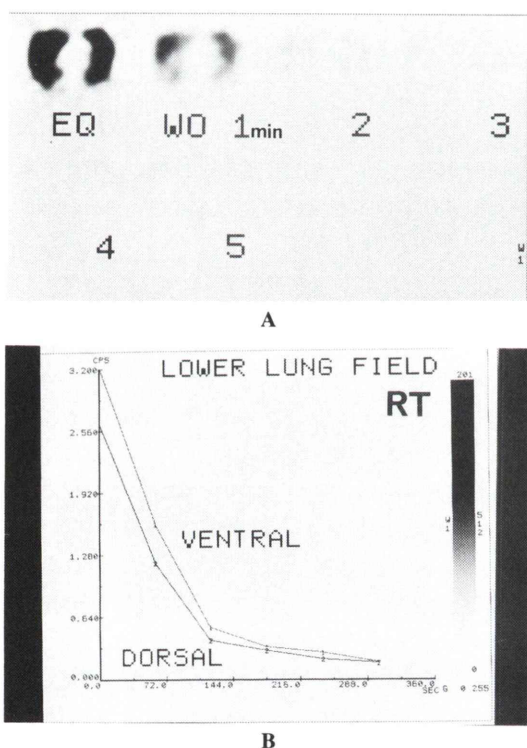
菅 一 能

例, 慢性気管支炎 1 例, 拘束性肺疾患 3 例 (Usual interstitial pneumonia (UIP) 2 例, 肺胞蛋白症 1 例) と巨大肺嚢胞 2 例および正常ボランティア 6 例の合計 29 例である。

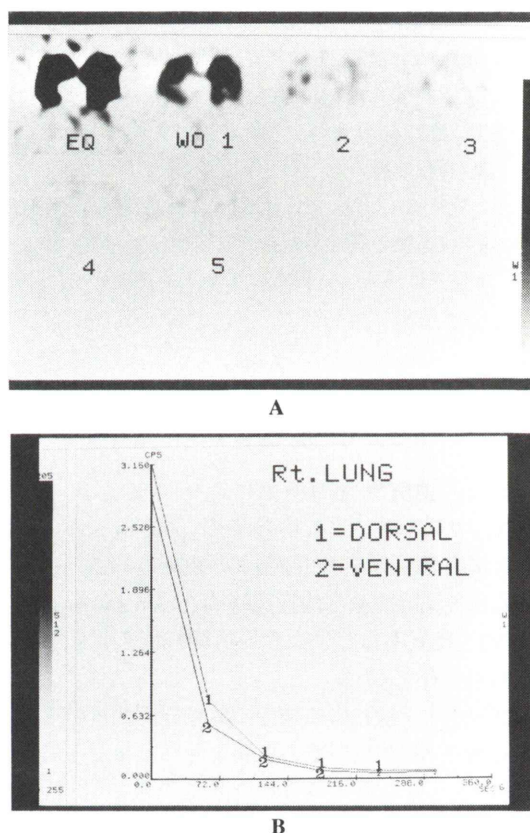
$^{133}\text{Xe}$  ガス (60~72 MBq/l) を用い仰臥位にて閉鎖回路内で約 6 分間, 反復呼吸後, 低エネルギー用高分解能平行コリメータを装着した 3 検出器型 SPECT 装置 (東芝 GCA 9300 A/HG) の連続回転収集法のうちリターンモードを用い SPECT を施行した。安静呼吸下で最初に平衡相を 1 分間で, 引き続き開放回路にして洗い出し相を 5~6 分間に

渡り撮像した。エネルギーウィンドウは 80 keV  $\pm 20\%$  で, マトリクスサイズは  $64 \times 64$ , サンプルング角度は  $6^\circ$  毎で, 60 方向 ( $360^\circ$ ) からデータ収集した。

このモードでは 1 つの検出器は  $120^\circ$  の角度を 60 秒で 1 往復し (可能な最短収集時間は 20 秒), 同じ角度における回転方向の異なる時計方向と反時計方向のデータを平均化して SPECT の 1 画像とするため, この間の放射能の減衰が平均化される。したがってトレーサの速い減衰を示す臓器の



**Fig. 1** (A) The transaxial SPECT of EQ and subsequent WO (1–5 min) images at the same section of the lower lung in a normal volunteer in a supine position. The 1 min WO (WO 1) image showed more  $^{133}\text{Xe}$  activity in the ventral portion than in the dorsal portion. The 2 min WO (WO 2) image did not show any abnormal  $^{133}\text{Xe}$ -retention site within the lungs. (B) TACs acquired in the right lower lung field.  $T_{1/2}$  values (sec) in the ventral and dorsal portions were 57.3 and 54.1, respectively.



**Fig. 2** (A) The transaxial SPECT of EQ and subsequent WO (1–5 min) images at the same section of the lower lung in a normal volunteer on a prone position. The 1 min WO (WO 1) image showed more  $^{133}\text{Xe}$  activity in the dorsal portion than in the ventral portion. (B) TACs acquired in the right lower lung field.  $T_{1/2}$  values (sec) in the dorsal and ventral portions were 53.7 and 49.7, respectively.

**Table 1**  $T_{1/2}$  values in the 6 volunteers

|         | Rt-lung (N = 6) |          |          | Lt-lung (N = 6) |          |          |
|---------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|         | Upper           | Middle   | Lower    | Upper           | Middle   | Lower    |
| Supine  |                 |          |          |                 |          |          |
| Ventral | 54.2±2.2        | 53.4±3.6 | 51.2±4.2 | 55.1±2.4        | 53.3±3.3 | 51.1±2.8 |
| Dorsal  | 48.3±3.7        | 43.6±2.8 | 42.2±3.9 | 48.1±3.7        | 43.8±3.1 | 41.9±2.4 |
| Prone*  |                 |          |          |                 |          |          |
| Ventral | 47.2±2.8        | 52.4±2.9 | 50.2±4.2 | 44.2±4.1        | 51.2±2.2 | 48.2±3.1 |
| Dorsal  | 51.2±2.5        | 57.4±3.2 | 55.3±3.1 | 48.7±2.5        | 57.1±3.0 | 55.1±3.7 |

Data are mean ± SD (sec).

\* In a supine position,  $T_{1/2}$  was significantly more prolonged in the ventral portion than in the dorsal portion at any lung levels ( $p < 0.01$ , Student's t-test). Reversely, in a prone position,  $T_{1/2}$  in the dorsal portion was significantly more prolonged than in the ventral position ( $p < 0.01$ ).

SPECT の撮像に適する。

データ処理装置は GMS 5500A および 550U で、Butterworth フィルタ (遮断周波数; 0.13, 次数; 8) と Ramp フィルタを用いて、横断像に加え冠状断、矢状断像の平衡 (Equilibrium; 以下, EQ) 像と洗い出し (Washout; 以下, WO) 像を再構成した。吸収補正および散乱補正は行っていない。

ボランティア 6 名は仰臥位と腹臥位で検査を行い  $^{133}\text{Xe}$  ガスの肺洗い出しの動態を検討した。視覚的評価に加え、横断像で上肺 (大動脈弓レベル), 中肺 (肺門レベル), 下肺 (横隔膜直上部) 野に分け、各領域を腹側と背側に 2 等分して関心領域を設定し、両者の洗い出しの差異を検討した。この際、1 ピクセル当たりの平均カウントの推移により洗い出し曲線を得、平衡時の放射能が半減する時間 ( $T_{1/2}$ ) を求めて洗い出しの指標とした<sup>2,9)</sup>。

肺疾患例では視覚的に異常な  $^{133}\text{Xe}$  の洗い出し遅延部位 (異常残留) の有無を評価した。ボランティア 6 名では洗い出し開始 2 分以降の WO 像では明らかな異常残留を認めないため、これ以降の WO 像上で肺野に胸壁の  $^{133}\text{Xe}$  分布より強い貯留を認めた場合に陽性とした。さらに胸部 X 線 CT で認める病変部や WO 像上の異常残留部における  $T_{1/2}$  を、非病変部や上中下肺野の異常残留のない部位の  $T_{1/2}$  と比較検討した。この際、個々の異常残留部において関心領域の大きさや部位をか

えて  $T_{1/2}$  を 3 回以上測定し、その平均値を求めた。

### III. 結 果

ボランティアの 1 例の仰臥位と腹臥位の  $^{133}\text{Xe}$  SPECT 像をそれぞれ Fig. 1 と Fig. 2 に示す。いずれの領域でも健常肺の EQ 像はほぼ均等な  $^{133}\text{Xe}$  分布を示すが、洗い出し開始 1 分後の WO 像では仰臥位では腹側肺に、腹臥位では背側肺の  $^{133}\text{Xe}$  分布が高い。その後の洗い出し開始 2 分以降の WO 像では肺野の  $^{133}\text{Xe}$  分布は胸壁の  $^{133}\text{Xe}$  より低下して行き、肺野には異常残留部を認めなかった。

ボランティアの 6 例の各肺領域で測定した  $T_{1/2}$  の成績を Table 1 に示す。 $T_{1/2}$  は仰臥位では腹側肺の方が、腹臥位では背側肺の方がいずれの肺レベルにおいても有意に延長していた。これらの所見は肺自体の重さの影響で、下面に位置する肺野で、呼吸時に肺胞が収縮しやすく、気流量および換気率が大きくなるため、 $^{133}\text{Xe}$  ガスの洗い出しが早くなると考えられる<sup>2)</sup>。なお腹臥位での両肺全体の  $T_{1/2}$  の平均値は  $48.8 \pm 4.7$  秒であった。

ボランティア例とは対照的に、肺疾患群では拘束性肺疾患の 3 例を除き、いずれも  $^{133}\text{Xe}$  の異常残留部位を認めた。

最初に占拠性病変の成績を Table 2 に示す。肺癌例や珪肺症とも、胸部 X 線 CT 上の随伴陰影の



Table 2 Summary of the 10 patients with space-occupying mass lesion

| Patient no.<br>Age/Sex | Diagnosis                                  | Lesion sites<br>on chest X-ray<br>CT<br>(Size: mm)  | Abnormal<br>retention<br>sites<br>( $T_{1/2}$ sec) | *Other lung fields<br>without abnormal<br>retentions<br>( $T_{1/2}$ sec) | %VC<br>FEV <sub>1.0</sub> %<br>(%)     |
|------------------------|--|---|--|--|--|
| 1. MA<br>71/M          | Lung cancer<br>(Large cell)                | Rt hilum<br>(53×45)   | Rt-lower lobe<br>(723±12.3)                        | (64.3±5.2)   | %VC=110.4<br>FEV <sub>1.0</sub> %=58.8 |
| 2. SM<br>63/M          | Lung cancer<br>(Squamous)                  | Rt-hilum<br>(45×45)   | Rt-lower lobe<br>(105.0±3.4)                       | (63.3±5.8)   | %VC=85.5<br>FEV <sub>1.0</sub> %=57.8  |
| 3. IK<br>63/M          | Lung cancer<br>(Small cell)                | Rt-hilum<br>(35×34)   | Rt-lower lobe<br>(152.4±4.5)                       | (54.3±7.1)   | —                                      |
| 4. YS<br>73/F          | Lung cancer<br>(Small cell)                | Lt-hilum<br>(45×35)   | Lt-upper lobe<br>(102.4±3.1)                       | (67.8±6.7)   | —                                      |
| 5. TN<br>78/F          | Lung cancer<br>(Squamous cell)             | Lt-S <sub>4</sub><br>(55×50)  | Lt-upper lobe<br>(83.5±2.3)                        | (52.3±3.2)   | %VC=79.7<br>FEV <sub>1.0</sub> %=35.0  |
| 6. MM<br>63/M          | Lung cancer<br>(Adenoca.)                  | Rt-S <sub>6</sub><br>(30×25)  | Neighboring<br>the tumor<br>(62.7±2.3)             | (48.4±4.1)   | %VC=105.7<br>FEV <sub>1.0</sub> %=93.7 |
| 7. TH<br>68/M          | Lung cancer<br>(Adenoca. or<br>Large cell) | Rt-S <sub>10</sub><br>(53×43)   | Neighboring<br>the tumor<br>(73.4±3.2)             | (57.4±7.2)   | %VC=92.6<br>FEV <sub>1.0</sub> %=60.2  |
| 8. MT<br>63/M          | Silicosis                                  | Large opacities in<br>both upper lungs<br>with diffuse small<br>opacities                   | Both upper<br>lungs<br>(156.4±21.4)                | (74.3±9.7)   | %VC=68.6<br>FEV <sub>1.0</sub> %=58.4  |
| 9. MM<br>68/M          | Silicosis                                  | Large opacities in<br>Rt-upper lobe with<br>diffuse small<br>opacities                      | Rt-upper lung<br>Lt-lower lobe<br>(137.8±16.5)     | (85.7±8.9)   | %VC=68.6<br>FEV <sub>1.0</sub> %=58.4  |
| 10. MO<br>72/M         | Silicosis                                  | Large opacities in<br>both upper lungs with<br>emphysematous changes<br>in both lower lungs | Both upper &<br>lower lungs<br>(121.5±9.3)         | (75.8±9.8)   | %VC=77.7<br>FEV <sub>1.0</sub> %=59.6  |

\*  $T_{1/2}$  (sec) was obtained in the lung regions, where neither abnormal findings on the chest CT nor abnormal  $^{133}\text{Xe}$  retentions were seen, in both ventral and dorsal portions of the upper, middle and lower lung levels.  
Adenoca. = adenocarcinoma, %VC = percent vital capacity, FEV<sub>1.0</sub>% = percent forced expiratory volume in 1 sec.

有無に関わらず、腫瘍や大陰影の周辺肺野に斑状あるいは区域性的  $^{133}\text{Xe}$  洗い出し遅延部や EQ 像、WO 像ともに分布欠損を示す部位を認め、占拠性病変による周囲の気管支の圧排や偏位、あるいは腫瘍浸潤による狭窄や閉塞による換気低下を示した<sup>14)</sup> (Fig. 3). この際、洗い出し遅延部は最初の EQ 像上では分布低下しているものや他正常肺野と同等の放射能を有するものがあつた。また珪肺症では下肺野の気腫性変化を反映して洗い出しの遅延が検出された症例があつた (Fig. 4).  $^{133}\text{Xe}$  ガスの異常残留位の  $T_{1/2}$  (平均 171.1±143.2 秒、範

囲 62.5～764.5 秒) は、異常残留を認めない肺野の  $T_{1/2}$  (平均 64.3±11.1 秒、範囲 46.2～102.4 秒) に比較して有意に遅延していた ( $p<0.01$ , Student's t-test) (Table 2).

つぎに閉塞性肺疾患の成績を Table 3 に示す。気管支喘息 2 例や慢性気管支炎 1 例では斑状や区域性に著明な洗い出し遅延が検出され、洗い出し開始 4～6 分後の遅い時期の WO 像でも異常残留部位を認めた (Fig. 5). 肺気腫 3 例のうち 2 例は胸部 CT 像で認めた低吸収域にほぼ一致して洗い出し遅延を認めた。他 1 例は肺呼吸機能 (%VC =

97.5%,  $\text{FEV}_{1.0}\% = 61.5\%$ ) から肺気腫と診断され、胸部 X 線 CT 像では気腫性変化は指摘されなかったが、 $^{133}\text{Xe}$  の異常残留を認めた。びまん性汎細気管支炎 2 例では肺全体の洗い出し遅延に加え、中下肺野の肺辺縁部の洗い出し遅延が著明で特徴的であった。 $^{133}\text{Xe}$  ガスの異常残留位の  $T_{1/2}$  (平均  $145.1 \pm 34.7$  秒, 範囲 94.8~244.3 秒) は、ボランティアの肺野の  $T_{1/2}$  の平均  $48.8 \pm 4.7$  秒に比較し

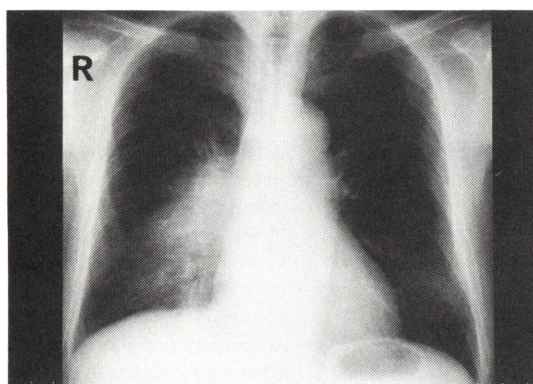
て有意に遅延しており ( $p < 0.01$ ), さらに異常残留を認めない肺野の  $T_{1/2}$  (平均  $79.8 \pm 8.1$  秒, 範囲 55.9~117.6 秒) もボランティアの肺野の  $T_{1/2}$  の平均値よりも有意に遅延していた ( $p < 0.01$ ).

これに対し、拘束性肺障害を示す肺胞蛋白症と特発性間質性肺炎では、病変部は EQ 像で  $^{133}\text{Xe}$  分布は低下し、不均等性を示したが異常残留は認めなかった。さらにいずれの症例においても病変部の  $T_{1/2}$  は、胸部 X 線写真上で病変を認めない肺領域の  $T_{1/2}$  に比較して遅延していなかった (Table 4, Fig. 6).

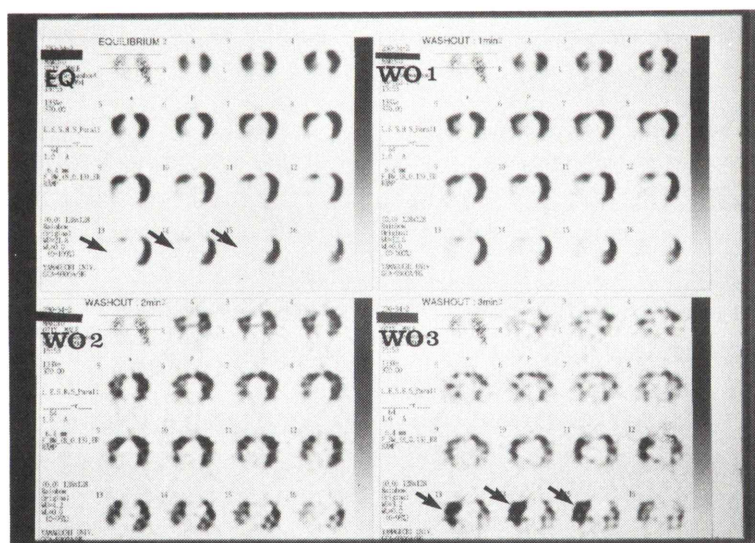
最後に巨大肺嚢胞 2 例は EQ 像では健常肺と同等の  $^{133}\text{Xe}$  分布を示したが、洗い出しは 1 例では健常側肺と同様に速く、他 1 例では著しく遅延し差異を認めた。

#### IV. 考 察

肺の  $^{133}\text{Xe}$  洗い出しは非検者の呼吸数や深さなどの呼吸パターンの影響を受けるが、個々の症例



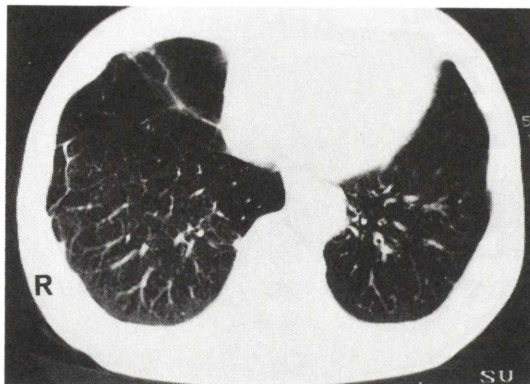
A



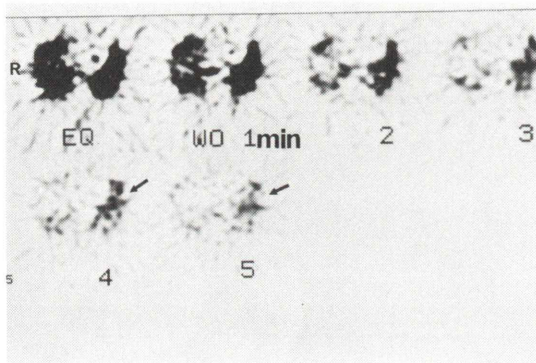
B

**Fig. 3** (A) Chest X-ray CT showed a right hilar mass lesion in a 71-yr-old man with lung cancer of large cell carcinoma. Bronchoscopy revealed stenosis of the right lower lobe bronchus by tumor invasion (No. 1 in Table 2). (B) The axial sections of the EQ images demonstrated reduced activity of  $^{133}\text{Xe}$  in the right lower lobe ( $\rightarrow$ ). The subsequent serial WO (1-4 min) images showed clearly the remarkably delayed  $^{133}\text{Xe}$ -washout in this area ( $\rightarrow$ ).

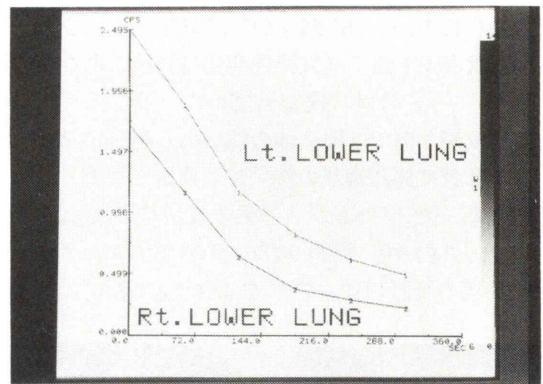




A



B



C

**Fig. 4** (A) Chest X-ray CT in the lower lung field in a 68-yr-old man with silicosis (%VC=68.6%, FEV<sub>1.0</sub>% 58.4%). Scattered small opacities were seen in both lungs, and the left lung was more hyperlucent than the right lung: which may reflect emphysematous changes (No. 9 in Table 2). (B) The serial axial WO (1-5 min) SPECT images in the corresponding level demonstrated more delayed <sup>133</sup>Xe-washout in the left lung (→) than in the right lung, indicating there was a more severe air-trapping in the left. (C) T<sub>1/2</sub> values (sec) were 111.8 in the left lung, and 99.7 in the right lung.

で局所肺野における洗い出しの差異は WO 画像で検出可能である<sup>1,2,5</sup>。今回試みた <sup>133</sup>Xe 洗い出し SPECT 像では、拘束性肺疾患例を除き、種々の疾患で不均等な肺の洗い出し所見や、区域性あるいは肺辺縁性などの解剖学的に詳細な洗い出し遅延部が3次元的に把握できた。さらに健常肺では換気に対する重力効果が把握された。また T<sub>1/2</sub> を用い局所肺からの洗い出しの差異が検討できる可能性が示唆された。検索し得た範囲で <sup>133</sup>Xe 洗い出し SPECT 検査は今回が最初の試みであるが、本法は臨床的に有用と思われた。

肺癌や珪肺症など占拠性病変を有する症例では占拠性病変の影響による周囲肺野の換気異常が検出された (Table 2)。洗い出し遅延部位は EQ 像では明らかな分布低下を呈さないものや分布低下を示すものが存在し、換気異常の程度に応じ所見に差異を示すと考えられる<sup>14)</sup>。

閉塞性肺疾患では洗い出し開始4~6分後の遅い時期の WO 像でも異常残留部を認めた。これまでのブレイナー像の検討で洗い出し3分以降でも洗い出し遅延部を認める場合には閉塞性肺疾患を疑う必要があるとする報告と一致する<sup>1)</sup>。また WO 画像は放射能が多いため視覚的評価も詳細に検討可能で、閉塞性肺疾患では本検査法が特に有用であることが認識された。

肺の気腫性変化を胸部 CT で検出し得ない場合があるが<sup>15-18)</sup>、今回の肺気腫の1例でも気腫性変化は胸部 CT で指摘されなかったが、半減時間の延長が認められ、<sup>133</sup>Xe 洗い出し検査の有用性が示唆された。

また閉塞性肺疾患では、視覚的に WO 像で異常残留を認めない肺領域の T<sub>1/2</sub> は健常肺に比較して遅延していることが多く (Table 3)、視覚的評価のみならず定量的評価を併せて行う必要性が認識

**Table 3** Summary of the 8 patients with obstructive lung disease

| Patient no.<br>Age/Sex | Diagnosis  | Lesion sites<br>on chest X-ray<br>CT             | Abnormal<br>retention sites<br>( $T_{1/2}$ sec)  | *Other lung fields with-<br>out abnormal retentions<br>( $T_{1/2}$ sec) | %VC<br>FEV <sub>1.0</sub> %<br>(%)       |
|------------------------|--|--|--|---|--|
| 1. MN<br>76/M          | Emphysema  | No abnormal<br>findings                          | Both upper lobes,<br>Rt-mid lobe<br>(103.5 $\pm$ 5.8)                                    | (76.6 $\pm$ 5.9)  | %VC=97.5<br>FEV <sub>1.0</sub> %=61.5    |
| 2. KI<br>78/M          | Emphysema  | Both upper<br>lobes                              | Both upper lobes<br>(142.6 $\pm$ 2.4)  | (63.7 $\pm$ 5.3)  | %VC=105.1<br>FEV <sub>1.0</sub> % = 71.3 |
| 3. HF                  | Emphysema  | Rt-upper<br>lobe                                 | Rt-upper lobe<br>(95.4 $\pm$ 1.8)  | (79.3 $\pm$ 7.5)  | %VC=78.4<br>FEV <sub>1.0</sub> %=68.8    |
| 4. IK                  | Bronchial<br>asthma                              | Diffusely<br>slight<br>emphysema-<br>tous change | Rt-upper, mid<br>& lower lobes,<br>Lt-lingula lobe<br>(217.6 $\pm$ 5.3)                  | (85.3 $\pm$ 8.2)  | %VC=98.4<br>FRV <sub>1.0</sub> %=56.5    |
| 5. US                  | Bronchial<br>asthma                              | No abnormal<br>findings                          | Lt-upper &<br>lower lobes,<br>Rt-mid lobe & S <sub>10</sub><br>(156.2 $\pm$ 16.3)        | (72.3 $\pm$ 6.5)  | %VC=46.1<br>FEV <sub>1.0</sub> %=60.2    |
| 6. MK<br>35/M          | Diffuse<br>panbron-<br>chiolitis                 | Both mid &<br>lower lungs                        | Ventral & peri-<br>pheral portions<br>in both mid &<br>lower lungs<br>(147.4 $\pm$ 16.3) | (87.4 $\pm$ 7.6)  | %VC=60.1<br>FEV <sub>1.0</sub> %=68.4    |
| 7. TY<br>42/M          | Diffuse<br>panbron-<br>chiolitis                 | Both mid &<br>lower lungs                        | Rt-middle lobe,<br>Both lower lungs<br>(154.7 $\pm$ 8.4)                                 | (89.7 $\pm$ 6.1)  | %VC=103.5<br>FEV <sub>1.0</sub> %=80.4   |
| 8. SN<br>63/F          | Chr. bronchi-<br>tis with<br>bronchi-<br>ectasis | Diffuse  | Both upper lobes,<br>Rt-middle lobe,<br>Lt-lingula lobe<br>(143.8 $\pm$ 7.5)             | (84.4 $\pm$ 5.7)  | %VC=76.4<br>FEV <sub>1.0</sub> %=68.3    |

\*  $T_{1/2}$  (sec) was obtained in the lung regions, where neither abnormal findings on the chest CT nor abnormal  $^{133}\text{Xe}$  retentions were seen, in both ventral and dorsal portions of the upper, middle and lower lung levels.

%VC=percent vital capacity, FEV<sub>1.0</sub>%=percent forced expiratory volume in 1 sec.

された。

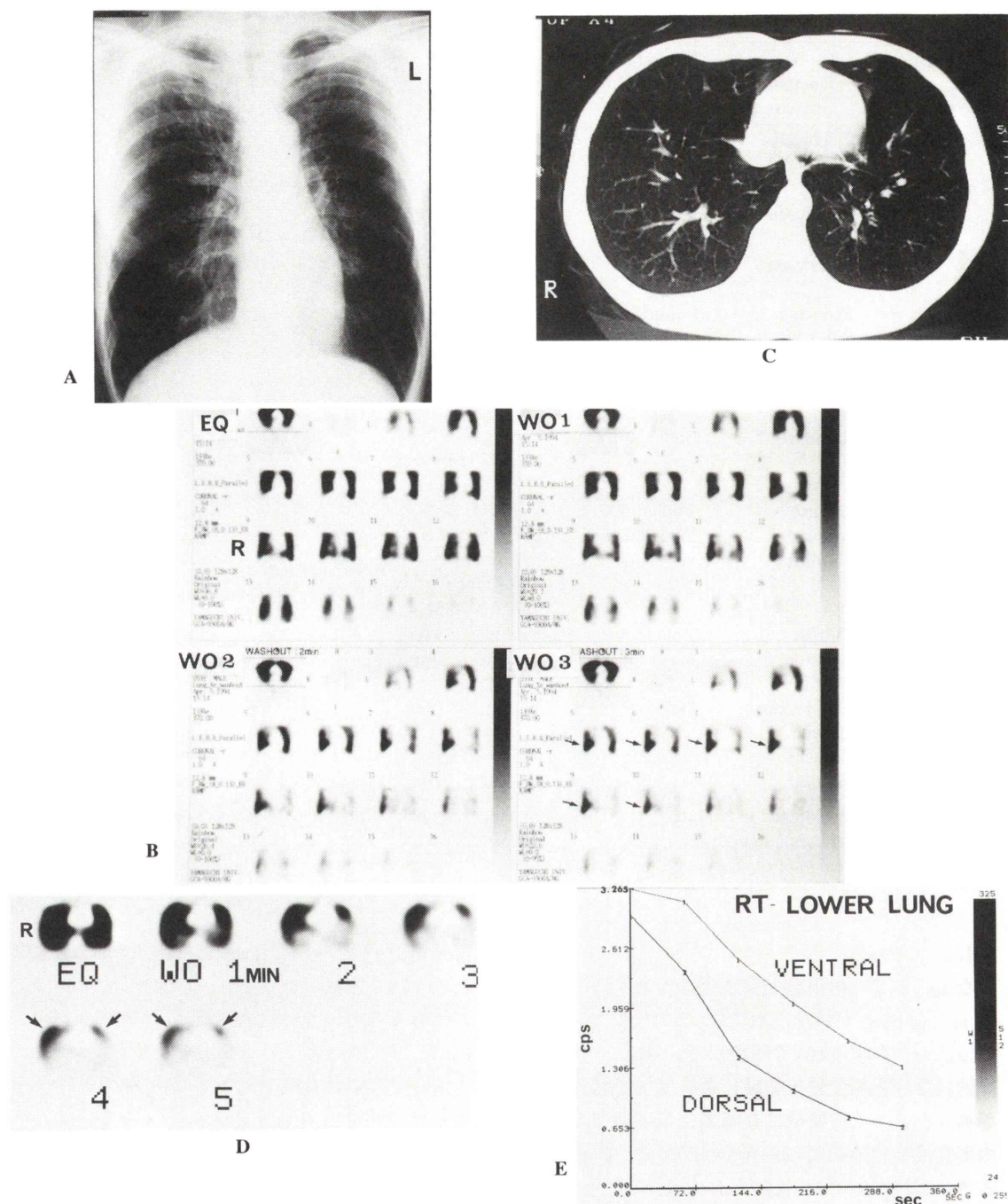
なお、びまん性汎細気管支炎の1例は肺辺縁性の air trapping が検出された。この所見は他症例では認められず本症に特徴的と思われた。病理組織的には呼吸細気管支領域に炎症変化が起きるとされており、この特徴的な障害分布は肺の内外層の閉塞性変化の程度の差異を反映するものと考え<sup>20)</sup>。なお本症での同様の air trapping 所見は  $^{13}\text{N}$  ガス PET 検査でも報告されている<sup>2)</sup>。

これらの閉塞性肺疾患に対し肺胞蛋白症や UIP などの拘束性疾患<sup>2,15,19)</sup>では、EQ 像では病変部は  $^{133}\text{Xe}$  分布の低下を示したが、明らかな洗い出し

遅延を認めなかった (Table 4, Fig. 6)。これは線維化巣や肺胞内液により肺容量や肺コンプライアンスは減少しているが末梢気道に閉塞はなく気道抵抗は正常に保たれている病態を反映していると考え<sup>1,12)</sup>。 $^{13}\text{N}$  ガス PET 検査でも特発性間質性肺炎の1例で同様の換気動態が示されている<sup>12)</sup>。

$^{133}\text{Xe}$  は血液への溶解性 (溶解係数: 0.13) や放射線エネルギーが低いなどの欠点を持つが<sup>2,4)</sup>、 $^{13}\text{N}$  ガス PET 検査は  $^{13}\text{N}$  が血液に非溶解性である点や高い分解能と定量性を有し優れている<sup>2,7,12)</sup>。しかし今回示したように  $^{13}\text{N}$  ガス PET 検査で検出された換気異常所見のいくつかは上述したように今回の





**Fig. 5** (A) Chest radiograph showed slightly emphysematous change, accompanied with both lowered diaphragms, in a 53-yr-old man with bronchial asthma (%VC=98.4%, FEV<sub>1.0</sub>=56.5%) (No. 4 in Table 3). (B) Coronal sections of the EQ and subsequent WO (1–3 min) images of <sup>133</sup>Xe-SPECT showed delayed <sup>133</sup>Xe-washout in the right lung (→). (C) Chest X-ray CT in the lower lung field did not show any localized hyperlucent area. (D) The serial WO (1–5 min) SPECT images revealed segmental delayed <sup>133</sup>Xe-washout in both the ventral portions in the lower lung field (→). (E) TACs acquired in the right lower lung field revealed that <sup>133</sup>Xe-washout in the ventral portion ( $T_{1/2}=211.3$  sec) was more delayed than in the dorsal portion ( $T_{1/2}=110.3$  sec).

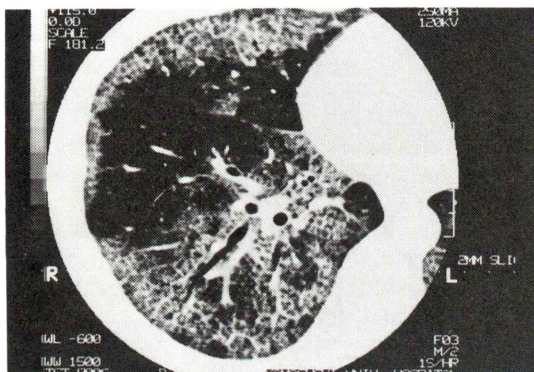
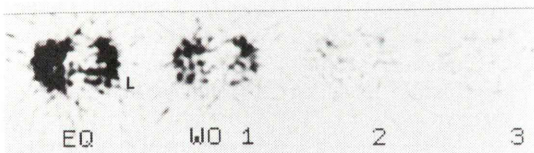
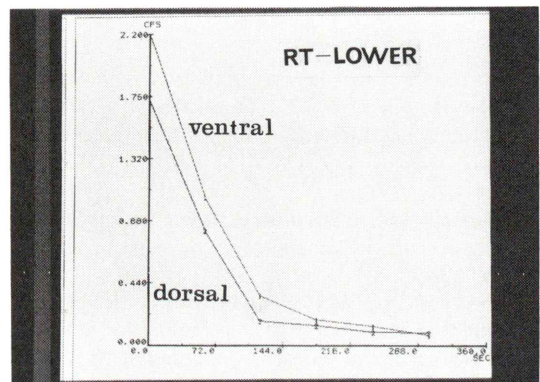


**Table 4** Summary of the 3 patients with restrictive lung disease

| Patient no.<br>Age/Sex | Diagnosis               | Lesion sites<br>on chest X-ray<br>CT | Abnormal<br>retention sites<br>( $T_{1/2}$ sec) | *Other lung fields with-<br>out abnormal retentions<br>( $T_{1/2}$ sec) | %VC<br>FEV <sub>1.0</sub> %<br>(%)    |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 1. KS<br>66/F          | UIP                     | Diffuse                              | (-)<br>(61.1 $\pm$ 5.2)                         | (64.2 $\pm$ 4.9)  | %VC=66.3<br>FEV <sub>1.0</sub> %=100  |
| 2. YS<br>64/M          | UIP                     | Both mid &<br>lower lungs            | (-)<br>(57.5 $\pm$ 5.4)                         | (62.3 $\pm$ 6.2)  | %VC=51.4<br>FEV <sub>1.0</sub> %=71.2 |
| 3. IU<br>41/M          | Alveolar<br>proteinosis | Both mid &<br>lower lungs            | (-)<br>(49.6 $\pm$ 4.3)                         | (60.3 $\pm$ 5.2)  | %VC=85.2<br>FEV <sub>1.0</sub> %=92.6 |

\*  $T_{1/2}$  (sec) was obtained in the lung regions, where neither abnormal findings on the chest CT nor abnormal  $^{133}\text{Xe}$  retentions were seen, in both ventral and dorsal portions of the upper, middle and lower lung levels.

UIP=usual interstitial pneumonia, %VC=percent vital capacity, FEV<sub>1.0</sub>%=percent forced expiratory volume in 1 sec.

**A****B****C**

**Fig. 6** (A) The high-resolution thin-slice chest X-ray CT in a 41-yr-old man with alveolar proteinosis showed marked alveolar filling with interstitial lattice shadows in the right lower lung. However, non-affected area was seen within the ventral portion. Similar changes were also seen in the left lung (%VC=85.2 %, FEV<sub>1.0</sub>%=92.6%) (No. 3 in Table 4). (B) The serial EQ (1-3 min) did not show any abnormal  $^{133}\text{Xe}$ -retention site in both lower lungs. (C) TACs revealed that the activity of  $^{133}\text{Xe}$  in the dorsal portion was lower than in the ventral portion in the EQ phase. However,  $T_{1/2}$  in the dorsal portion (58.5 sec) was not prolonged compared with that in the ventral portion (60.8 sec) and that in the non-affected area in the upper lung field (58.3 sec).

$^{133}\text{Xe}$  SPECT 検査でも同様に把握されており換気異常部位の検出上,  $^{13}\text{N}$  ガス PET 検査に遜色ないものであることを示唆している。

$^{133}\text{Xe}$  SPECT 検査では  $^{133}\text{Xe}$  が入手し易く, ほぼ全肺野が 1 スキャンで撮像できるが, PET 検査はいまだ汎用されておらず, また撮像視野が狭いため全肺野の撮像のためには 2~3 スキャンが必要である。さらに今回の検査では洗い出し遅延部が 1 分毎の個々の WO 像上で描出されたが, PET 検査では個々の WO 像の評価によらず, 洗い出し相全体のデータから構成した WO 画像を用いている<sup>2,7,14</sup>。今回の検査法はこれらの点では  $^{13}\text{N}$  ガス PET 検査に比べ優位性を持つと思われる。

今回の予備的な  $^{133}\text{Xe}$  の洗い出し SPECT 検査では洗い出しの定量評価は時間経過のみに依存する  $T_{1/2}$  で行った<sup>1,3</sup>。また計数率が高く視覚的評価

に有用な洗い出し画像を得るため比較的長い撮像時間によるデータを使用した。より正確な  $T_{1/2}$  値やさらに時定数や換気率などの換気能のパラメータを得るためには、洗い出し開始後早期の撮像間隔を短くして TAC を得る上でのデータ数を増加させるなどの撮像プロトコルの改良も今後、必要と思われる。

以上、連続回転収集機能を有する 3 検出器型 SPECT 装置を用い従来は困難であった  $^{133}\text{Xe}$  ガス洗い出しの SPECT 像を試みた。適切な撮像時間や機能分布図の作成などの検討が今後さらに必要と思われるが、 $^{133}\text{Xe}$  ガス洗い出し SPECT 像の臨床的有用性が示された。

### 文 献

- 1) Alderson PO, Line BR: Scintigraphic evaluation of regional pulmonary ventilation. *Sem Nucl Med* **10**: 218-242, 1980
- 2) Murata K, Itoh H, Senda M, et al: Ventilation imaging with positron emission tomography and nitrogen 13. *Radiology* **158**: 303-307, 1986
- 3) Bunow B, Line BR, Horton MR, Weiss GH: Regional ventilatory clearance by Xenon scintigraphy: a critical evaluation of two estimation procedure. *J Nucl Med* **20**: 703-710, 1979
- 4) Schor RA, Shames DM, Weber PV, Dos Remedios LV: Regional ventilation studies with Kr-81m and Xe-133: a comparative analysis. *J Nucl Med* **19**: 348-353, 1978
- 5) Ishii Y, Itoh H, Suzuki T, Yonekura Y, Mukai T, Torizuka K: Quantitative assessment of ventilation-perfusion mismatch by radioxenon imaging of the lung. *J Nucl Med* **19**: 607-614, 1978
- 6) 影山 浩, 小池 潔: Xe-133 吸入洗い出し法による肺換気分布解析に関する新しい試み. *核医学* **22**: 1521-1528, 1985
- 7) 佐藤仁一, 村田喜代史, 伊藤春海, 千田道夫, 米倉義晴, 小西淳二, 他: 閉塞性肺疾患における RI と CT. *臨放* **32**: 895-900, 1987
- 8) 川上憲司, 武内弘明: 核医学の応用. 特集——びまん性肺疾患の画像診断——. *Clin Imagiology* **4**: 30-37, 1988
- 9) 蝦名昭男, 井沢豊春, 手島建夫, 平野富男, 今野淳: Xe-133 ガス洗い出し法におけるバックグラウンドの補正と肺換気指標の選択. *核医学* **23**: 135-143, 1986
- 10) Mark TW, Rookmaker AEC, Kiers A, Peset AK, Vaalburg PW, Paans AM, et al: Nitrogen-13 and Xenon-133 ventilation studies. *J Nucl Med* **25**: 1175-1182, 1984
- 11) Valind SO, Rhodes CG, Brudin LH, Jones T: Measurements of regional ventilation pulmonary gas volume: theory and error analysis with special reference to positron emission tomography. *J Nucl Med* **32**: 1937-1944, 1991
- 12) Senda M, Murata K, Ito H: Quantitative evaluation of regional pulmonary ventilation using PET and nitrogen-13 gas. *J Nucl Med* **27**: 268-273, 1986
- 13) Kouris K, Clarke GA, Jarritt PH, Townsend CE, Thomas SN: Physical performance evaluation of the Toshiba GCA-9300A triple-headed system. *J Nucl Med* **34**: 1778-1789, 1993
- 14) Ramos M, Baumann HR, Muhlberger F: Perfusion and ventilation imaging in pulmonary tuberculosis. *Clin Nucl Med* **3**: 233-242, 1978
- 15) 山岸雅彦, 田中裕士, 阿部庄作: 閉塞性換気障害を呈する肺疾患——CT 像を中心に——, 画像診断 SPECIAL, 土井修編, メジカルビュー社, 東京, 1993, pp. 120-138
- 16) Archer DC, Coblenz CL, deKemp RA, Nahmias MC, Norman G: Automated in vivo quantification of emphysema. *Radiology* **188**: 835-838, 1993
- 17) Stern EJ, Webb WR, Golden JA, Gamsu G: Cystic lung disease associated with eosinophilic granuloma and tuberous sclerosis: air trapping at dynamic ultrafast high-resolution CT. *Radiology* **182**: 325-329, 1992
- 18) Gurney JW, Jones KK, Robbins RA, Gossman GL, Nelson KJ, Daughton MS, et al: Regional distribution of emphysema: correlation of high-resolution CT with pulmonary function tests in unselected smokers. *Radiology* **183**: 457-463, 1992
- 19) Homma H, Yamanaka A, Tanimoto S, Tamura M, Chijimatsu Y, Kira S, et al: Diffuse panbronchiolitis: a disease of the transitional zone of the lung. *Chest* **83**: 63-69, 1983
- 20) 西村浩一, 北市正則, 泉 孝英, 伊藤春海, 金岡正樹, 村田喜代史: びまん性肺疾患の画像診断——末梢気道疾患——. *臨床画像* **4**: 70-84, 1988



## Summary

### **Evaluation of Regional Pulmonary $^{133}\text{Xe}$ -Gas Washout with Dynamic SPECT Imaging Obtained by a Triple-Headed SPECT System with Continuous Repetitive Rotating Acquisition Mode**

Kazuyoshi SUGA, Kazuya NISHIGAUCHI, Norihiko KUME, Katsuyuki TAKANO,  
Shinji KOIKE, Tsuneo MATSUMOTO and Naofumi MATSUNAGA

*Department of Radiology, Yamaguchi University School of Medicine*

The clinical potential of the dynamic SPECT in studying pulmonary washout of Xenon-133 ( $^{133}\text{Xe}$ ), using a triple-headed SPECT system (Toshiba GCA 9300A/HG, Japan) with continuous repetitive rotating acquisition mode, was preliminarily investigated in 6 healthy volunteers and 23 patients with various lung diseases.

The equilibrium image was initially acquired for 1 min after breathing  $^{133}\text{Xe}$  gas (370 MBq) in a closed circuit for 6 min, and subsequently serial  $^{133}\text{Xe}$ -washout SPECT images were continuously acquired every 60 sec for 5–6 min. As the ventilation index, the real half time of regional activity was evaluated.

The SPECT study demonstrated the gravity-induced gradient on ventilation in the normal subjects. In the various lung diseases, it allowed us to demonstrate visually and quantitatively the dynamic process and three-dimensional distribution of ventilation abnormalities, with or without chest radiographic abnormalities. These results indicate clinical potential of pulmonary dynamic SPECT of  $^{133}\text{Xe}$ -washout for elucidating the distribution and nature of ventilation abnormalities in various lung diseases.

**Key words:** SPECT, Lung, Xenon-133, Ventilation, Dynamic study.