

《原 著》

## Single breath washout 法による functional image 作成に 適した換気の指標と matrix size の検討

蝦名 昭男\* 井沢 豊春\* 手島 建夫\* 平野 富男\*  
今野 清\*

**要旨** 一回呼吸洗い出し法を用いて、肺の機能図の作成に適したマトリックスの大きさと指標について検討した。一回呼吸洗い出し法は、 $^{133}\text{Xe}$  を 10~15 mCi 吸入させた場合、バックグラウンドをほとんど考慮する必要がなかった。洗い出し曲線から直接求めた 50% 洗い出し時間 ( $T_{1/2}\text{R}$ ) は、 $16 \times 16$  マトリックスに分割した肺領域 ( $2.5 \times 2.5\text{ cm}$ ) においても、慢性閉塞性肺疾患例では求められない領域があり、 $T_{1/2}\text{R}$  を基準とする限り、さらに大きな肺領域を対象とする必要があった。一次指數近似曲線は、洗い出し曲線と解離し、求めた 50% 洗い出し時間 ( $T_{1/2}\text{exp}$ ) は  $T_{1/2}\text{R}$  と相関がわるく、 $T_{1/2}\text{R}$  の代用とはならなかつた。洗い出し開始 10 秒後から 130 秒までの洗い出し曲線の面積を 10 秒後と 130 秒後の平均カウントの差で除して求めた  $TA_{H}$  は  $T_{1/2}\text{R}$  との相関もよく、常に求められ、一秒率などの肺機能との相関もよく、局所肺の換気や肺機能を反映した機能図の作成に最も適していた。

### I. はじめに

肺の局所の換気異常を検出するために、吸入、あるいは静注した  $^{133}\text{Xe}$  の肺からの洗い出しの追跡が行われる。初期には、肺部に多数の検出器を当て、各検出器で経時的に測定される  $^{133}\text{Xe}$  の時間-放射能曲線から換気の異常を検出し、さらに定量的な評価も試みられた<sup>1)</sup>。近年、 $\gamma$  カメラとコンピュータを用いたデータ処理システムを連結することにより、肺の画像を多数のマトリックスに分割し、各マトリックスに相当するきわめて微小な肺領域でも、任意のサンプリング時間による  $^{133}\text{Xe}$  の時間-放射能曲線が得られるようになつた<sup>2,3)</sup>。さらに、換気の異常を定量的に評価するため、得られた時間-放射能曲線から、近数近似法や height over area 法などにより換気の指標を

求め、指標の肺内の分布図(機能図)の作成が可能になった<sup>2,4)</sup>。

しかし、対象とする肺領域が小さくなるにつれて、各肺領域では、サンプリング時間当たりの計数率が減少して、計測値の統計変動が大きくなり、同時に呼吸運動による肺の位置の変化が計測値に影響を与えることが必至となる。その結果、換気の指標の値が不正確になり、求める方法によっては、時に求めることすら不可能になる。したがつて換気の指標を求める方法と、それに対する統計変動の影響、呼吸による肺の位置変化の影響をうけにくい最小の領域の大きさについての検討が必要である。

今回、われわれは、一回呼吸洗い出し法を用いて、肺局所換気異常の定量的評価が可能で、かつ機能図の作成に適した換気の指標とマトリックスの大きさ、および肺全体で求めた指標と肺機能検査結果との関係について検討したので報告する。

### II. 対 象

対象は、1979年12月から1981年10月にかけて、

\* 東北大学抗酸菌病研究所内科

受付：59年12月24日

最終稿受付：60年3月27日

別刷請求先：仙台市星陵町4-1 (〒980)

東北大学抗酸菌病研究所内科

蝦名 昭男

仙台厚生病院および東北大学抗酸菌病研究所附属病院に入院した、慢性閉塞性肺疾患（一秒率<55%）13例、その他の肺疾患26例、および正常4例である。

### III. 方 法

#### 1) データの集録

$^{133}\text{Xe}$  3～5 mCi/l  $\text{O}_2$  を含むバッグから、坐位で、残気量位から全肺気量位まで深呼気させ、約10～15秒間の息止めの後、空気を用いて安静換気下で10分間の洗い出しを行った。計測は背面から $\gamma$ カメラ\*を用いて行い、処理装置EDR 4200 HD\*\*に $256 \times 256$ または $128 \times 128$ マトリックスに分割したリストモードでデータを集録した。

#### 2) データの編集と肺の関心領域の決定

計測データの処理と解析はコンピュータシステム\*\*\*と用いて行った。

最初に肺全体を含む関心領域を設定してサンプリング時間1秒の時間-放射能曲線を作成し、洗い出し開始点を正確に求め、次に原画像をサンプリング時間1秒の $64 \times 64$ マトリックスのフレームデータ、サンプリング時間5秒の $64 \times 64$ 、 $32 \times 32$ 、および $16 \times 16$ マトリックスのフレームデータに変換した。肺領域の決定にあたっては、洗い出し開始10秒からは安静換気とみなせると仮定して、130秒後までの120秒間の加算像で脊椎上に相当する領域の放射能以上の放射能を有する領域を肺全体の関心領域とした。

#### 3) 換気の指標の算出方法

換気の指標は、洗い出し開始10秒後からを解析区間として、次に示すような3種類の指標を求めた(Fig. 1)。

a) 洗い出し曲線で $^{133}\text{Xe}$ が50%洗い出される時間：  $T_{1/2} R$

b) 洗い出し曲線で10～85秒後、または10～

\*: RC-IC-1205; Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan

\*\*: Hitachi EDR-4200 HD; Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan

\*\*\*: Hitachi HITAC 10II/A; Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan

130秒後までを一次指数関数に近似して求めた半減時間：  $T_{1/2} \text{exp}$

c) 洗い出し曲線で10～85秒間または10～130秒間の総カウント(A)を、10秒後(a)と85秒後または130秒後の前後5秒間の平均カウント(d)の差で除して求めた指標：  $T_{A,H}$

$$T_{A,H} = A/(a-d)$$

#### 4) 肺全体での指標の算出

肺全体を関心領域として、マトリックスサイズ $64 \times 64$ 、サンプリング時間1秒で得られた洗い出し曲線は規則的に凹凸をくりかえしながら減少し、その凹凸は画面全体を関心領域として得られた時間-放射能曲線の凹凸と一致し、洗い出し曲線にみられる $^{133}\text{Xe}$ の放射能の周期的な上昇は、気道および回路内に残留する $^{133}\text{Xe}$ の再吸入によると

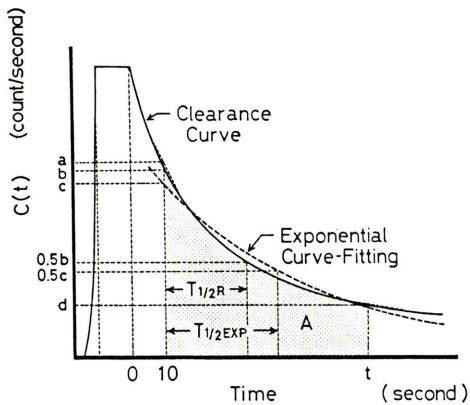


Fig. 1 Procedure for estimating ventilation indexes.  
 $T_{1/2} R$ : real half time.

$T_{1/2} \text{exp}$ : half time estimated from exponential curve fitting.

$T_{A,H}$ :  $A/(a-d)$ .

a: Mean of activity of  $^{133}\text{Xe}$  between 5 and 15 seconds after washout.

b: Activity of  $^{133}\text{Xe}$  10 seconds after washout.

c: Activity of  $^{133}\text{Xe}$  at 10 seconds estimated from exponential curve-fitting between 10 and 75 or between 10 and 130 seconds after washout.

d: Mean of activity of  $^{133}\text{Xe}$  between 70 and 80 or between 125 and 135 seconds after washout.

A: Area under washout curve obtained by integrating the count-rates between 10 and 85 or between 10 and 130 seconds.

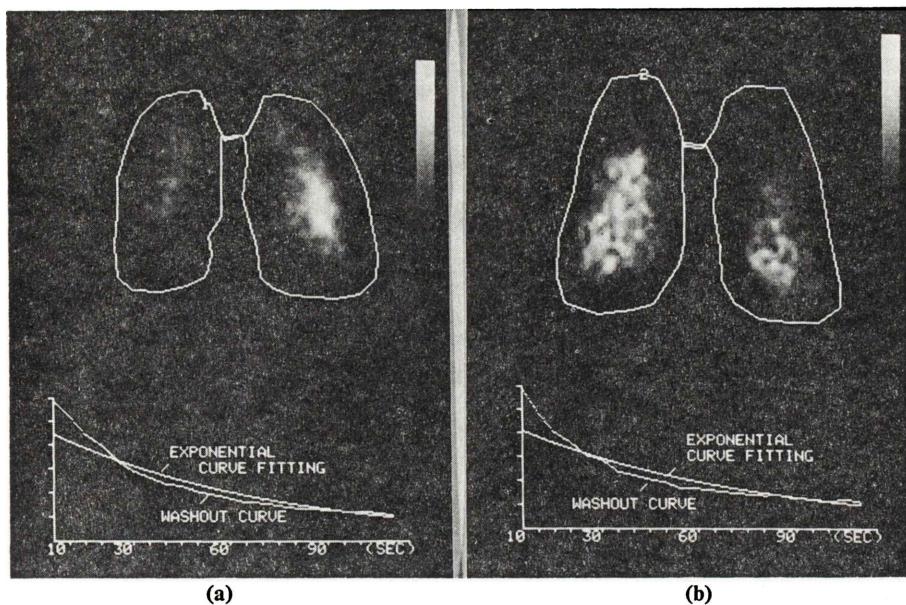


Fig. 2 <sup>133</sup>Xe clearance curves in the overall lungs and their exponential curve fittings.

- (a) Case 1. 31 y.o. healthy male without history of lung disease. VC; 4,700 ml,  
FEV<sub>1.0</sub>%; 83%.
- (b) Case 2. 63 y.o. male with chronic obstructive lung disease. VC; 2,530 ml,  
FEV<sub>1.0</sub>%; 37.3%.

思われた。それゆえ、サンプリング時間を1秒とすると、平滑化(1:3:1)ありの条件でなければT<sub>1/2 R</sub>を求めることが不可能であった。しかし、サンプリング時間を5秒にすると、平滑化なしでもT<sub>1/2 R</sub>を求めることが可能であった。しかも、こうして求めたT<sub>1/2 R</sub>は、サンプリング時間1秒で平滑化ありの条件で求めたT<sub>1/2 R</sub>と同一で、差のある場合も1~2秒と僅少であった。したがって、肺全体については、サンプリング時間5秒で平滑化なしの条件で洗い出し曲線と指数近似曲線を作成し、各指標を求めた。

### 5) 局所肺領域での指標の算出

局所肺領域については、肺底部に設定した高さ2.5 cmの関心領域の時間-放射能曲線で呼気時の放射能が吸気時の1/3~1/4になることから、呼吸による肺底部の位置変化は1 cm以上と考えられ、<sup>133</sup>Xeのエネルギーと計測システムの分解能を考慮して、それぞれ12×12, 25×25 mmに相当する16×16または32×32マトリックスに分割

した肺領域を対象としたことにした。各肺領域で、サンプリング時間5秒で平滑化ありの条件で洗い出し曲線を作成してT<sub>1/2 R</sub>とT<sub>1/2 exp</sub>を求め、平滑化なしの条件でT<sub>A,H</sub>を求めた。さらに、これらの指標を用いて解析区間とマトリックスの大きさの影響を検討した。

### 6) 肺全体で算出した指標と肺機能との検討

最後に、肺全体を対象として解析区間を120秒間として求めた指標と、一秒率、MMF、 $\dot{V}_{50}$ 、 $\dot{V}_{25}$ 等の肺機能との関係を検討し、指標間の比較を行った。

## IV. 結 果

### 1) 肺全体での指標に対する解析区間の影響

肺全体を対象として得られた洗い出し曲線は、解析区間が短い場合はよく指数近似されたが、解析区間を延長するにつれて、洗い出し曲線と近似曲線は大きく解離するようになった(Fig. 2 a, b)。その結果、T<sub>1/2 R</sub>とT<sub>1/2 exp</sub>の相関係数は、

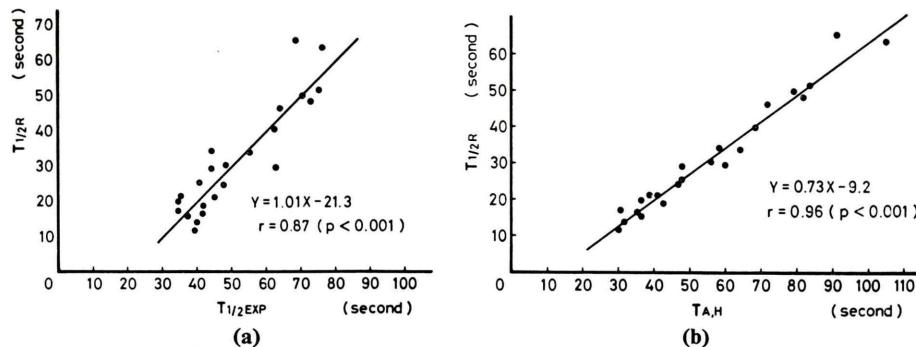


Fig. 3 Comparison between overall  $T_{1/2}R$  and (a)  $T_{1/2}\text{exp}$  and (b)  $TA,H$ , respectively.

解析区間が75秒では $r=0.97$ と良好であったが、解析区間が120秒間では $r=0.87$ と急激に小さくなつた(Fig. 3 a, Fig. 6)。一方、 $TA,H$ は解析区間の影響をうけず、 $T_{1/2}R$ との相関は良好で、 $r=0.96$ とほぼ一定であった(Fig. 3 b, Fig. 6)。

## 2) 局所肺領域での指標に対するマトリックスの大きさと解析区間の影響

正常および肺機能の良好な例では、 $16 \times 16$ マトリックスに分割すると、ほぼ全肺野で $T_{1/2}R$ が求められたが、 $32 \times 32$ マトリックスに分割すると、洗い出し曲線の凹凸のために、一部の肺領域でしか $T_{1/2}R$ が求められなかつた(Fig. 4 a, b)。しかし、慢性閉塞性肺疾患例では、 $32 \times 32$ のみならず、 $16 \times 16$ マトリックスに分割しても、洗い出しが遅れる領域では $T_{1/2}R$ が求められなかつた(Fig. 4 c, d)。

$16 \times 16$ マトリックスに分割した局所肺領域で求めた $T_{1/2}R$ と $T_{1/2}\text{exp}$ の間には、解析区間が75秒では $r=0.80$ 、120秒間では $r=0.71$ (Fig. 5 a)の相関がみられた。肺全体を対象とした場合と比較すると、解析区間を延長するにつれて両者の相関が悪くなる点では同様の傾向を示したが、いずれの区間においても相関が悪かった(Fig. 6)。 $T_{1/2}R$ と $TA,H$ の間には解析区間が75秒では $r=0.82$ 、120秒間では $r=0.92$ (Fig. 5 b)の相関がみられた。肺全体を対象とした場合と異なつて、両者の関係には解析区間の影響がみられ、解析区間を延長するにつれて相関がよくなる傾向を示した。しかし、肺全体を対象とした場合よりは相関が悪

かたつた。いずれの区間においても、 $TA,H$ は $T_{1/2}\text{exp}$ よりも $T_{1/2}R$ と良好な相関を示していた(Fig. 6)。

## 3) 肺全体での換気の指標と肺機能の関係

解析区間を洗い出し開始10秒後から130秒までの120秒間として求めた $T_{1/2}R$ 、 $T_{1/2}\text{exp}$ 、 $TA,H$ と肺機能検査結果の関係をみると、いずれの指標も一秒率、MMF、 $\dot{V}_{50}$ 、 $\dot{V}_{25}$ との間に有意な負の相関を認めた。一秒率との相関が最もよく、一秒率は、 $T_{1/2}R$ との間に $r=-0.74$ 、 $T_{1/2}\text{exp}$ との間に $r=-0.82$ 、 $TA,H$ との間に $r=-0.81$ の有意な相関がみられたが、おのおのの相関係数の間に有意差がなかつた(Fig. 7 a, b, c)。

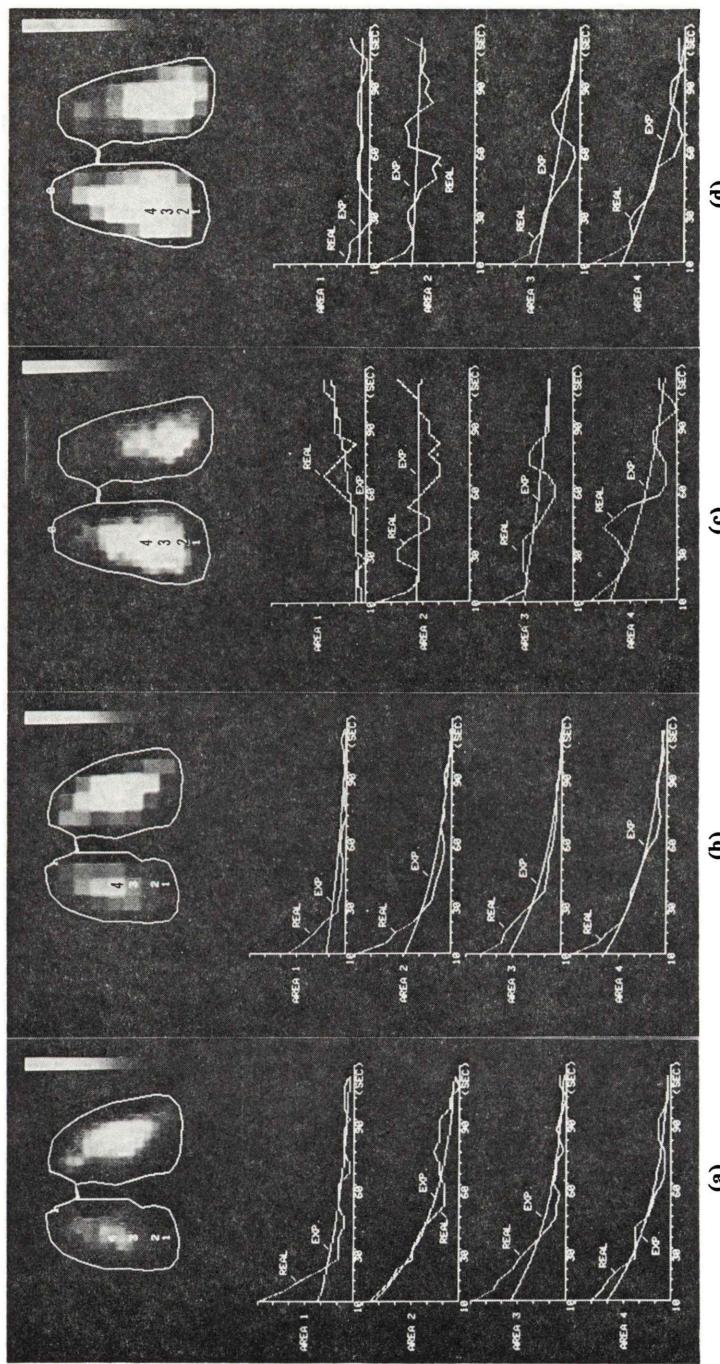
## V. 考 察

肺局所の換気異常を検出し、定量的な評価を行うためには、吸入した $^{133}\text{Xe}$ の経時的变化を解析する必要があるが、データの集録や編集の方法など解析前に加えられる処理によって解析結果が影響をうける。したがつて、解析方法や結果のみならず、それらについても十分に検討する必要がある。

### 1) データの集録と編集方法について

われわれは、データの編集時間、平滑化などの解析前の処理の影響を検討するために、自由に編集できる $128 \times 128$ または $256 \times 256$ マトリックスのリストモードでデータを集録した。

編集時間や平滑化の指標に対する影響については、サンプリング時間1秒で平滑化なし、サンプ



**(a)**  $^{133}\text{Xe}$  clearance curves in the regions from areas 1 to 4 shown in the upper diagrams and their respective exponential curve fittings.  
**(b)** Case 1. 31 y.o. healthy male without history of lung disease. VC; 4,700 ml, FEV<sub>1.0</sub>%; 83%. Matrix size (a):  $32 \times 32$ , (b):  $16 \times 16$ .  
**(c)** Case 2. 63 y.o. male with chronic obstructive lung disease. VC; 2,530 ml, FEV<sub>1.0</sub>%; 37.3%. Matrix size (c):  $32 \times 32$ , (d):  $16 \times 16$ .

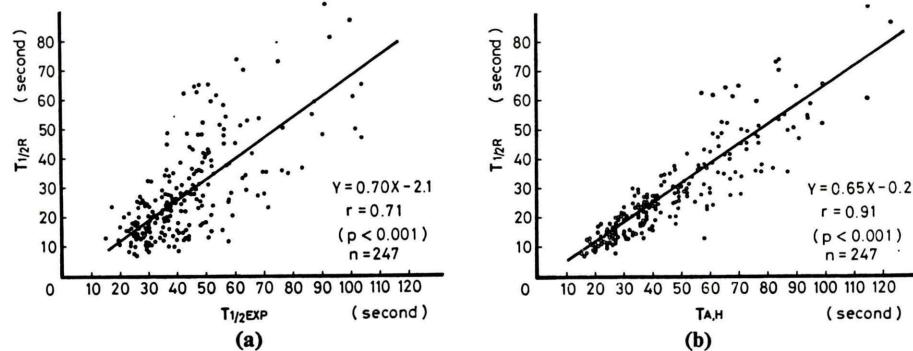


Fig. 5 Comparison between regional  $T_{1/2} R$  and (a)  $T_{1/2} \text{exp}$  and (b)  $TA,H$ , respectively.  
○: subjects without chronic obstructive airway disease.  
●: subjects with chronic obstructive airway disease.

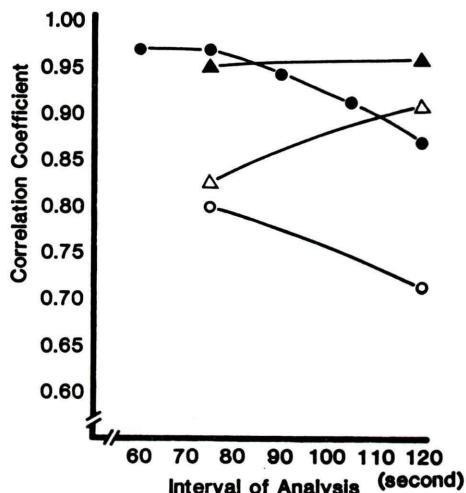


Fig. 6 Effect of interval of analysis on correlation coefficients between various clearance indexes as compared with  $T_{1/2} R$ .  
●:  $T_{1/2} \text{exp}$  in the overall lung.  
▲:  $TA,H$  in the overall lung.  
○:  $T_{1/2} \text{exp}$  in the regional lung.  
△:  $TA,H$  in the regional lung.

リング時間1秒で平滑化あり、サンプリング時間5秒で平滑化なしの条件で編集し処理を加えたそれぞれの場合に、いずれも、肺全体で求めた  $T_{1/2} R$ 、 $T_{1/2} \text{exp}$  の値には大きな差がなく、サンプリング時間と平滑化は、 $T_{1/2} R$  と  $T_{1/2} \text{exp}$  にはあまり影響を与えないと思われる。 $TA,H$  はサンプリング時間に影響されない指標であることか

ら、統計変動を少なくする目的で、肺全体および局所肺においては、サンプリング時間5秒で編集し平滑化した画像を用いてもよいと思われる。

## 2) バックグラウンドについて

$^{133}\text{Xe}$  は、Anderson ら<sup>5)</sup>によって示されたように、少量ではあるが血液に溶解し、さらに筋肉や脂肪組織にも分布するため、計測した  $^{133}\text{Xe}$  の放射能には、肺以外の組織を分布した  $^{133}\text{Xe}$  の放射能も含まれる。Susskind ら<sup>6)</sup>は吸入した Xe の体内からの消失曲線は5つの指數関数の和として表わされ、最も早い指數関数が肺の換気によるものとしている。5つの指數関数に近似する方法は複雑すぎるため、肺以外の組織に分布した  $^{133}\text{Xe}$  はバックグラウンドとして処理される。バックグラウンドの処理法には、Alderson ら<sup>7)</sup>の洗い出しの後半部分をバックグラウンドとする方法、Secker-Walker ら<sup>8)</sup>の肺外の領域に定めた関心領域の放射能をバックグラウンドとする方法、van der Mark ら<sup>9)</sup>のバックグラウンドを二次曲線で近似する方法があるが定説はない。一回呼吸洗い出し法では、洗い出し開始5分および10分後において、被験者の体の輪郭を識別できなかった。このことは、被験者の体組織中に溶解した  $^{133}\text{Xe}$  の放射能がきわめて少ないと示すと思われる。また、慢性閉塞性肺疾患例で洗い出しが著名に遅延する場合でも、洗い出し開始10分後の放射能は吸入後に息止

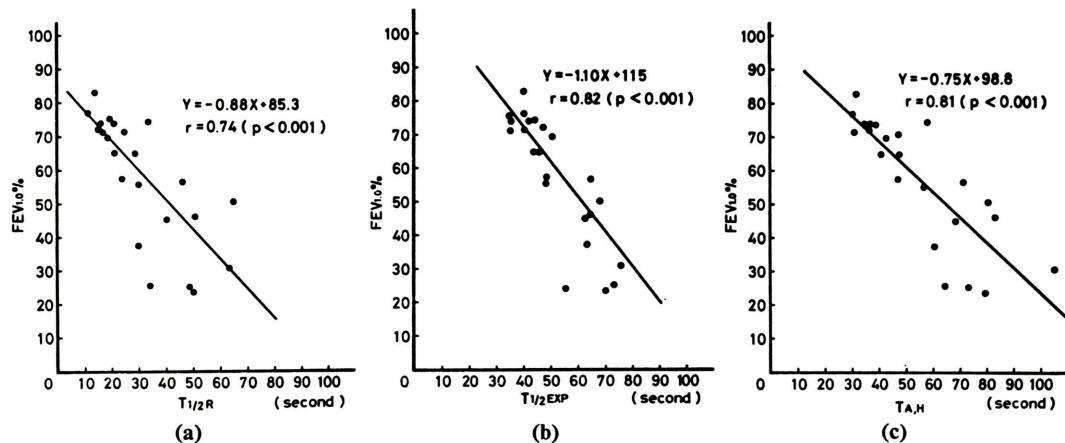


Fig. 7 Comparisons between FEV<sub>1.0</sub>% and overall (a) T<sub>1/2R</sub>, (b) T<sub>1/2exp</sub>, and (c) T<sub>A,H</sub>, respectively. Each index shows good correlation with FEV<sub>1.0</sub>%.

めをしている間の放射能の2～3%であった。この値は、T<sub>1/2R</sub>とT<sub>1/2exp</sub>の値にはほとんど影響を与えない。T<sub>A,H</sub>については、バックグラウンドの値が吸入時の3%とした場合、算出された値は、約20秒では15%(約3秒)、50～60秒では7%(約4秒)、130秒では6%(約8秒)だけバックグラウンドがない場合と比較して大きな値となっていた(未発表データ)。T<sub>A,H</sub>からT<sub>1/2R</sub>を推定する場合には、Fig. 3 b, Fig. 5 bの回帰直線の傾きを考慮すれば、誤差は、さらに少なくなる。したがって、一回呼吸洗い出し法では、肺外の体組織に溶解した<sup>133</sup>Xeによる洗い出し曲線への影響は少ないと考え、バックグラウンドの補正は行わなかった。

### 3) 解析区間について

われわれは、洗い出し開始10秒後からを安静換気とみなして解析したが、慢性閉塞性肺疾患例では、全肺気量位での息止めから安静換気となるまでに時間を要し、10秒後ではまだ必ずしも安静換気とはいえないかもしれない。その場合は、洗い出し初期には過呼吸の状態にあり、<sup>133</sup>Xeの洗い出しが速まって、遅延がとらえられにくくなる可能性がある。しかし、一回呼吸洗い出し法では、換気の悪い領域では<sup>133</sup>Xeの吸入量が少なく、洗い出し初期には、他の<sup>133</sup>Xeの吸入量の多い領域

から呼出された上気道にある高濃度の<sup>133</sup>Xeが再吸入される。これは、洗い出しを遅延させる要因として作用するので、過呼吸の影響はある程度は相殺されることになる。この点については、今後、安静換気からの洗い出しを行って検討を加える必要がある。われわれの用いた解析プログラムでは、領域ごとに解析区間を変更できないため、区間を固定して指標を算出した。しかし、MacIntyre ら<sup>2)</sup>が洗い出しの曲線の60%が指数近似可能であると述べ、Bunow ら<sup>10)</sup>が、指数近似法とA/H法による指標の精度と解析区間の影響について検討しているが、解析区間の問題については十分な検討がなされていない。この点に関しては、Bunow ら<sup>10)</sup>が示しているように、求める指標によっては最適の解析区間が異なるので、最初に、どの指標が換気異常の評価に適当であるかの検討が必要である。

### 4) 換気の指標とマトリックスの大きさ

換気の指標として最も多く用いられるものは、吸入した<sup>133</sup>Xeが50%洗い出される時間(T<sub>1/2R</sub>)である。<sup>133</sup>Xeが、呼吸により一定の割合で洗い出されるとすれば、洗い出し開始t秒後の濃度C(t)(count/sec), T<sub>1/2</sub>は、

$$C(t) = C_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

C<sub>0</sub>: 洗い出し開始時の<sup>133</sup>Xeの濃度

と表わされることから、一般には、計測した洗い出し曲線を指數関数に近似して  $\lambda$  を求め、これを用いて  $T_{1/2}$  を求めている。

また、Stewart-Hamilton の式により、

$$1/\lambda = \int_0^\infty C(t) dt / C_0$$

の関係があることか、Secker-Walker ら<sup>4)</sup> の主張する height over area (A/H) 法を用いても、 $\lambda$  および  $T_{1/2}$  が求められる。この方法は、計算に要する時間が短く、統計変動の影響をうけにくくされている。今回、われわれは、平衡状態からの洗い出しではなく、一回呼吸洗い出し法を用いて検査を行ったため、この方法を用いることができなかつた。そこで、洗い出し曲線が一次指數関数に近似できれば、任意の区間において

$$1/\lambda = \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt / (C(t_1) - C(t_2))$$

の式が成立することから、この式を用いて A/H 法に類似した指標  $T_{A,H}$  を求めた。

しかし、Fig. 2, Fig. 4 に示されるように、肺全体と局所肺における洗い出し曲線と指數近似曲線はかなり解離しており、その差は統計変動によるものとは考えられない。したがって、 $T_{A,H}$  は指數近似によって求めた  $T_{1/2 \text{ exp}}$  と異なった指標とみなすべきであり、洗い出し曲線から求めた指標が換気の指標として適当であるか否かの検討が必要となる。しかし、この点に関しては、基準が明確でないため van der Mark<sup>9)</sup>, Bunow<sup>10)</sup>, Alpert<sup>11)</sup> らが平衡状態からの洗い出し検査で比較している以外にはあまり行われていない。われわれは、洗い出し曲線から直接に  $T_{1/2 \text{ R}}$  が求められれば、それが最善の指標であると考えたが、この指標は、特に局所肺においてはサンプリング時間当たりの計数率が少ないので、統計変動の影響を受けやすい欠点がある。そこで、われわれは洗い出し曲線を一本ずつ検討しながら  $T_{1/2 \text{ R}}$  を求めたが、Fig. 4 にみられるように、 $16 \times 16$  マトリックスに分割して、1つの肺領域の大きさを  $2.5 \times 2.5 \text{ cm}$  とした場合でさえ、慢性閉塞性肺疾患例で特に換気の悪い領域では  $T_{1/2 \text{ R}}$  が求め

られなかった。これは、 $T_{1/2 \text{ R}}$  を最善の指標として各指標間の比較を行う場合には  $2.5 \times 2.5 \text{ cm}$  以上の大さの肺領域を対象とする必要があり、 $T_{1/2 \text{ R}}$  は、慢性閉塞性肺疾患例では換気の指標の分布図-機能図の作成には適さないことを示すと思われる。 $T_{1/2 \text{ R}}$  をよく反映する指標こそ  $T_{1/2 \text{ R}}$  に代わりうる指標と考えて、 $T_{1/2 \text{ R}}$  と  $T_{1/2 \text{ exp}}$ ,  $T_{A,H}$  の関係を検討した結果、 $T_{A,H}$  は  $T_{1/2 \text{ R}}$  と、肺全体では  $T_{1/2 \text{ exp}}$  とほぼ同等かまたはそれ以上の良好な相関があり、局所肺においても、解析区間によって影響されるものの、いずれの区間ににおいても  $T_{1/2 \text{ exp}}$  よりも良好な相関を示していた (Figs. 3, 5, 6)。Bunow ら<sup>10)</sup> は  $^{133}\text{Xe}$  を吸入後に平衡状態からの洗い出しを行って、吸入期と洗い出し期の時間-放射能曲線を用いなければ、一次指數近似法は A/H 法に劣り、A/H 法は解析区間を延長するにつれて誤差が少なくなると述べており、われわれの結果はこの考え方を支持するものと思われる。彼らは、 $64 \times 64$  マトリックスに肺野を分割し、平衡状態時の  $^{133}\text{Xe}$  の放射能を 3 カウント/マトリックス/秒としたシミュレーションの結果から、A/H 法によって求めた  $\tau(\tau=1/\lambda)$  が 10~100 秒の範囲にある場合、平衡状態を 25~50 秒に洗い出し時間を 300 秒以上にすべきであるとしている。われわれは画面を  $16 \times 16$  マトリックスに分割しているため、局所肺での洗い出し開始 10 秒後の  $^{133}\text{Xe}$  の平均放射能は 20~70 カウント/マトリックス/秒で、これは平衡状態の代用として十分であるが、われわれの解析区間 75~120 秒は短すぎる可能性がある。この点については、今後さらに検討を加える必要がある。しかし、平衡状態からの洗い出しでは、A/H 法がすぐれているように、一回呼吸洗い出し法でも、われわれの方法のように A/H 法類似の方法によって指標を求めるべきであると考える。

## 5) 換気の指標と肺機能検査結果の関係

$^{133}\text{Xe}$  の吸入洗い出しによる換気の指標と肺機能検査結果の関係についての報告は、指標の定量性についての検討が不十分なためか、多くないようである。Alderson ら<sup>12)</sup> は、上中下に三分割し

た各肺野の洗い出しの遅れを視覚的にとらえ、遅れに応じて与えた点数を全肺野で合計するという簡単な方法を用いて、一秒率との間に  $r=0.61$  の有意な負の相関を認めている。また、Secker-Walker ら<sup>8)</sup>は A/H 法で求めた指標と一秒率や MMF との間に  $r=-0.47$  および  $r=-0.70$  相関を認めている。われわれが全肺野を対象として求めた  $T_{1/2}R$ ,  $T_{1/2}\exp$ ,  $T_{A,H}$  は一秒率と最もよい相関 ( $r=-0.74 \sim -0.82$ ) がみられた。 $^{133}\text{Xe}$  の洗い出しは安静換気下で行われ、一秒率や MMF は強制呼気下で行われる検査であり、両者に相関があるからといって、 $^{133}\text{Xe}$  の洗い出しから求めた換気の指標が局所気道の閉塞性変化を示すとはいえない、局所肺のコンプライアンス等の他の因子の影響を考慮する必要がある。しかし、今のところ、局所肺領域の換気異常やコンプライアンスの変化および閉塞性変化を定量的に把握できる検査はなく、一般的に行われる総合的な肺機能検査結果と対比して臨床的意義を検討せざるを得ない。したがって、われわれの目的としている、局所肺の換気を定量的に評価して、その分布を機能図として表現する方法は十分に意味があると考える。

## VI. まとめ

$^{133}\text{Xe}$  を用いて、正常例 4 例と肺疾患例 39 例に一回呼吸洗い出し法で検査を行った。機能図の作成に適した解析区間、マトリックスの大きさ、換気の指標について検討を行った結果、次の条件が望ましいとの結論を得た。

1. 洗い出し開始後 10 秒後から 130 秒後までの 120 秒間を解析区間とする。
2. 肺野を  $16 \times 16$  マトリックスに分割した領域 ( $25 \times 25 \text{ mm}$ ) 以上の大さの領域を対象とする。
3. 換気の指標として、A/H 法類似の方法による  $T_{A,H}$  を用いる。

## 文 献

- 1) Ball WC Jr, Stewart PB, Newsham LS, et al: Regional pulmonary function studied with xenon<sup>133</sup>. *J Clin Invest* **41**: 519-531, 1962
- 2) MacIntyre WJ, Inkley SR, Roth E, et al: Spatial recording of disappearance constants of xenon-133 washout from the lung. *J Lab Clin Med* **76**: 701-712, 1970
- 3) Inkley SR, MacIntyre WJ: Dynamic measurement of ventilation-perfusion with xenon-133 at resting lung volume. *Am Rev Respir Dis* **107**: 429-441, 1973
- 4) Secker-Walker RH, Hill RI, Markham J, et al: The measurement of regional ventilation in man: a new method of quantitation. *J Nucl Med* **14**: 725-732, 1973
- 5) Anderson AM, Ladefoged J: Relationship between hematocrit and solubility of  $^{133}\text{Xe}$  in blood. *J Pharmacol Sci* **54**: 1684-1685, 1965
- 6) Susskind H, Atkins HL, Cohn SH, et al: Whole-body retention of radi xenon. *J Nucl Med* **8**: 462-471, 1977
- 7) Alderson PO, Line BR: Scintigraphic evaluation of regional pulmonary ventilation. *Sem Nucl Med* **10**: 218-242, 1980
- 8) Secker-Walker RH, Alderson PO, Wilhelm J, et al: The measurement of regional ventilation during tidal breathing: a comparison of two methods in healthy subjects, and patients with chronic obstructive disease. *Brit J Radiol* **48**: 181-189, 1975
- 9) van der Mark ThW, Peset R, Beekhuis H, et al: An improved method for the analysis of xenon-133 washin and washout curves. *J Nucl Med* **21**: 1029-1034, 1980
- 10) Bunow B, Line BR, Horton MR, et al: Regional ventilatory clearance by xenon scintigraphy; a critical evaluation of two estimation procedures. *J Nucl Med* **20**: 703-710, 1979
- 11) Alpert NM, McKusick KA, Correia JA, et al: Initial assessment of a simple functional image of ventilation. *J Nucl Med* **17**: 88-92, 1976
- 12) Alderson PO, Lee H, Summer WR, et al: Comparison of Xe-133 washout and single-breath imaging for the detection of ventilation abnormalities. *J Nucl Med* **20**: 917-922, 1979

## Summary

### Matrix Size and Ventilation Indexes for Generating Functional Images by Single-breath Washout with Xenon Gas

Akio EBINA, Toyoharu ISAWA, Takeo TESHIMA,  
Tomio HIRANO and Kiyoshi KONNO

*Department of Medicine, the Research Institute for Chest Diseases and Cancer,  
Tohoku University, Sendai, Japan*

In order to get a functional image of the lungs for estimating regional ventilation, the  $^{133}\text{Xe}$  ventilation studies by a single breath washin and washout with air were analyzed on 39 patients with various chest diseases and 4 normal subjects. We analyzed the washout curves on the whole and regional lungs between 10 and 75 or between 10 and 130 sec after washout started. Three different ventilation indexes were calculated; real half time ( $T_{1/2} R$ ), half time estimated from exponential curve-fitting ( $1/2 T \exp$ ), and/or the area under the washout curve divided by the difference in mean count-rate between 10 and 75 or between 10 and 130 sec after washout started ( $TA_{,H}$ ). When a single matrix was selected out of  $32 \times 32$  matrixes as a region of interest in the lung, the washout curve fluctuated so much that it was difficult to get the regional  $T_{1/2} R$ . In patients with good lung function and/or in the normal subjects,  $T_{1/2} R$  could be estimated without difficulty even in a

lung region larger than or equal to the size of a single matrix when the lungs were divided into  $16 \times 16$  matrixes, but in patients with COPD it could still hardly be estimated. In a single matrix out of  $16 \times 16$  matrixes the correlation between  $T_{1/2} R$  and  $TA_{,H}$  become higher and the correlation between  $T_{1/2} R$  and  $T_{1/2} \exp$  was less good as we made the interval of analysis longer.  $TA_{,H}$  correlated better with  $T_{1/2} R$  than  $T_{1/2} \exp$  in any interval of analysis. There was a statistically significant correlation between  $FEV_{1.0\%}$  and each of the three indexes calculated from overall lung area ( $r=0.8$ ). To make a functional image of regional ventilation by  $^{133}\text{Xe}$  single breath washin and washout procedure, it would be better to use the following: a) interval of analysis between 10 and 130 sec after washout started; b)  $16 \times 16$  matrix; and c)  $TA_{,H}$  as a ventilation index.

**Key words:**  $^{133}\text{Xe}$ , Single breath washout, Ventilation index, Matrix size, Functional image.