

《原 著》

肺内および呼気ガス内不活性ガス測定による 洗出し曲線の比較検討

岸本 亮* 杉田 實* 北田 修*
山田 公二** 兵頭 加代*** 立花 敬三***

I. 緒 言

換気の不均等性を検索するために、今日種々の不活性ガス洗出し曲線が用いられている。なかでも N_2 洗出し曲線の解析法が 1943 年 Lilly ら¹⁾ によって開発されて以来現在に至るまで最も簡便な肺機能検査法の一つとして広く利用されている。しかし N_2 法は肺全体を一つの機能単位として取扱うところに方法論的な制約を認めざるを得ない。換気機能を肺の局所レベルで把握するためには放射性同位元素である不活性ガスを用いる必要がある。1955 年 Knipping ら²⁾ は、xenon-133 の肺内分布を体外計測することによって xenon-133 の肺局所換気分布状態の評価を行なわんと試みた。以来シンチカメラとその動態処理装置の改良と普及に伴い、xenon-133 法は肺の病態生理学的变化を局所レベルで検索する上に有力な手技として脚光をあびるよう至った^{3~5)}。

著者らは日常検査法の一環として呼吸器疾患者に N_2 法および xenon-133 法を施行しているが、両方より得られる洗出し曲線の減衰率が非常に異なることに気づいた。この原因を明らかにするた

めに、肺内に換気の異なる compartment からなる理論モデルを想定し、呼気ガス内および肺内の不活性ガス測定による両者の洗出し曲線の差異を検討し、ついで呼気ガス内および肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の実測から理論予測の妥当性を明らかにしたので報告する。

II. 対象および方法

(1) 対象は臨床的に心肺機能に異常を認めない健常人 6 名、閉塞性肺疾患患者 11 名、その他の肺疾患患者 (alveolar hypoventilation 1 名、pleurisy 2 名、pulmonary cancer 1 名) 4 名である。

(2) N_2 洗出し曲線は、ニューモタコと N_2 メーターを組合せた Pulmonary Function Analyzer (YHP 社 47402 A) を用いて、被験者を安静坐位にし、開放回路系における純酸素吸入時の呼気 N_2 濃度の連続曲線として自動的に求められるが、xenon-133 洗出し曲線と対比するために N_2 洗出し曲線を時系列データーに変換せしめた。

(3) xenon-133 洗出し曲線は (i) シンチカメラ法と (ii) コリメーター法とによって求めた。

(i) シンチカメラによる肺内 xenon-133 測定法：安静坐位における被験者の背部にシンチカメラ (Picker 社, Dyna Camera 3 C) を固定し、5 mCi の xenon-133 生理食塩水溶解液を肘静脈より投与後、閉鎖回路系内で反復呼吸せしめた。系内が平衡に達した時点で開放回路に切り換え、空気で肺内 xenon-133 を洗出さしめた際の時系列的なカウントの減衰から xenon-133 洗出し曲線を得た。

* 兵庫医科大学第三内科

** 大阪大学第一内科

*** 兵庫医科大学病院 RI センター診療部

受付：52 年 1 月 24 日

最終稿受付：52 年 2 月 28 日

別刷請求先：西宮市武庫川町 1 番 1 号 (〒 663)

兵庫医科大学第三内科

杉田 實

(ii) コリメーターによる肺内および呼気ガス内 xenon-133 測定法：被験者を安静坐位に固定した。動態機能測定装置（島津製作所）の3個のフラットフィールド型コリメーター（焦点30cm）を使用し、そのうち1個は大腿部に、1個はマウピースとダグラスバッグに連結している呼気ガス導管部に密着せしめ、最後の1個のコリメーターは被験者の背部から約150cm離れた所におき、肺野全体を大略覆うように配置した。2mCiのxenon-133 生理食塩水溶解液を肘静脈より投与後、前法と同様に閉鎖回路系内で反復呼吸せしめ、ペンレコーダー（Unicoder U-400）による体外計測が平衡に達したとき開放系に切換え、空気で肺内 xenon-133 を洗出し始めた。実験中の呼気ガス内および肺内 xenon-133 の時系列的なカウントの変化は島津 Data Logger EM-45 を用いて逐次カセット MT に収録し、洗出し曲線を再生した。

なお xenon-133 洗出し曲線の解析には開放後3分間の曲線を用い、かつ山田ら⁵⁾の方法に準じて胸壁の取込み補正を行った。

III. 成 績

(1) N_2 および肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の $T_{1/2}$ の比較

洗出し曲線の減衰率を、初期濃度または初期値からの低下率、すなわちそれぞれの曲線の $T_{1/2}$ を

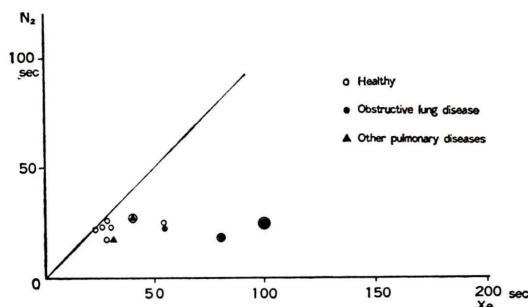


Fig. 1 Comparison of $T_{1/2}$ obtained from nitrogen and xenon-133 washout curves in healthy subjects and patients with pulmonary diseases. $T_{1/2}$ obtained from xenon-133 washout curve was generally bigger than that of N_2 washout curve.

指標として比較した。Fig. 1 に示すごとく、肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の $T_{1/2}$ は N_2 洗出し曲線の $T_{1/2}$ 比して、健常人でら肺疾患患者でも大となる傾向があるが、特に閉塞性肺疾患患者において著しい。

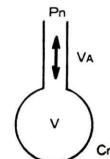
(2) モデル肺の導入による不活性ガスの肺内および呼気ガス内測定による洗出し曲線相互の関連について検討

方法論で述べたごとく、xenon-133 法は xenon-133 の肺内残存量を、 N_2 法は呼気ガス内の N_2 濃度を経時的に測定している。したがって、ある不活性ガスを肺内と呼気ガス内で同時に測定したと仮定した時、かかる洗出し曲線の減衰率の差が生ずるか否かをモデル肺の導入によって検討せんとした。

モデル (i)：肺を換気の均一なる 1 つの compartment からなるとした場合 (Fig. 2 a))

呼気終末時の容量を V 、1 回肺胞換気量を V_A 、n

a) one compartment model



$$\begin{aligned} C_n &= C_0 \left(\frac{V}{V+V_A} \right)^n \\ P_n &= C_n - C_{n+1} \\ &= C_0 \left(\frac{V}{V+V_A} \right)^n \cdot \frac{V_A}{V+V_A} \\ &= C_0 \frac{V_A}{V+V_A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_n &= C_0 \left(\frac{V}{V+V_A} \right)^n, \\ C_{n'} &= C_0' \left(\frac{V'}{V'+V_{A'}} \right)^n \\ P_n &= (C_n + C_{n'}) - (C_{n+1} + C_{n+1'}) \\ &= C_n \cdot \frac{V_A}{V+V_A} + C_{n'} \cdot \frac{V_{A'}}{V'+V_{A'}} \\ &= \frac{C_0}{V+V_A} V_A \left(\frac{V}{V+V_A} \right)^n \\ &\quad + \frac{C_0'}{V'+V_{A'}} V_{A'} \left(\frac{V'}{V'+V_{A'}} \right)^n \end{aligned}$$

C_0, C_0' : initial counts of compartments measured in the lungs

V, V' : volume of compartments

$V_A, V_{A'}$: alveolar ventilation

$C_n, C_{n'}$: counts at n inspiration measured in the lungs

P_n : counts of n expiration measured at the mouth piece

Fig. 2 Relation between counts at n inspiration measured in the lung and counts of n expiration measured at the mouth piece. Two compartments model showed good similarity to the experimental curves.

回目の呼気終末時の肺内不活性ガス量を C_n , 洗出し開始時の肺内不活性ガス量を C_0 , n 回目の呼気ガス中の不活性ガス量を P_n とすれば,

が成立つから^{6~8)},

Pn は、

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_n - C_{n+1} \\
 &= Co \left(\frac{V}{V+V_A} \right)^n \cdot \left(\frac{V_A}{V+V_A} \right) \\
 &= C_n \left(\frac{V_A}{V+V_A} \right) \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

となる。

さて、ここで n を無限大とし、 V_A を無限に小とすると、式(1)は、

と変換され⁹⁾、片対数グラフ上直線となることがわかるが、 P_n もまた式(2)より、

$$P_n = \frac{V_A}{V + V_A} C_0 e^{-\frac{nV_A}{V}}$$

となるので、 C_n と同一勾配（同一の turnover rate）をもつ直線となる。

しかしながら呼気ガス内 N_2 測定による洗出し曲線および肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線も片対数グラフ上で一般に直線にならないことから compartment の数を 1 と仮定して検討することは適当ではないと思われる。

モデル (ii)：肺を 2 つの換気機能および容量の異なる fast および slow compartment からなるとした場合 (Fig. 2 b))

それぞれの compartment の n 回目の肺内不活性ガス量を C_n, C_n' , それぞれの 1 回肺胞換気量を V_A, V_A' , それぞれの肺容量を V, V' , n 回目の呼気ガス内の不活性ガス量を P_n とし, n を無限大に, V_A を無限小とすると, 肺内不活性ガス量 C_n, C_n' , はそれぞれ,

$$C_n = C_0 \left(\frac{V}{V + V_A} \right)^n \dots \dots \dots (4)$$

$$= Coe^{-\frac{nVA}{V}} \dots \dots \dots (5)$$

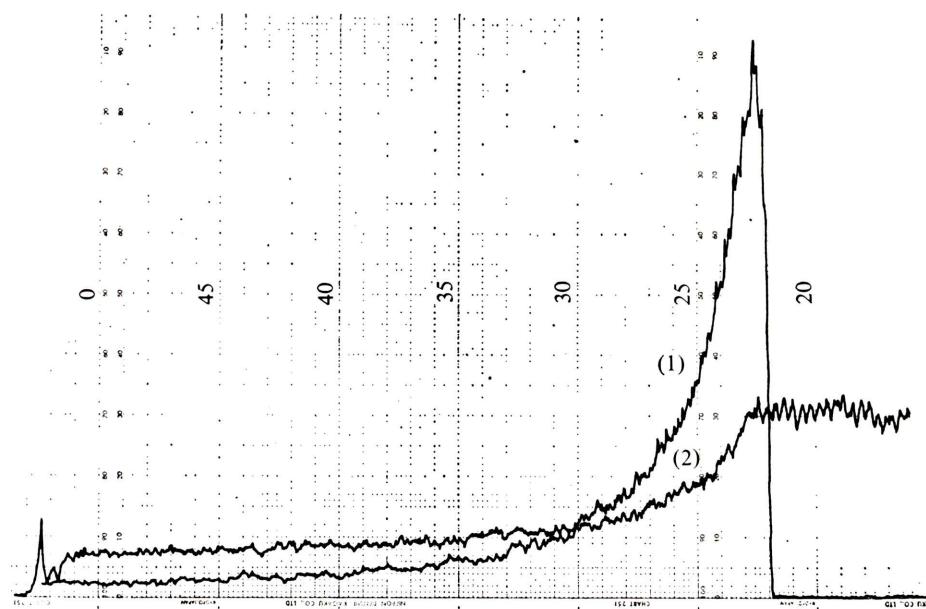


Fig. 3 Xenon-133 washout curves of the lung (2) and the expiratory gas (1).

The figure showed that the decreasing rate of xenon-133 washout curve obtained from the expiratory gas was much faster as compared with that of the lung.

となり、n回目の呼気ガス内不活性ガス量 P_n は、fast および slow compartment よりそれぞれ呼出される不活性ガス量の和であるから

$$P_n = (C_n + C_n') - (C_{n+1} + C_{n+1'}) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$= Cn \frac{V_A}{V + V_A} + Cn' \frac{V_A'}{V' + V_A'} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$= Co \frac{V_A}{V+V_A} \left(\frac{V}{V+V_A} \right)^n + Co' \frac{V_A'}{V'+V_A'} \left(\frac{V'}{V'+V_A'} \right)^n \dots \dots \dots (10)$$

$$= V_A \frac{C_0 e^{-\frac{nV_A}{V}}}{V + V_A} + V_A' \frac{C_0' e^{-\frac{nV_A'}{V'}}}{V' + V_A'} \quad \dots \dots (11)$$

となる.

ここで仮に C_n が肺の fast compartment の洗出し曲線を、 C_n' が slow compartment の洗出し曲線を表わすとすると、 $\frac{V_A}{V+V_A}$ 、 $\frac{V_A'}{V'+V_A'}$ はそれぞれの compartment についての定数であり、かつ $\frac{V_A}{V+V_A} > \frac{V_A'}{V'+V_A'}$ であるから、呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線を片対数グラフ

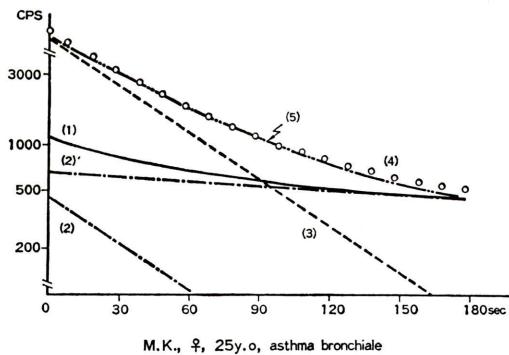


Fig. 4 Relation between washout curves of lung and expiratory gas.

- (1) — Xenon count obtained from the lung
 (2),(2') - - - - Fast and slow component
 (3) - - - - Shift of the line (2) in parallel
 (4) o o o Xenon count calculated from theory
 (5) - - - - Xenon count obtained from the expiratory gas

上に時系列データーとしてプロットすると、肺内不活性ガス測定による洗出し曲線の C_n と C_n' をそれぞれ $\log \frac{V_A}{V+V_A}$, $\log \frac{V_A'}{V'+V_A'}$ だけ平行移動したものとすると、すなわち呼気ガス内の不活性ガス量 P_n の時系列曲線の fast および slow component の片対数グラフ上の傾きは肺内不活性ガス量の時系列曲線の fast および slow compartment C_n , C_n' の傾きと等しくなる。

(3) モデル肺による思考の検討

方法 (ii) のコリメーター法によって肺内および呼気ガス内 xenon-133 を同時に実測した成績は、Fig. 3 のごとくである。Fig. 4 は片対数グラフを用いたもので、実線(1)は肺内 xenon-133 を実測した際の減衰曲線である。この曲線より backward projection 法によって得られる fast および slow component は破線(2)と (2)' で示される。両者をそれぞれ $\log \frac{V_A}{V+V_A}$, $\log \frac{V_A'}{V'+V_A'}$ だけ平行移動するのは繁雑であるので、操作を簡単にするために slow component (2)' を固定し、fast component を $\log \frac{V_A}{V+V_A} / \log \frac{V_A'}{V'+V_A'}$ だけ移動させても本質的には変わらない（破線(3)）。さらに slow component(2)' と移動させた fast component (3) の両者を加算して得た理論的呼気ガス内

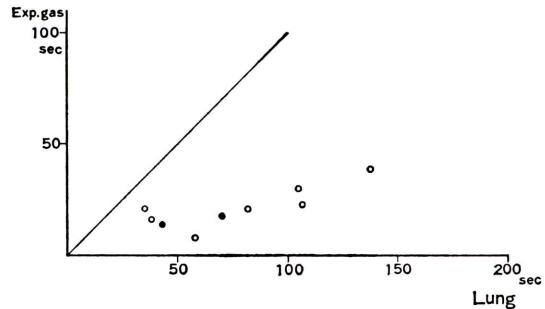


Fig. 5 Comparison of $T_{1/2}$ obtained from xenon-133 washout curves of the lung and the expiratory gas.

$T_{1/2}$ obtained from xenon-133 washout curve of the lung was bigger than that of the expiratory gas.

- Patients with obstructive pulmonary disease.
 - Patients with non-obstructive pulmonary disease.

xenon-133 の減衰曲線は白点(4)となる。このようにして肺内 xenon-133 実測曲線から得られた理論的呼気ガス内 xenon-133 の減衰曲線(白点(4))と実測呼気ガス内 xenon-133 を測定した際の減衰曲線(破線(5))を対比しているが、両者はきわめてよく一致し、理論的考察の妥当性が認められた。

(4) 呼気ガス内および肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の $T_{1/2}$ の比較

方法(ii)のコリメーター法で同時に測定した呼気ガス内および肺内 xenon-133 の洗出し曲線の $T_{1/2}$ を対比したものが、Fig. 5 に示されている。明らかに呼気ガス内測定による洗出し曲線の $T_{1/2}$ に比して肺内測定による洗出し曲線のそれは大となる。

IV. 考案

本研究の端緒は、呼気ガス内 N_2 濃度測定による肺内 N_2 洗出し曲線と肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の $T^{1/2}$ を対比すると、両者の間に大きな差が存在するという事実であった。しかし呼気ガス内 N_2 濃度測定による肺内 N_2 洗出し曲線と肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線を単純に対比検討することにはいくつかの問題点がある。すなわち、(1) 著者らの場合、両者の測定が同時に実行なわれていないこと、(2) N_2 および xenon-133 測定条件の差、つまり N_2 は呼気終末時 N_2 濃度より減衰曲線が得られるのに反し、xenon-133 は 4 秒間隔による肺内 xenon-133 の体外計測によっていることなどが挙げられよう。これらの点に関しては、mass spectrometer^{9), 10)} あるいは、N-13, xenon-133 の使用¹¹⁾による同時測定によって解決しうるが、なおかつ、これらのガス体の分子量、粘稠度、血液への溶解度、組織の親和性^{9), 12)}などの差を考慮する必要があるものと思われる。

そこで著者らは、同一の不活性ガスでも、その実測部位が異なれば、洗出し曲線の減衰率の差が生ずるという可能性をまず想定し、モデル肺の導入による肺内および呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線相互の関連性について理論的に検討し、次いでその帰結の妥当性を証明するために

xenon-133 を使用して肺内および呼気ガス内 xenon-133 を同時に測定しそれぞれの方法より得られる洗出し曲線を比較検討せんとした。

さて前述のごとく、モデル肺よりの検討より、肺の slow および fast compartment の換気機能、すなわち Fowler⁷⁾ の言う dilution factor $\frac{V}{V+VA}$ 、
 $\frac{V'}{V'+VA}$ は呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線および肺内不活性ガス測定による洗出し曲線のいずれからも同じ値が得られることを確認した。さらに成績 (2) モデル (ii) 内の理論式 (11) で $n = 0$ なる時、すなわち開放回路に切換える直前の呼気ガス内不活性ガス量 P_0 は、

$$P_0 = \frac{V_A}{V+V_A} C_0 + \frac{V_A'}{V'+V_A'} C_0' \dots \dots \dots (12)$$

となる。この時点では、被験者は、等容閉鎖回路系に閉じこめられ、系内は平衡状態にあると仮定すると、不活性ガスの濃度は均一であると見なしうるので式(12)の内で、

$$\frac{C_O}{V+V_A} = \frac{C_O'}{V'+V_A'} \dots \dots \dots (13)$$

となる。すなわち呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線の fast および slow component の初期値は式(12), (13) から考えて、それぞれの compartment の換気量 V_A , V_A' に比例した値と考えられる。著者ら⁵⁾の成績によれば、全肺における fast および slow compartment の換気量比は 17.5:1～3.5:1 であるので、呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線はその前半部では、おおむね換気の良い fast compartment から排出された不活性ガスに由来しているものと考えられ、slow compartment の影響が現われるのは時間的に遅い。かつその時点での呼気ガス内の不活性ガスの測定値は低いため、呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線より slow compartment の換気機能を検討するためには、精度の高いガス分析器¹³⁾と充分な時間が要求される。

一方肺内不活性ガス測定による洗出し曲線の fast および slow component の初期値の比は呼気ガス内の場合と異なり、開放回路系に切り換える直前に平衡状態に達し、かつ濃度が均一とすれば体外計測時のカウント比は各 compartment の容

量に比例した値^{5,14)}と見なされ、著者ら³⁾の成績によれば全肺における fast および slow compartment の肺容量比は、2.24: 1~0.33: 1 である。また、fast compartment より不活性ガスがまず排泄されるので肺内不活性ガス測定による洗出し曲線は slow compartment の換気を強く反映する。事実肺気腫患者や巨大囊胞患者などに xenon-133 を投与し、閉鎖回路系で反復呼吸せしめた後に系を開放させ洗出させても、いつまでも換気の低下した肺野に xenon-133 が残存することが static image としてしばしば見られる。したがって肺内不活性ガス測定で得られた洗出し曲線は呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線より換気の悪い slow compartment の検出および解析にはより鋭敏な方法と思われる。またその曲線の解析法として従来の $T_{1/2}$ 法¹⁵⁾や初期値からの 60%³⁾までを用いる方法などは slow compartment の影響の強く出現する曲線の裾を切りすることになる。この点著者らが強く主張しているごとく、洗出し曲線は呼気ガス内測定による方法よりも肺内ガス測定による洗出し曲線を使用し、胸壁の取込みを補正した後に曲線全体を解析したほうが換気機能の低下の検出にはより鋭敏であると思われる。

V. 結 語

1. N_2 洗出し曲線と肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線を同一症例において比較検討すると、肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の $T_{1/2}$ の方が健常人および肺疾患患者例で大となる傾向を認めた。

2. モデル肺を用いた検討より、fast および slow compartment の換気機能 (turnover rate) は呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線、肺内不活性ガス測定による洗出し曲線ともに同じ値が得られることを示した。

3. 呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線の fast および slow compartment の初期値比は両 compartment の換気量比であり、fast compartment を主に反映するため、slow compartment の詳細な検討には不利と考えられる。

4. 肺内不活性ガス測定による洗出し曲線の fast および slow compartment の初期値比は両 compartment の容量比であり、呼気ガス内不活性ガス測定による洗出し曲線に比してより良好 slow compartment の換気機能を反映するため、特に閉塞性肺疾患患者のごとく slow compartment の増加する症例では、その検出が容易である。

5. 同時測定による呼気ガス内 xenon-133 測定による洗出し曲線 $T_{1/2}$ のに比して肺内 xenon-133 測定による洗出し曲線の $T_{1/2}$ は明らかに延長することを認めた。

文 献

- 1) Bouhuys A: Handbook of physiology, Section 3: Respiration Vol I, Chapter 29, Distribution of inspired gas in the lungs, Fenn WO and Rahn H, eds. Am Physio Soc, Washington DC, 1964, p 715 より引用
- 2) Knipping HW, Bolt W, Venrath H, et al: Eine neue Methode zur prüfung der Herz-und Lungenfunktion. Dtsch Med Wschr **80**: 1146-1147, 1955
- 3) 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
- 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) 山田公二, 杉田 實, 岸本 亮 他: 肺局所 ^{133}Xe 洗出し曲線の解析—シミュレーションモデルの導入. 核医学 **12**: 261-272, 1975
- 6) Daring RC, Cournand A and Richards DW, Jr: Studies on the intrapulmonary mixture of gases. V. Forms of inadequate ventilation in normal and emphysematous lungs analyzed by means of breathing pure oxygen. J Clin Invest **23**: 55-67, 1944
- 7) Fowler WS, Cornish ER, Jr and Kety SS: Lung function studies. VIII. Analysis of alveolar ventilation by pulmonary N_2 clearance curves. J Clin Invest **31**: 40-50, 1952
- 8) Shinozaki T, Abajian JC, Jr, Tabakin BS, et al: Theory and clinical application of a digital nitrogen washout computer. J Appl Physiol **21**: 202-208, 1966
- 9) Robertson JS, Siri WE and Jones HB: Lung ventilation patterns determined by analysis of nitrogen elimination rates: Use of the mass spectrometer as a continuous gas analyzer. J Clin Invest **29**: 577-

590, 1950

- 10) Cumming G and Jones JG: The construction and repeatability of lung nitrogen clearance curves. *Respir Physiol* **1**: 238-248, 1966
- 11) Greene R, Hoop B and Kazemi H: Use of ^{13}N in studies of airway closure and regional ventilation. *J Nucl Med* **12**: 719-723, 1971
- 12) Darling RC, Cournand A, Mansfield JS, et al: Studies on the intrapulmonary mixture of gases. I. Nitrogen elimination from blood and body tissues during high oxygen breathing. *J Clin Invest* **19**: 591-597, 1940
- 13) Prowse K and Cumming G: Effects of lung volume and disease on the lung nitrogen decay curve. *J Appl Physiol* **34**: 23-33, 1973
- 14) Matthews CME and Dollery CT: Interpretation of ^{133}Xe lung wash-in and wash-out curves using an analogue computer. *Clin Sci* **28**: 573-590, 1965
- 15) Farmelant MH and Trainor JC: Evaluation of a ^{133}Xe ventilation technique for diagnosis of pulmonary disorders. *J Nucl Med* **12**: 586-590, 1971
- 16) Miller JM, Ali MK and Howe CD: Clinical determination of regional pulmonary function during normal breathing using xenon-133. *Amer Rev Resp Dis* **101**: 218-229, 1970

Summary

Studies on the Difference between Inert Gas Washout Curves Measured in the Lung and in the Expiratory Gas

Akira KISHIMOTO, Minoru SUGITA, Osamu KITADA, Kayo HYODO,
and Keizo TACHIBANA

Department of Internal Medicine and Radioisotopes, Hyogo Medical College, Nishinomiya

Koji YAMADA

Department of Internal Medicine, Osaka University, Osaka

Distribution of inspired gas in the lungs has been studied by analysing N_2 washout curves. In this paper the difference in the slope of two washout curves obtained from the expiratory gas and the lungs by using xenon was discussed.

For obtaining N_2 washout curve the subject inspired pure oxygen gas and then expired into a flow meter while the N_2 meter recorded continuously N_2 concentration. For obtaining xenon washout curve of the expiratory gas and the lungs simultaneously the subject was studied while seated erect with his back against a collimator and was administered 2mCi of xenon and rebreathed xenon gas in a closed circuit spirometer until concentration of xenon was stable. Then the subject was turned out of the closed circuit and exhaled into an open circuit system. The xenon radioactivity through a duct was counted by another collimator.

Comparison of the slopes of two different curves obtained from the expiratory gas and the lungs was made. $T_{1/2}$ of xenon washout curve was larger than

$T_{1/2}$ of N_2 washout curve. Furthermore radioactivities of xenon in the expiratory gas and in the lungs were measured simultaneously. The decreasing rate of xenon washout curves obtained from the lung was much slower than that of xenon washout curves obtained from the expiratory gas.

From the above data it was strongly suggested that the difference of the slopes of two washout curves was originated from the difference in the methodology, in which one was obtained by inert gas measured in the lung and another was obtained by the same inert gas measured in the expiratory gas.

In order to clarify the above assumption, mathematical approach was induced by using compartment analysis, in which model slow and fast spaces were contained. It was theoretically concluded that the slopes of washout curves obtained from the expiratory gas and the lungs should be different, if the lungs consisted of multicompartment.