

## 《原 著》

C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> および <sup>11</sup>CO を用いた局所肺機能検査法

村田喜代史\* 藤堂 義郎\* 千田 道雄\* 玉木 長良\*  
 米倉 義晴\* 伊藤 春海\* 藤田 透\* 向井 孝夫\*  
 湊 小太郎\* 佐治 英郎\* 鳥塚 莞爾\*

**要旨** 京大病院医用小型サイクロトロンより生産される C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> および <sup>11</sup>CO を用いて、1回吸入法により局所肺機能を検討した。C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> の肺からの消失は肺血流に依存し、<sup>11</sup>CO の肺からの消失は肺胞膜拡散能と肺血流に依存する。この2つのガスの動態を解析することにより、肺胞膜拡散能と肺血流を分離し、局所的に評価することを試みた。正常人では、肺胞膜拡散能および肺血流の両者とも下肺野が上肺野に比して有意に大きな値を示した。肺塞栓症などの血管障害例では病変部が hot spot としてとらえられた。また肺線維症では、肺胞膜拡散能は正常例に比して有意の差は認められなかったが、肺血流は下肺野において有意の低下を示した。肺気腫症における肺胞膜拡散能と肺血流は、下肺野において有意の低下が認められた。

## I. はじめに

CO<sub>2</sub> や CO は肺胞でのガス交換の主体となるガスそのものであり、CO は肺拡散能を測定するガスとして広く用いられている。これらの生理的ガスを標識し、その肺における動態を解析することにより、肺のガス交換機能に関する情報を得ることが可能になる。ポジトロン放出核種である <sup>11</sup>C や <sup>15</sup>O で標識した CO<sub>2</sub> や CO は、1960年代はじめに、West ら<sup>1)</sup> や Dollery ら<sup>2)</sup> によって、局所肺血流や肺拡散能を評価するために用いられたが、サイクロトロンが必要であること、超短半減期核種であるために扱いにくいこと、0.51 MeV とエネルギーが高く良好な画像を得にくいことなどの理由により、その後、ポジトロンガスをを用いた報告はあまり多くない。しかし、近年、医用小型サイクロトロンの普及とともに、再び、CO<sub>2</sub> や CO などの生理的ガスをを用いた肺機能検査が注目

されてきている<sup>3~5)</sup>。C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> は局所肺血流に依存して肺から消失し、<sup>11</sup>CO あるいは C<sup>15</sup>O の肺からの消失は、肺胞膜拡散能と肺血流に依存すると考えられているので、これら2つのガスを組み合わせれば、肺胞膜拡散能と肺血流を分離して評価することが可能である<sup>6)</sup>。

一方、臨床的に肺拡散能の指標として用いられる DLCO は肺胞膜の変化ばかりでなく、肺血流にも依存することが報告されており<sup>7)</sup>、また、単位体積あたりの DLCO (DLCO/Va) を考えると、正常人においてもその分布は必ずしも均一ではない<sup>8)</sup>。当然、種々の疾患においては、肺血流や肺胞膜拡散能は局所的に不均一な分布をしていると考えられる。そこで DLCO の低下がみられる疾患において、局所的に2つの因子を分離して評価することは、病態を理解するうえで重要なことと思われる。

われわれは、C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> および <sup>11</sup>CO の1回吸入後の肺での動態を画像としてとらえると同時に、2つのガスの初期 RI 消失曲線の解析から、局所の肺胞膜拡散能と肺血流を分離して定量的に評価し、いくつかの疾患におけるこれらのパラメーターの変化を検討し、知見を得たので報告する。

\* 京都大学医学部核医学科放射線部

受付：59年3月21日

最終稿受付：59年5月28日

別刷請求先：京都市左京区聖護院川原町 54 (☎ 606)

京都大学医学部附属病院核医学科

村田 喜代史

## II. 方法および対象

### 1. ポジトロンガスの発生

$^{15}\text{O}$  は半減期 2 分のポジトロン放出核種で、京大病院の医用小型サイクロトロン (住友重機社製 CYRRIS MODEL 325) により、窒素ガスをターゲットとして 8 MeV の加速重陽子を照射し、 $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$  の核反応によって生成される。この  $^{15}\text{O}$  を  $400^\circ\text{C}$  のチャコールを通すことにより  $\text{C}^{15}\text{O}_2$  が生産された。

$^{11}\text{C}$  は半減期 20 分の核種で、同じく窒素ガスをターゲットに 16 MeV の加速陽子を照射し、 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$  の核反応によって生成される。この  $^{11}\text{C}$  を亜鉛粉末を充てんした  $400^\circ\text{C}$  の反応管を通すことにより  $^{11}\text{CO}$  が生産された。

ポジトロンガスは、検査室まで一定の流量で連続的に送られ、不必要な時は自動的にサイクロトロン室に戻るシステムになっているので、待ち時間なく検査を繰り返すことが可能である。

### 2. 検査方法

あらかじめ患者に応じて適当量の空気を入れたバッグに RI ガスを貯留し、被験者はこのガスを安静呼吸位より 1 回吸入し、10 秒間の呼吸停止を行った後、室内空気にて洗い出しを行った。座位の被験者の背面に 0.51 MeV 用パラレルコリメータを装着したガンマカメラ (Searle 社製 LFOV 型) を密着させて動態画像を撮像した。同時にこの間のデータは、電算機システム (DEC, PDP 11/60) により 1 フレーム 1 秒、 $64 \times 64$  マトリックスのデジタルイメージとして 60 秒にわたり収録した。投与 RI 量は 1 回吸入あたり、 $\text{C}^{15}\text{O}_2$  が 30 mCi、 $^{11}\text{CO}$  が 20 mCi を基準とした。

### 3. 対 象

検査対象は、正常ボランティア 6 例、血管障害例 3 例 (多発性肺塞栓症、高安病および右肺動脈欠損症各 1 例)、間質性肺疾患 9 例 (IIP 1 例、じん肺症 1 例、Hermansky-Padlak 症候群 1 例およびリウマチ肺 6 例)、肺気腫症 7 例の計 25 例である。診断は、血管障害例では、血管造影、肺換気血流シンチグラムに基づき、他は胸部 X 線写真、

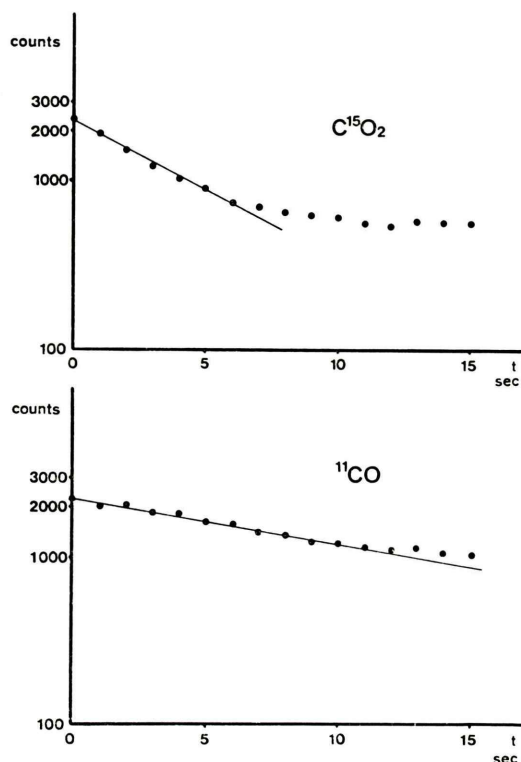


Fig. 1 Time-activity curves of  $\text{C}^{15}\text{O}_2$  and  $^{11}\text{CO}$  in the right upper lung field of a normal volunteer.

肺機能検査に依った。

### 4. 解析方法

Figure 1 は正常例の右上肺野に関心領域を設定し得られた  $\text{C}^{15}\text{O}_2$  および  $^{11}\text{CO}$  の time-activity curve を半減期補正をした後、片対数グラフにプロットしたものである。 $\text{C}^{15}\text{O}_2$  では、最初の数秒間はほぼ直線だが、それ以後消失率は低下する。われわれの方法では、同時計数回路を用いず、ポジトロンガスを single photon として扱っているために、RI activity の中には胸壁のものが含まれてくる。このために、約 10 秒間は再循環の影響を受けずに直線となる<sup>3)</sup>べき time-activity curve が Fig. 1 のようになったものと考えられる。しかし、少なくとも数秒間は肺からの消失を反映しており、この部分を解析対象とした。 $\text{C}^{15}\text{O}_2$  は肺胞に吸入されると即座に肺血流に入る<sup>6)</sup>ので、このガスの肺からの消失率は肺血流の指標になる<sup>6)</sup>。呼吸停止

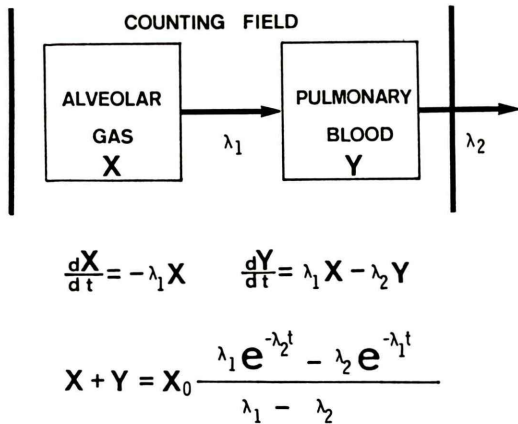


Fig. 2 The model for analysis of <sup>11</sup>CO clearance is shown. X: radioactivity in the alveolar gas. Y: radioactivity in the pulmonary blood.  $\lambda_1$ : alveolar transfer rate.  $\lambda_2$ : blood clearance rate.  $X_0$ : radioactivity at time 0, Total activity ( $X+Y$ ) in the counting field is measured using gamma camera.

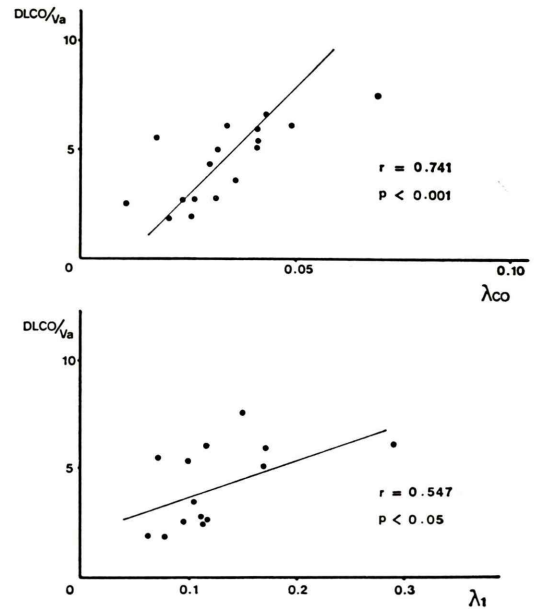


Fig. 3 The correlations between  $DLCO/V_a$  and  $\lambda_{CO}$  and between  $DLCO/V_a$  and  $\lambda_1$  are shown.

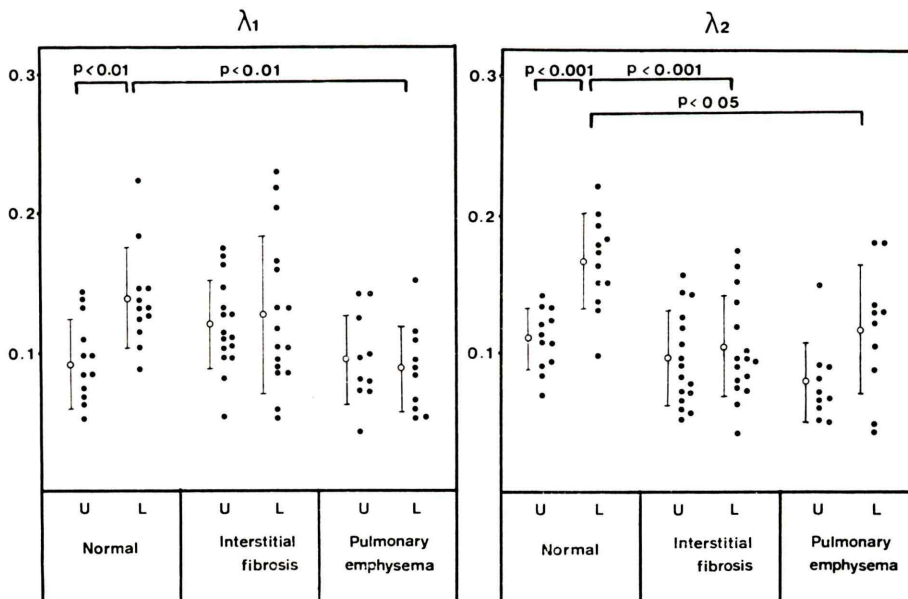


Fig. 4 Alveolar transfer rates ( $\lambda_1$ ) and blood clearance rates ( $\lambda_2$ ) are plotted in three groups. U: upper lung field. L: lower lung field.



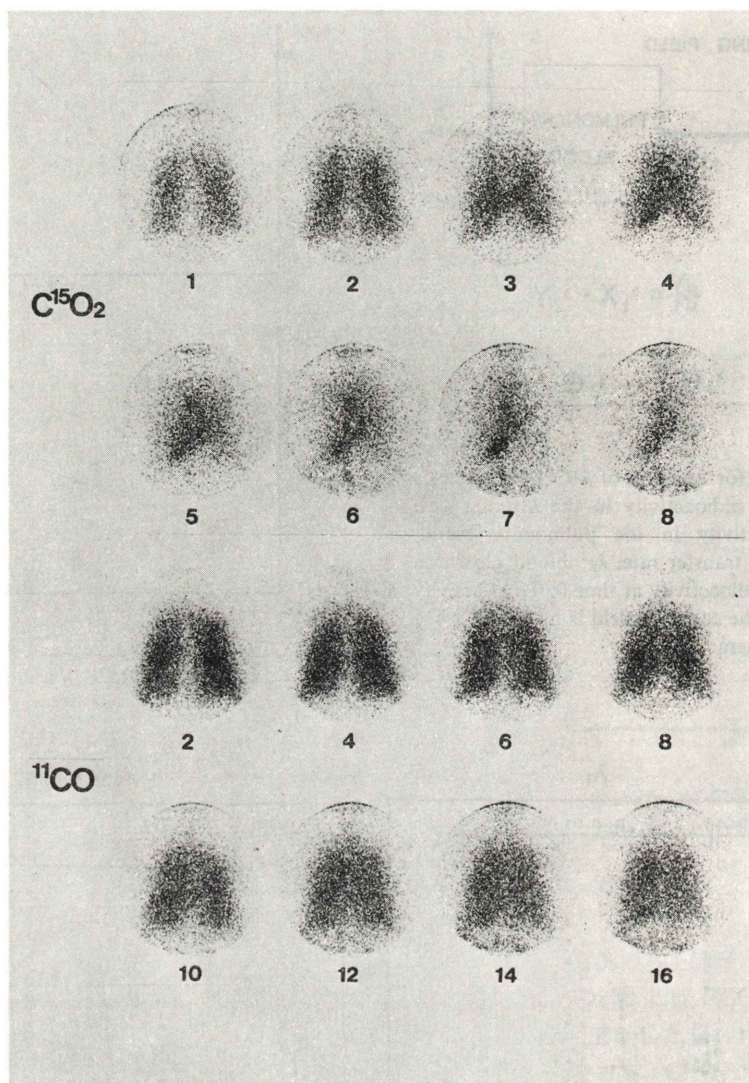


Fig. 5 Serial positron imaging after  $C^{15}O_2$  and  $^{11}CO$  inhalation in a normal volunteer. Note rapid clearance of  $C^{15}O_2$  from the lung compared to that of  $^{11}CO$ . No regional retention of radioactivity is observed on both gases.

後の数秒間を単一指数関数で表わされる減衰と考え curve fitting で得られた指数係数を  $\lambda_{CO_2}$  とし、肺血流の指標とした。

$^{11}CO$  の動態は、West のモデルを参考にして Fig. 2 に示した式に従うと仮定した。しかし実際には、Fig. 1 のごとく、ほぼ単一指数関数変化と考えることも可能である。そこで、 $C^{15}O_2$  と同様に最初の数秒間を単一指数関数で表わされる減衰

と考えて得られた指数係数を  $\lambda_{CO}$  とし、肺胞膜拡散能と肺血流の両者を含んだ総合的な指標とした。

次に、 $^{11}CO$  の動態が Fig. 2 で示される式に従うとすると、同一肺領域では、 $\lambda_2 = \lambda_{CO_2}$  とみなすことができるので、この値を式に代入し、得られた式が  $^{11}CO$  の肺からの消失の回帰式と考え、非線型の最小二乗法による curve fitting により  $\lambda_1$  を求めた。

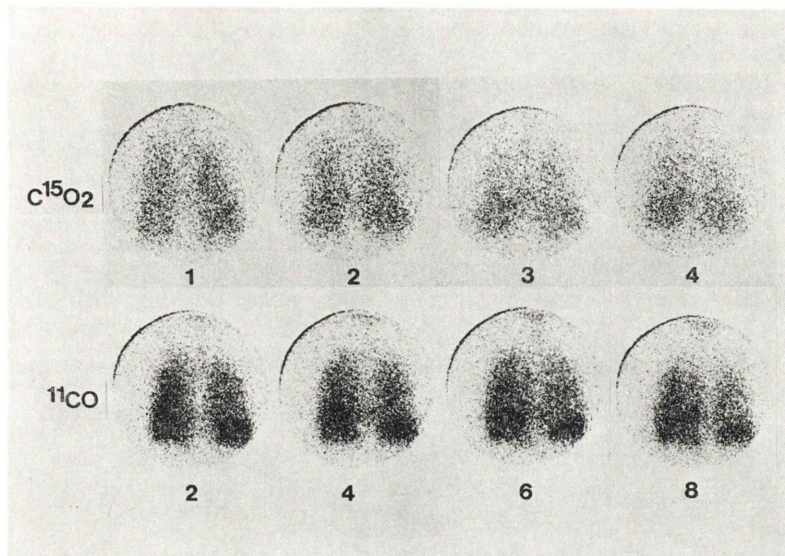


Fig. 6 Serial positron images in a patient with pulmonary embolism. Regional retention of radioactivity (hot spot) is noted in the middle and lower lung fields on both gases.

まず、臨床的に肺拡散能の指標として用いられる DLCO とポジトロン検査で得られるパラメーターの関係を検討するために、DLCO/Va と心を除く全肺で求めた  $\lambda_{CO}$  の相関を、肺機能検査が施行された17例において求めた。また、血管障害例では、 $\lambda_2$  の著明な低下のために、 $\lambda_1$  のばらつきが大きいため、これら3例を除いた14例について、全肺での  $\lambda_1$  と DLCO/Va の相関を求めた。

次に、局所におけるパラメーターの変化を検討するために、正常群、肺線維症群、肺気腫群の3群について、左右上下の4肺野で、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  を算出し比較検討した。肺線維症群には、胸部X線写真で結節網状影を示す間質性肺疾患8例を含み、多発結節影を示したじん肺症は除外した。肺気腫症7例中2例は下肺に RI ガスがほとんど入らず、局所検討から除外した。血管障害例においては病変部に関心領域を設定し、パラメーターを求めた。

### III. 結 果

#### 1. 肺全体でのパラメーターとDLCOとの関係

DLCO/Va と  $\lambda_{CO}$  の間には  $r=0.741$  の相関が

認められ ( $p<0.001$ )、DLCO/Va と  $\lambda_1$  の間には  $r=0.547$  の相関が認められた ( $p<0.05$ ) (Fig. 3)。

#### 2. ポジトロン動態画像と局所パラメーターの検討

正常群、肺線維症群および肺気腫群のそれぞれにおいて、上下肺野に分け、 $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  をプロットしたのが Fig. 4 である。

##### 1) 正 常

正常例における C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> および <sup>11</sup>CO の動態画像を Fig. 5 に示した。C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> はすみやかに肺から消失し、局所的な RI の貯留は認めなかった。また、吸入後数秒以内に左心系から下行大動脈が描出された。一方、<sup>11</sup>CO は C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> に比してゆるやかに肺から消失し、肺全体での  $\lambda_{CO}$  は  $\lambda_{CO_2}$  の 1/3 ないし 1/4 程度であった。4肺野で算出した  $\lambda_1$  では、上肺野が  $0.095 \pm 0.031$ 、下肺野が  $0.138 \pm 0.037$  で有意に下肺野が大きかった ( $p<0.01$ )。  $\lambda_2$  についても、上肺野が  $0.111 \pm 0.22$ 、下肺野が  $0.164 \pm 0.034$  で有意に下肺野が大きい値を示した ( $p<0.001$ )。

##### 2) 血管障害



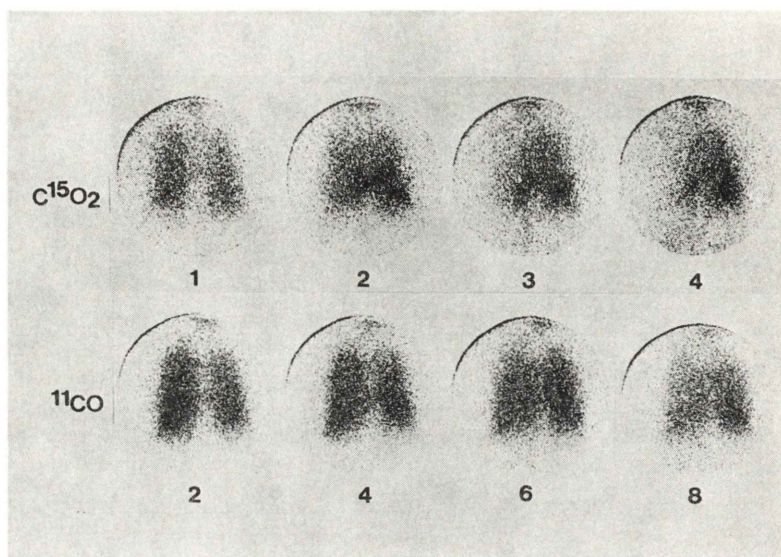


Fig. 7 Serial positron images in a patient with right pulmonary artery agensis. The clearance of radioactivity in the right lung is markedly delayed on both gases.

多発性肺塞栓症や高安病における肺動脈障害例では、 $C^{15}O_2$  および  $^{11}CO$  の両方のガスで血管障害領域に一致して RI の消失遅延が認められた。これらの部位では  $\lambda_{CO_2}$  と  $\lambda_{CO}$  の両者が著明に低下して値が近づくため、これから初出した  $\lambda_1$  はばらつきの大きい値を示した。

Figure 6 は多発性肺塞栓症におけるポジトロン動態画像である。両方のガスで、両側中下肺野の塞栓部位が hot spot として描出されている。右下肺野の hot spot に関心領域を設定して求めた  $\lambda_{CO_2}$  は 0.027 であった。

右肺動脈欠損症におけるポジトロン動態画像を Fig. 7 に示す。 $C^{15}O_2$ 、 $^{11}CO$  のどちらのガスでも右肺の RI の消失は著明に遅延していた。右肺の  $\lambda_{CO_2}$  は 0.026 であり、左肺の  $\lambda_{CO_2}$  は正常と有意の差は認められなかった。

### 3) 肺線維症

4 肺野での  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  を 8 例で検討してみると  $\lambda_1$  は上肺野で  $0.120 \pm 0.032$ , 下肺野で  $0.128 \pm 0.055$  で正常群にみられた上下肺野の差が消失する傾向がみられたが、上下肺野のそれぞれで正常群と比較すると有意の低下は認められなかった。しかし、

$\lambda_2$  は上肺野が  $0.095 \pm 0.033$ , 下肺野が  $0.102 \pm 0.037$  で、上下肺野の勾配が消失しており、正常群と比較して、下肺野で有意に低下していた ( $p < 0.001$ )。

### 4) 肺気腫症

4 肺野の  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  を 5 例で検討してみると、 $\lambda_1$  は上肺野で  $0.095 \pm 0.032$ , 下肺野で  $0.088 \pm 0.031$  となり、上下肺野の差が消失し、下肺野は正常群に比して有意に低下していた ( $p < 0.01$ )。  $\lambda_2$  は上肺野が  $0.079 \pm 0.028$ , 下肺野が  $0.117 \pm 0.046$  であり、やはり下肺野で正常群に比して有意に低下していた。

## IV. 考 案

West<sup>1)</sup>, Dollery<sup>2)</sup> らによって使用されて以来  $^{11}C$  や  $^{15}O$  で標識された  $CO_2$  や  $CO$  などのポジトロンガスは局所肺機能検査法の 1 つとして使われてきた。特に  $C^{15}O_2$  は赤血球に存在する炭酸脱水素酵素により  $^{15}O$  が  $H_2O$  に移るため<sup>9)</sup>、肺胞に吸入された RI は即座に血中に移行する。故に、 $C^{15}O_2$  の肺からの消失は局所肺血流のみに依存すると考えられ、このガスを用い、種々の疾患

での肺血流の変化を検討した報告<sup>1)</sup>や心疾患での左右シャントの定量化を試みた報告<sup>10)</sup>などがみられる。当然、肺血流の低下や遮断を生じる肺塞栓の検出にも有効で<sup>11)</sup>、われわれが経験した肺塞栓症でも塞栓部位が hot spot としてとらえられている。ポジトロン消滅ガンマ線のエネルギーが高いことや測定機器にガンマカメラを用いたことなどの理由で、分解能はあまり良くないが、肺塞栓による血流低下の程度を消失率によって定量的に評価できるので、治療経過中に検査を繰り返すことにより効果判定に有用であると考えられる。右肺動脈欠損症の患者の右肺はすべて気管支動脈を介して血液供給されているので、右肺の C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> の消失率は側副血行である気管支動脈血流を表わしている。十分に側副血行として発達すると気管支動脈血流は、消失率でみて、正常肺血流の 1/6 ないし 1/4 程度まで増加することがわかる。このように、C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> の動態は肺胞毛細血管レベルでの実際の血流を表わすので肺動脈が障害される種々の疾患において、側副血行の量的評価が可能であると考えられる。

肺血流を評価するのに、<sup>11</sup>CO<sub>2</sub> を用いた報告もいくつかみられるが<sup>3-5)</sup>、West らが述べているように、<sup>11</sup>CO<sub>2</sub> の肺からの消失率は、正常人において、C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> の消失率の 1/2 程度である<sup>12)</sup>。これは、<sup>11</sup>CO<sub>2</sub> では C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> と異なり、RI が巨大な H<sub>2</sub>O のプールに入らず、肺胞気と血液の間で平衡状態が成り立っているためと考えられている。その肺からの消失は肺血流に依存するものの、肺胞気中存在する RI のために肺からの消失率は、肺血流による消失率よりも低い値となる。肺胞気の RI 量は呼吸レベル、病態によって変化すると考えられるので、局所肺血流の定量的な指標として <sup>11</sup>CO<sub>2</sub> を用いる時には、何らかの補正が必要と思われる。

<sup>11</sup>CO の動態は、肺胞膜拡散能と肺血流の両者に依存するが、肺血流が著明に低下する時には、消失率は主として肺血流に依存する<sup>3)</sup>。Taplin ら<sup>13)</sup>は、<sup>11</sup>CO を用いて肺塞栓を hot spot としてとらえ、<sup>99m</sup>Tc-MAA を用いた肺血流シンチグラムでの欠損よりも sensitivity が高いと述べている。

われわれの肺塞栓症の患者においても <sup>11</sup>CO によって比較的明瞭な hot spot が描出されている。このように、肺血流のうっ滞を画像としてとらえる目的には <sup>11</sup>CO は有用であるが、このガスには、肺胞から毛細血管に向かって 1 方向性に拡散し、赤血球と強力に結合するという特質があり、これを利用した局所肺拡散能の検討は、West らが報告<sup>6)</sup>して以来、あまり多くはみられない<sup>3,4,14)</sup>。

臨床的に肺拡散能の指標として用いられる DLCO は、肺血流と強い相関を示すことが報告され<sup>7)</sup>、われわれのデータでも DLCO/Va は肺胞膜拡散能 ( $\lambda_1$ ) だけよりも、肺血流を含んだ  $\lambda_{co}$  により強い相関を示し、DLCO は、肺血流の影響を強く受けると思われる。そのために、DLCO が低下している患者においては、肺胞膜拡散能と肺血流を分離して検討することが必要になる。木村ら<sup>3)</sup>は慢性閉塞性疾患の患者の中に <sup>11</sup>CO<sub>2</sub> の消失率は比較的保たれているのに比して、<sup>11</sup>CO の消失率が著明に低下している肺領域があり、この部分には肺胞膜拡散能の障害があると述べている。古館ら<sup>14)</sup>は、肺線維症において、<sup>11</sup>CO<sub>2</sub> の消失率に比して、<sup>11</sup>CO の消失率がより著明に低下したと報告している。このように、<sup>11</sup>CO<sub>2</sub> と <sup>11</sup>CO を用いた場合には、<sup>11</sup>CO の消失率の、<sup>11</sup>CO<sub>2</sub> の消失率に対するアンバランスな低下ということから、局所の肺胞膜拡散能の障害を評価することができる。さらに C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> と <sup>11</sup>CO を用いると、 $\lambda_1$  値によって肺胞膜拡散能を肺の局所間で、あるいは症例間で比較することが可能になる。

正常人においては、坐位では、肺胞膜拡散能も肺血流も、上肺野に比して下肺野の方が有意に大きな値を示したが、West ら<sup>6)</sup>も同様の成績を得ている。重力効果により下肺の血流が増加し、そのために肺胞毛細血管も充満するのに対し、上肺では、毛細血管が充満せず、血液量と拡散面積に差が生じることが、肺血流ばかりでなく、肺胞膜拡散能にも上下勾配を生じる原因と考えられる。

胸部 X 線写真でびまん性の結節網状影を呈する肺線維症においては、肺胞膜拡散能に正常群と有意の差が認められなかったが、肺血流は下肺野で



有意の低下を示した。下肺に変化が強いリューマチ肺の症例が多かったことが下肺野のみで有意差がみられた原因の1つとも考えられるが、びまん性の肺線維症では肺血流の上下勾配が消失するという報告もあり<sup>15)</sup>、下肺野での血流低下は、肺線維症による変化と考えるとよいと思われる。

肺線維症のように間質が増加する状態では、 $C^{15}O_2$ がこの間質スペースにも拡散するために $\lambda_{CO_2}$ は実際の肺血流による消失率よりも小さくなる<sup>16)</sup>ために、これを用いて算出した $\lambda_1$ は実際よりも大きくなる。そのために肺線維症群の肺胞膜拡散能は、正常群と有意の差が認められなかったのかもしれない。しかし、いわゆるA-Cブロックといわれる疾患において肺胞膜肥厚は、拡散能障害において大きな原因とはならないという報告もあり<sup>17)</sup>、肺線維症では、DLCO低下に占める血流低下の割合が大きいことが推測される。

肺気腫症では、肺血流の低下と同時に下肺野での肺胞膜拡散能の低下が認められた。肺気腫症例の中に、 $C^{15}O_2$ の肺からの消失がかなり遅延する症例がみられたが、このような症例では、 $C^{15}O_2$ の消失率は必ずしも肺血流の低下だけを表わしていない可能性がある。つまり、1回吸気で十分に肺胞まで入らず、呼吸停止の間に徐々にRIが末梢まで入っていくという病態があると肺血流を過少に評価することになるからである。閉塞性肺疾患では、このような誤差を含みうるが、われわれの方法ではこれを分離することはできない。そして、過少に評価した $\lambda_{CO_2}$ を用いて算出した $\lambda_1$ は実際よりも大きな値を示すかもしれない。しかし肺気腫群での下肺野の $\lambda_1$ は、このような誤差を含んでいるとしても、なお有意の低下を示したことを考えると、肺気腫症では、肺胞膜拡散能の低下は病態を表わす重要な所見と考えられる。

肺胞腫症の病理学的特徴は、正常肺組織の破壊であり、当然、単位体積あたりの毛細血管数は減少し、血液が充満した状態でも拡散面積は減少し、肺胞膜拡散能の低下が生じるとと思われる。また、この肺胞膜拡散能の低下の程度により、毛細血管床減少の程度を量的に評価できる可能性がある

と考えられる。肺気腫症では、DLCOが低下することが知られているが<sup>18)</sup>、これには肺胞膜拡散能の低下と肺血流の低下という2つの要因が含まれていると考えられる。

以上のごとく、いくつかの問題点は含んではいるものの、 $C^{15}O_2$ および $^{11}CO$ を用いた検査法は1回吸入法という比較的簡単な方法で、局所肺血流と肺胞膜拡散能を、画像および数値として評価できるという点で有用であると思われる。種々の疾患で、これらのパラメーターの変化やその分布を検討することにより、病態把握の一手段となり、また、鑑別診断の一助になるのではないかとと思われる。

## V. まとめ

1)  $C^{15}O_2$ および $^{11}CO$ の1回吸入後の動態解析により、局所肺血流と肺胞膜拡散能を分離して評価した。

2) 坐位における正常人において、肺血流および肺胞膜拡散能は、下肺野の方が上肺野よりも有意に大きい値を示した。

3) 肺塞栓症などの血管障害例では、病変部がhot spotとして描出され、治療効果判定や側副血行の評価に有用と考えられた。

4) 肺線維症では、DLCO低下に占める血流低下の割合が大きいことが示峻された。

5) 肺気腫症では、DLCO低下は局所肺血流の低下と肺胞膜拡散能の低下の2つの要因があると考えられた。

本論文の要旨は、第23回日本核医学会総会(1983年、大阪)、第24回日本胸部疾患学会総会(1984年、東京)にて発表した。

## 文 献

- 1) West JB, Dollery CT, Hugh-Jones P: The use of radioactive carbon dioxide to measure regional blood flow in the lungs of patients with pulmonary diseases. *J Clin Invest* **40**: 1-12, 1961
- 2) Dollery CT, Dyson NA, Sinclair JD: Regional variations in uptake of radioactive CO in the normal lung. *J Appl Physiol* **15**: 411-417, 1960



- 3) 木村敬二郎, 力武知之, 松本 徹, 他: <sup>11</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>11</sup>CO による局所肺機能測定法——肺における RI 減衰曲線の検討——. 核医学 16: 521–528, 1979
- 4) 木村敬二郎, 力武知之, 松本 徹, 他: <sup>11</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>11</sup>CO, <sup>13</sup>N-N による肺動態イメージの臨床応用. 核医学 16: 907–915, 1979
- 5) 古舘正従, 伊藤和夫, 入江五朗, 他: <sup>11</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>11</sup>CO, <sup>13</sup>N<sub>2</sub> による肺動態画像の評価——<sup>99m</sup>Tc-MAA および <sup>13</sup>Xe ガスとの対比による——. 映像情報 14: 1101–1106, 1982
- 6) West JB, Holland AB, Dollery CT, et al: Interpretations of radioactive gas clearance rates in the lung. J Appl Physiol 17: 14–20, 1962
- 7) Johnson RL, Spicer WS, Bishop JM, et al: pulmonary capillary blood volume, flow, and diffusing capacity during exercise. J Appl Physiol 15: 893–902, 1960
- 8) Gurtner GH, Fowler WS: Interrelationships of factors affecting pulmonary diffusing capacity. J Appl Physiol 30: 619–624, 1971
- 9) Dollery CT, Heimburg P, Hugh-Jones P: The relationship between blood flow and clearance rate of radioactive carbon dioxide and oxygen in normal and oedematous lungs. J Physiol 162: 93–104, 1962
- 10) Boucher CA, Ahluwalia B, Block PC, et al: Inhalation imaging with oxygen-15 labeled carbon dioxide for detection and quantitation of left-to-right shunts. Circulation 56: 632–640, 1977
- 11) Nichols AB, Cochavi S, Hales CA, et al: Resolution rates of pulmonary embolism assessed by serial positron imaging with inhaled O-15-labeled carbon dioxide. J Nucl Med 20: 281–286, 1979
- 12) West JB, Dollery CT: Uptake of oxygen-15-labeled CO<sub>2</sub> compared with carbon-11-labeled CO<sub>2</sub> in the lung. J Appl Physiol 17: 9–13, 1962
- 13) Taplin GV, Chopra SK, MacDonald NS, et al: Imaging small pulmonary ischemic lesions after radioactive carbon monoxide inhalation. J Nucl Med 17: 866–871, 1976
- 14) 古舘正従, 南 幸論, 浅沼義英, 他: <sup>11</sup>CO による局所肺拡散能評価についての検討. 日本胸部疾患学会雑誌 21巻 (増刊): 149, 1983
- 15) West JB: Regional differences in the lung. Academic press, New York, 1977, p. 153
- 16) Hughes JMB: Short-life radionuclides and regional lung function. Brit J Radiol 52: 353–370, 1979
- 17) Finley TN, Swenson EW, Comroe JH: The cause of arterial hypoxemia at rest in patients with “alveolar-capillary block syndrome”. J Clin Invest 41: 618–622, 1962
- 18) Symonds G, Renzetti AD, Mitchell MM: The diffusing capacity in pulmonary emphysema. Am Rev Resp Dis 109: 391–394, 1974

## Summary

### Regional Pulmonary Function Assessed by C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> and <sup>11</sup>CO Inhalation

Kiyoshi MURATA, Giro TODO, Michio SENDA, Nagara TAMAKI, Yoshiharu YONEKURA, Harumi ITOH, Toru FUJITA, Takao MUKAI, Kotaro MINATO, Hidero SAJI and Kanji TORIZUKA

*Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University School of Medicine, Kyoto*

Regional pulmonary blood flow and diffusion were measured using positron imaging of C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> and <sup>11</sup>CO. Blood flow was estimated from the monoexponential clearance rate of C<sup>15</sup>O<sub>2</sub>. The alveolar transfer rate (diffusion) was calculated by the clearance curve of <sup>11</sup>CO and the clearance rate of C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> using a non-linear least-squares fitting method. Six normal volunteers and nineteen patients with various pulmonary disorders underwent C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> and <sup>11</sup>CO inhalation. In normal subjects, the alveolar transfer rates and blood flow in the lower lung field were significantly greater than those in the upper lung field. Pulmonary emboli were demonstrated as “hot spots” on

serial positron images. In patients with interstitial fibrosis, the alveolar transfer rate was not different from that in normal subjects. However, blood flow was significantly lower than in the normals. In patients with pulmonary emphysema, the alveolar transfer rate was lower suggesting the decreased alveolar capillary beds. Thus, dynamic study using C<sup>15</sup>O<sub>2</sub> and <sup>11</sup>CO inhalation provides regional blood flow and diffusion, which may permit the differentiation of various pulmonary disorders.

**Key words:** Radioactive gases, Clearance rate, Pulmonary perfusion, Diffusing capacity.