

《原 著》

# $^{81m}\text{Kr}$ 持続静注法と $^{99m}\text{Tc}$ -MAA 肺血流分布 による $\dot{V}/V$ 分布の測定

— $^{133}\text{Xe}$  法との比較を中心に—

大谷 洋一\* 間島 寧興\* 森 豊\* 島田 孝夫\*\*  
守谷 悦男\* 川上 憲司\*

**要旨**  $^{81m}\text{Kr}$  持続静注法と  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA による血流分布の差から、単位肺容量当たりの換気量 ( $\dot{V}/V$ ) ( $\dot{V}/V(R)$ ) を求めた。そして、 $^{81m}\text{Kr}$  吸入法による換気分布と  $^{133}\text{Xe}$  反復呼吸時の肺容量分布から求めた  $\dot{V}/V(R)$  と比較し、 $\dot{V}/V(R)$  が  $\dot{V}/V$  を表わしていることを、臨床例において実証した。

検査は坐位安静呼吸下に行った。

肺野を重力方向に 6 mm 厚のスライスに分画し、各スライスにおいて  $\dot{V}/V(R)$  と  $\dot{V}/V$  を求め、両者の相関を求めた。

10 例 (20 肺) における相関係数は 1 例を除いて 0.76~0.95 と高かった。これらの結果は、 $^{81m}\text{Kr}$  溶液と  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA 静注法より求めた  $\dot{V}/V(R)$  が、局所の  $\dot{V}/V$  を表わしていると考えられる。

本法は、 $^{133}\text{Xe}$  を使わずに、 $\dot{V}/V$  が求められるという利点をもっている。

## I. はじめに

肺の換気、血流検査は一般に、取り扱いの簡単な  $^{81m}\text{Kr}$  ガスと  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA (Macro-Aggregated-Albumin) が用いられている<sup>1~4)</sup>。しかし、 $^{81m}\text{Kr}$  では半減期が 13.0 秒と短いので肺容量分布が得られず、したがって換気率 ( $\dot{V}/V$ ) を求めることができない<sup>5)</sup>。

一方、 $^{81m}\text{Kr}$  はブドウ糖液として静注することにより、血流分布が得られる<sup>6,7)</sup>。今回、 $^{81m}\text{Kr}$  による血流分布  $\dot{Q}$  と、 $^{99m}\text{Tc}$ -MAA による血流分布  $\dot{Q}$  の差異を利用して、換気率  $\dot{V}/V(Q)$  を求める方法について検討し、その信頼性について  $^{133}\text{Xe}$  による方法と対比した。

## II. 対象および方法

対象は、29 歳~80 歳の 10 名で、内訳は正常 3 例、気管支喘息 2 例、肺気腫 2 例、慢性気管支炎 2 例、びまん性汎細気管支炎 1 例である。

これら 10 名について、 $^{81m}\text{Kr}$  ブドウ糖液と  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA により血流分布を、 $^{81m}\text{Kr}$  により換気分布を、また  $^{133}\text{Xe}$  により肺気量分布を求めた。さらに、スパイロメータによって肺機能検査を行った。

次に Ciofetta ら<sup>8)</sup>の方法を利用して、 $^{81m}\text{Kr}$  と  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA との物理的差異から Fig. 1 (4) 式によって肺容量当たりの局所換気分布  $\dot{V}/V(R)$  (静注法によるので  $\dot{V}/V(R)\dot{Q}$  とする) を求めた。 $R$  は全肺 ( $T$ ) に対する局所、Regional を示す。すなわち、 $^{99m}\text{Tc}$ -MAA 静注法では、肺における放射能 ( $Tc$ ) は (1) 式のように、血流分布 ( $\dot{Q}$ )、肺・胸部への幾何学的因子 ( $K_1$ ) および注入した  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA の放射能 ( $C_1$ ) の関数となる。一方、 $^{81m}\text{Kr}$  静注法は  $\dot{Q}$ ,  $K_2$  のほかに (1)' 式に示すように

\* 東京慈恵会医科大学放射線医学教室

\*\* 同 第三内科学教室

受付: 62 年 10 月 21 日

最終稿受付: 63 年 2 月 24 日

別刷請求先: 港区西新橋 3-25-8 (☎ 105)

東京慈恵会医科大学放射線医学教室

大谷 洋一

$$\begin{aligned}
 & \langle \langle {}^{99m}\text{Tc-MAA} \rangle \rangle \\
 & \text{Tc} \doteq \dot{Q} K_1 C_1 \quad \dots\dots(1) \\
 & \frac{\text{Tc (R)}}{\text{Tc (T)}} = \frac{\dot{Q} K_1 C_1 (\text{R})}{\dot{Q} K_1 C_1 (\text{T})} \quad \dots\dots(2) \\
 & \langle \langle {}^{81m}\text{Kr} \rangle \rangle \\
 & \text{Kr} \doteq \frac{\dot{Q} K_2 C_2}{(\dot{V}/V + \lambda)} \quad \dots\dots(1)' \\
 & \frac{\text{Kr (R)}}{\text{Kr (T)}} = \frac{\dot{Q} K_2 C_2}{\dot{V}/V + \lambda} (\text{R}) / \frac{\dot{Q} K_2 C_2}{\dot{V}/V + \lambda} (\text{T}) \quad \dots\dots(2)' \\
 & \downarrow \\
 & \frac{\text{Kr (R/T)}}{\text{Tc (R/T)}} = \frac{(\dot{V}/V + \lambda) (\text{T})}{(\dot{V}/V + \lambda) (\text{R})} \quad \dots\dots(3) \\
 & \frac{\dot{V}}{V} (\text{R}) \left( = \frac{\dot{V}}{V} (\text{R}) \dot{q} \right) = \frac{(\dot{V}/V + \lambda) (\text{T})}{\text{Kr (R/T)/Tc (R/T)}} - \lambda \quad \dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

Kr, Tc; Radioactivity of Kr-81m and Tc-99m-MAA over chest wall,  $\dot{Q}$ ; Perfusion,  $\dot{V}$ ; Ventilation, V; Lung volume (FRC),  $\lambda$ ; Decay constant  $\doteq 3.2 \text{ min}^{-1}$ ,  $K_1 \doteq K_2$ ; Geometrical factor,  $C_1 = C_2$ ; Delivered activity, R, T; Regional and Total (by Ciofetta)

Fig. 1 Calculation of  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$ .

$\dot{V}/V + \lambda$  の因子が入る。  $\lambda$  は  ${}^{81m}\text{Kr}$  の崩壊定数であり、一定であるから換気率 ( $\dot{V}/V$ ) の逆関数となる。次に全肺 (T) に対する局所 (R) のカウント比 ( $\text{Tc (R)}/\text{Tc (T)}$ ) および  $\text{Kr (R)}/\text{Kr (T)}$  は、 ${}^{99m}\text{Tc-MAA}$ ,  ${}^{81m}\text{Kr}$  とともに (2), (2)' 式のように求められる。ここで、全肺のカウント数を同じくして、 ${}^{99m}\text{Tc-MAA}$  と  ${}^{81m}\text{Kr}$  の比をとると、 $\dot{Q} K_1 C_1 = \dot{Q} K_2 C_2$  となり、(3) 式のようになる。これから (4) 式に示すように、局所の肺容量当たりの換気分布  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  が得られる。なお  $\lambda$  は  ${}^{81m}\text{Kr}$  の崩壊定数  $3.2/\text{min}$  とし、全肺における  $\dot{V}/V (\text{T})$  は、スパイロメータにより測定した。

以上より得られた  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  と、 ${}^{133}\text{Xe}$  平衡時の V と  ${}^{81m}\text{Kr}$  ガス吸入時の  $\dot{V}$  より求めた  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{v}$  について、10 例を対象に比較検討した。 ${}^{133}\text{Xe}$  のバックグラウンドは 25% としてカットした。

なお、検査は坐位安静呼吸下で行い、背面よりシンチカメラ (Siemens 社製, LFOV) を指向し、いずれも 30 万カウント像を収集し、シンチパック 2400 (島津社製) で処理した。 ${}^{81m}\text{Kr}$  および  ${}^{133}\text{Xe}$  検査はいずれも 10 mCi で行い、 ${}^{99m}\text{Tc-MAA}$  は 3 mCi で行った。

### III. 結 果

症例 A (T.T.): 66 歳, 女性, びまん性汎細気管支炎。Fig. 2 の上段左に  ${}^{81m}\text{Kr}$  プドウ糖静注法

による血流分布  $\dot{Q}$ , 上段右に  ${}^{99m}\text{Tc-MAA}$  による血流分布  $\dot{Q}$ , 下段右にその重力方向における分布をグラフにより示した。 $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  分布は左右肺に分け、それぞれ肺尖より肺底への分布として示してある。横軸は  $\dot{V}/V$  の相対値を示す。左右中肺野において、 $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  が低下している。下段左は、上段 2 つの血流分布  $\dot{Q}$  を  $6 \times 6 \text{ mm}^2$  のピクセルに分割し、それぞれのピクセルにおける換気率を Fig. 1 の式に当てはめて求めた結果を示す。

次に同症例について、 ${}^{81m}\text{Kr}$  と  ${}^{133}\text{Xe}$  吸入法を行った結果を示す (Fig. 3)。上段左に  ${}^{81m}\text{Kr}$  吸入法による換気分布  $\dot{V}$  を、上段右に  ${}^{133}\text{Xe}$  吸入法による肺容量分布 V を、また下段に  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{v}$  の分布を示している。Fig. 2 における  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  とほぼ同様の分布を示しているのがわかる。

Figure 4 左は  ${}^{81m}\text{Kr}$  プドウ糖静注法より求めた  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$ , 右は  ${}^{81m}\text{Kr}$  吸入法と  ${}^{133}\text{Xe}$  吸入法より求めた  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{v}$  のイメージを示す。両者はほぼ同様の分布を示し、左下肺において  $\dot{V}/V$  が大きいことを示している。

Figure 5 は本症例における  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  と  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{v}$  の相関をみたものである。

つまり、Fig. 2, Fig. 3 下段に示したヒストグラムより、相対応する肺野における  $\dot{V}/V$  値を求め、プロットした。 $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{q}$  を横軸に、 ${}^{133}\text{Xe}$  と  ${}^{81m}\text{Kr}$  より求めた  $\dot{V}/V (\text{R}) \dot{v}$  を縦軸にとり、右肺、

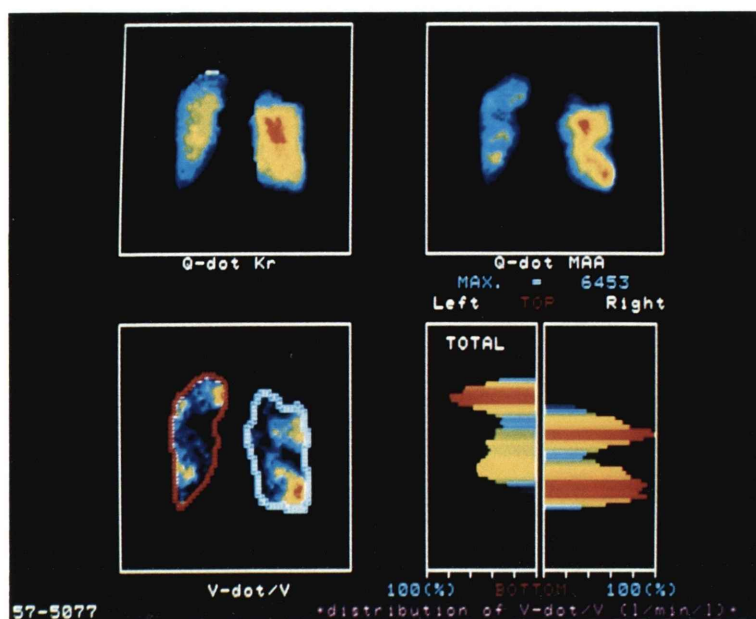


Fig. 2 Upper panel: Distribution of perfusion ( $\dot{Q}$ ) by  $^{81m}\text{Kr}$  (left) and that by  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA (right).  
Lower panel: Left: Image of regional  $\dot{V}/V$  calculated by the equation (4) in Fig. 1. Right: Histogram of  $\dot{V}/V$  from top to bottom of both lungs.

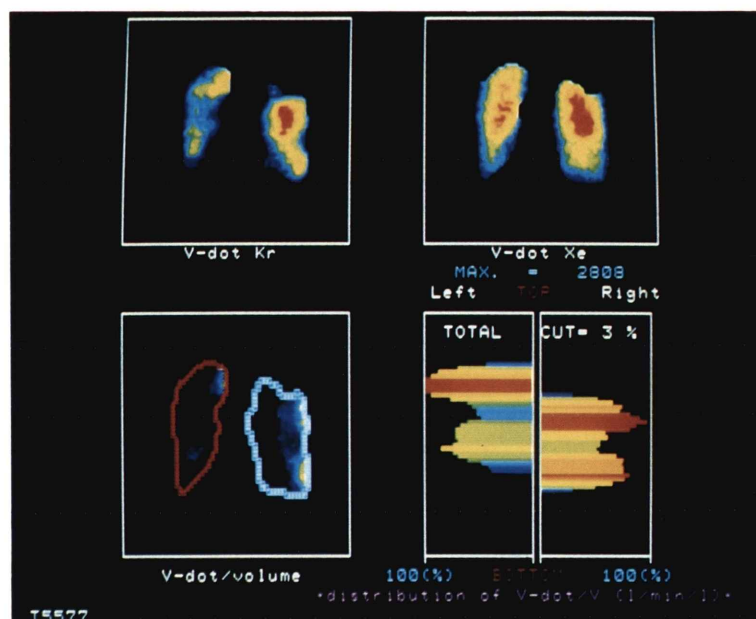


Fig. 3 Upper panel: Distribution of ventilation ( $\dot{V}$ ) by  $^{81m}\text{Kr}$  (left) and lung volume ( $V$ ) by  $^{133}\text{Xe}$  inhalation method (right).  
Lower panel: Histogram of  $\dot{V}/V$  from top to bottom of both lungs. Regional  $\dot{V}/V$  was obtained by  $^{81m}\text{Kr}$  and  $^{133}\text{Xe}$  inhalation study.

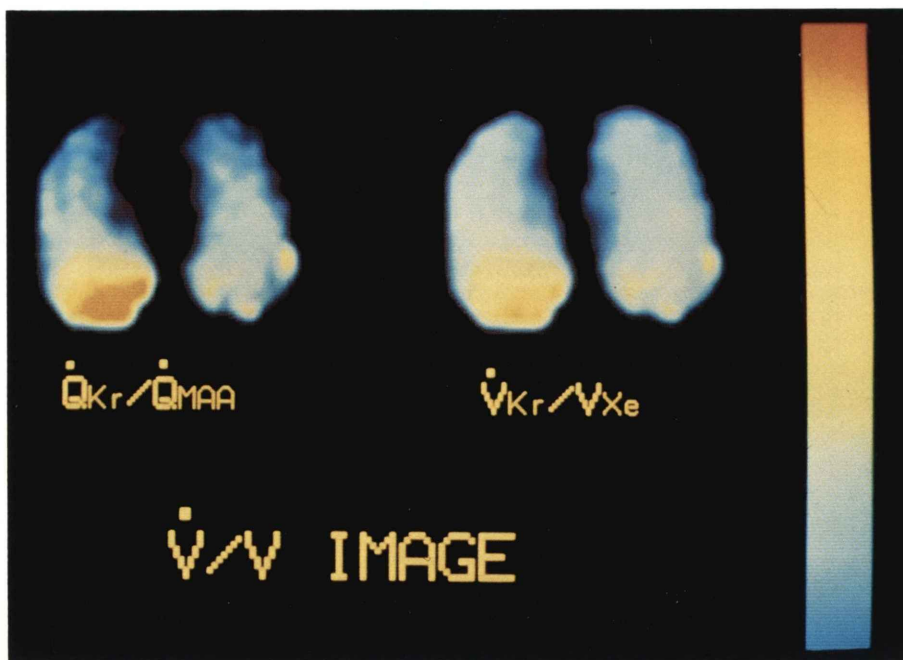


Fig. 4  $\dot{V}/V$  image obtained by perfusion studies of both  $^{81m}Kr$  solution and  $^{99m}Tc$ -MAA (left side) and  $\dot{V}/V$  image by inhalation studies of both  $^{81m}Kr$  and  $^{133}Xe$  gas. Distribution of  $\dot{V}/V$  is identical in both methods.

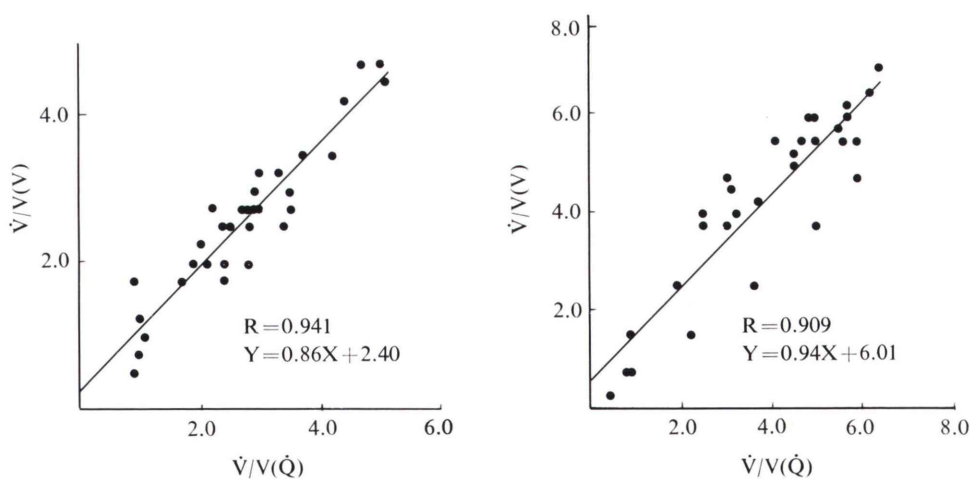


Fig. 5 Relationship between  $\dot{V}/V(R)$  and  $\dot{V}/V(Q)$ .  
Left: right lung. Right: left lung.  
Each plot shows  $\dot{V}/V$  in each slice from top to the bottom of the lung.



**Table 1** Correlation coefficients between  $\dot{V}/V(R)\dot{q}$  and  $\dot{V}/V(R)\dot{v}$  on 10 subjects

	Name	Age	Sex	Disease	FEV <sub>1.0</sub> (%)	VC (l)	Left	Right
A	T.T.	66	F	D.P.B.	50.0	2.24	0.91	0.94
B	J.F.	73	M	Chr. bronchitis	72.4	3.11	0.63 (0.47)	0.76
C	M.S.	63	M	Asthma	55.0	2.80	0.87	0.88
D	M.S.	15	F	Asthma	78.0	2.51	0.85 (0.61)	0.87
E	T.I.	60	M	Emphysema	51.6	4.10	0.95	0.95
F	M.Y.	64	F	Chr. bronchitis	75.0	1.80	0.84 (0.52)	0.92
G	R.N.	80	M	Emphysema	36.0	2.61	0.78	0.83
H	Y.K.	30	M	Normal	94.1	4.85	0.82	0.81 (0.55)
I	Y.A.	29	M	Normal	95.3	5.50	0.90	0.90
J	K.K.	48	M	Normal	88.2	5.10	0.87	0.86

FEV (%) : forced expiratory volume in one second per vital capacity.

VC : vital capacity.

( ) : correlation coefficient was calculated, including the activity in the subclavian vein.

左肺それぞれについてプロットしたものである。両者の相関は右肺において  $r=0.94$ ，左肺において  $r=0.91$  と良好な相関が得られた。

Table 1 は今回対象とした 10 名について， $\dot{V}/V(R)\dot{q}$  と  $\dot{V}/V(R)\dot{v}$  の相関係数を Fig. 5 のようにして求めたものである。

平均  $r=0.86$  の相関が得られた。相関係数が 0.7 以下 (カッコの数値) の症例について，肺尖部の 4 ピクセル，つまり 2.4 cm を除外して相関を求めると (上段の数値)，相関が良くなった。これは，鎖骨下静脈の影響を除くために行った。

#### IV. 考 察

$^{81m}\text{Kr}$  は， $^{81}\text{Rb}$ - $^{81m}\text{Kr}$  ジェネレータより得られる超短半減期核種であり，安静呼吸時にも換気分布が得られること<sup>1)</sup>， $^{81m}\text{Kr}$  ブドウ糖液として静注することにより，血流分布が得られること<sup>6)</sup>などの利点をもっている。しかし， $^{81m}\text{Kr}$  では，換気率 ( $\dot{V}/V$ ) に関する情報が得られないことが大きい欠点の 1 つとなっている。

$^{81m}\text{Kr}$  を吸入あるいは静注した場合，式 (1) に示すように  $\dot{V}/V$  の項が入っていることより，Ciofetta らは  $\dot{V}/V$  を求めることができることを示唆した。

今回，われわれは  $^{133}\text{Xe}$  によって肺容量 (V) を求め， $^{81m}\text{Kr}$  によって  $\dot{V}$  を求め，両者より  $\dot{V}/V$  を算出し， $^{81m}\text{Kr}$  静注法によって得た  $\dot{V}/V$  と比較対照した。

Figure 4 は，両者によって得られたイメージであるが，ほぼ等しい分布を示している。これは Fig. 5 における結果において示されるように，高い相関関係があることから， $\dot{V}/V(R)\dot{q}$  が  $\dot{V}/V(R)\dot{v}$  を表わしていることが立証されている。

本法の欠点としては，式 (4) 分子式内にある  $\dot{V}$ ，全肺における  $\dot{V}/V$  を RI 検査では求めることができず，スパイロメータによる値を代入しなければならない。一般に  $\dot{V}/V$  は，V を 2,500 ml， $\dot{V}$  を 500 ml，換気回数を 10 回とすると， $\dot{V}/V=2.0$  となり，これを代入することによっても  $\dot{V}/V$  分布は得られる。

通常の肺核医学検査では， $^{81m}\text{Kr}$  ガスによる換気分布と  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA による血流分布が検査される。そこで， $^{81m}\text{Kr}$  をブドウ糖液として静注する操作を加えることにより， $^{133}\text{Xe}$  によって新たに肺容量 (V) を得る必要はなく，ルーチン検査としては有用と考えられる。

症例 B (J.F.) においては，相関係数が低かったが，これは  $^{81m}\text{Kr}$  と  $^{133}\text{Xe}$  検査時の体位を同一

に保てなかったためと考えられる。本法の欠点として、血流分布は、生理的に肺尖部で欠除している場合があり<sup>9)</sup>、肺尖部における  $\dot{V}/V$  の評価には、問題があると考えられる。背臥位において検査する必要があるが、今回は検討しなかった。また、肺塞栓症など血流欠損のある場合にも評価はむずかしいと考えられる。

## V. まとめ

$^{81m}\text{Kr}$  静注法と  $^{99m}\text{Tc-MAA}$  による  $\dot{Q}$  分布評価の相違点に注目し、 $\dot{V}/V$  分布を算出し、その信頼性について、Xe 法と比較、検討した。その結果、臨床的にも信頼しうる値が得られた。

## 文 献

- 1) Fazio F, Jones T: Assessment of regional ventilation by continues inhalation of radioactive Krypton-81m. *Brit Med J* 3: 673-676, 1975
- 2) Rosen JM, Biello DR, Siegel BA, et al: Kr-81m ventilation imaging—Clinical utility in suspected pulmonary embolism—. *Radiology* 154: 787-790, 1985
- 3) Rosen JM, Palestro CJ, Markowitz D, et al: Significance of single ventilation/perfusion mismatches in Krypton-81m/Technetium-99m lung scintigraphy. *J Nucl Med* 27: 361-365, 1986
- 4) Narabayashi I, Suematsu T, Suematsu C: Assessment of SPECT ventilation—perfusion imaging in patients with lung cancer—. *Eur J Nucl Med* 12: 329-332, 1986
- 5) 川上憲司:  $^{81m}\text{Kr}$  による肺換気・血流検査. 放射線医学大系 39: 91-113, 1985
- 6) Harf A, Pratt T, Hughes JMB: Regional distribution of  $\dot{V}/\dot{Q}$  in man at rest and on exercise measured with Krypton-81m. *J Appl Physiol* 44: 115-123, 1978
- 7) 鈴木恒雄, 飯尾正明, 大谷直史, 他: 慢性肺疾患における  $^{81m}\text{Kr}$  をもちいた換気, 血流比の分布の検討. 日本胸部疾患学会雑誌 23: 1456-1463, 1985
- 8) Ciofetta G, Pratt TA, Hughes JMB: Comparison of Krypton-81m and Technetium-99m human serum albumin for measurement of pulmonary perfusion distribution. Clinical and experimental applications of Krypton-81m. *Brit J Rad*, special report no. 15, 1978
- 9) West JB: Ventilation/blood flow and gas exchange. Blackwell Scientific Publications, 1977

## Summary

### A Measurement of $\dot{V}/V$ Distribution by Intravenous Injection of Kr-81m and Tc-99m-MAA —A Comparative Study with Xe-133 Inhalation Method—

Yoichi OHTANI\*, Yasuoki MASHIMA\*, Yutaka MORI\*, Takao Shimada\*\*,  
Etsuo MORIYA\* and Kenji KAWAKAMI\*

*\*Department of Radiology, \*\*The Third Department of Medicine,  
Jikei University School of Medicine, Minato-ku, Tokyo*

Distribution of ventilation per unit lung volume ( $\dot{V}/V$ ) was measured by intravenous injection of Kr-81m and Tc-99m-MAA on 10 subjects having various pulmonary diseases.

The distribution of  $\dot{V}/V (R)\dot{Q}$  obtained by this method was compared with that ( $\dot{V}/V (R)\dot{V}$ ) obtained by the inhalation method of Kr-81m ( $\dot{V}$ ) and Xe-133 gas ( $V$ ).

The study was performed in sitting position. Kr-81m solution and Tc-99m-MAA was injected continuously to the antecubital vein during tidal breathing.

$\dot{V}$  and  $V$  on inhalation study was measured with Kr-81m gas and Xe-133 gas respectively. The lung

field was divided in about 30 slices with 6 mm thickness from top to bottom. Relative distribution of  $\dot{V}/V$  was compared between  $\dot{V}/V (R)\dot{Q}$  and  $\dot{V}/V (R)\dot{V}$  for each subject. Correlation coefficient was 0.76–0.95 in 20 lungs of ten subjects, except for one lung.

This result suggests that the distribution of  $\dot{V}/V$  measured by Kr-81m and Tc-99m-MAA represents regional  $\dot{V}/V$  in the lung.

This method is useful to measure  $\dot{V}/V$  when Xe-133 is not available.

**Key words:**  $\dot{V}/V$  distribution, Kr-81m, Tc-99m-MAA, Xe-133.