

《原 著》

Pursed lip breathing のモデルによる肺局所 換気効率の測定について

—— ^{133}Xe washout の functional image による法——

駒谷 昭夫* 山口 昂一* 高橋 和栄**
池田 英樹*** 高橋 敬治***

要旨 肺気腫患者が自発的に行う pursed lip breathing (PLB) を模擬する呼気抵抗負荷装置を作った。この装置を ^{133}Xe による functional image 法に用い、PLB による局所換気効率の変化を検討した。 ^{133}Xe ガス 6~7 mCi を充てんした閉回路により 3 分間吸入し、引き続き 7 分間の洗い出しを行った。背面にシンチカメラを設置し、そのデータはコンピュータ (DEC PDP-11/34) に収録した。局所洗い出し曲線における放射能濃度が半減するまでの時間 (T 1/2)、および半減するのに要する呼吸数 (B 1/2) より functional image を作成した。さらに局所換気効率分布をヒストグラムに示し、PLB による変化を評価した。

呼気抵抗負荷により、肺気腫患者では T1/2、B1/2 が著明に短縮され、肺局所換気効率不均等分布が改善された。しかし、喘息合併肺気腫など、他の肺疾患例では、T1/2、B1/2 は逆に延長する傾向が認められた。本法は慢性閉塞性疾患などの病態解析やリハビリテーションにおける PLB の有効性を個々の患者ごとに検討する上できわめて有用な方法と考えられた。

I. はじめに

慢性閉塞性肺疾患の患者が自発的に行う pursed lip breathing (PLB)、すなわち“口唇呼吸”は、それによって気道内圧が上昇するため、いわゆる呼気閉塞現象による気道閉塞を緩和すると考えられている。PLB 時の換気力学¹⁾や血液ガス変化^{2,3)}に関する報告は多数あるが、 ^{133}Xe ガスを用いて PLB 時の局所換気効率を検討した報告は未だ見うけられないと思う。著者らは、この PLB の効果を肺の局所別、かつ定量的に調べるため、 ^{133}Xe 換気の functional image 法に、PLB を模擬する

呼気抵抗負荷装置を併用したシステムを新たに作成した。このシステムの概要と臨床例に用いた結果について報告する。

II. 装置および方法

1. 装 置

ガス吸入装置の概要を Fig. 1 に示す。 ^{133}Xe ガスコントロール装置 (NOVO-XA30) は脳循環測定用のものを使用した。この装置の呼気抵抗は口腔内圧で約 15 mm H₂O であり、PLB の効果を検討する上で大きな障害になる。これを改善するため、呼気回路の途中にビニール製バッファバッグとブロアーを付加した。PLB を模擬する呼気抵抗負荷装置は、J バルブとシリンジを用いてノズルの径を微調整できる構造とし、患者マスクとバッファバッグの間に接続した。これらの装置を付加することにより、呼気時の口腔内圧を 0 から 100 mm H₂O まで任意に設定することが可能になった。口腔内圧の直接測定は困難なので、患者

* 山形大学医学部放射線科

** 同 付属病院放射線部

*** 同 第一内科

受付：57 年 6 月 30 日

最終稿受付：57 年 8 月 18 日

別刷請求先：山形市蔵王飯田 (☎ 990-23)

山形大学医学部放射線科

駒 谷 昭 夫

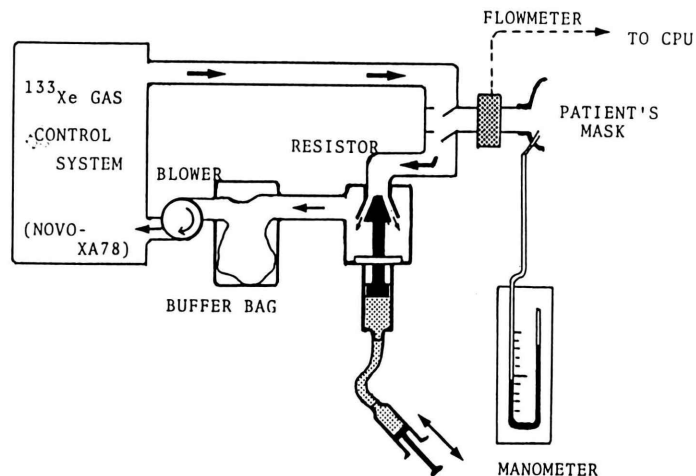


Fig. 1 Diagram of the model for simulating the pursed lip breathing supplemented to a ^{133}Xe gas control system.

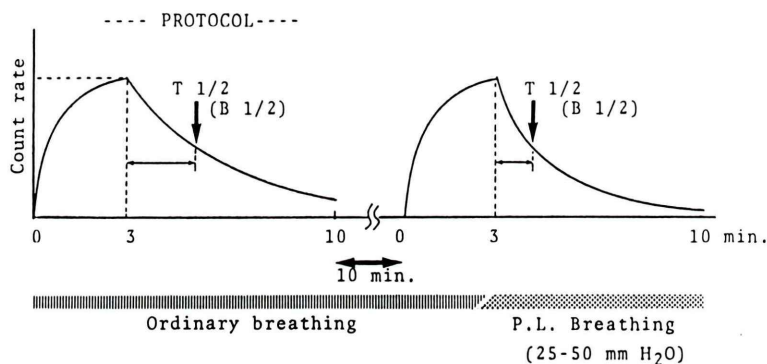


Fig. 2 Protocol of the examination illustrated with pulmonary time-activity curve.

マスク内圧をマンメータにより測定し PLB の程度の指標とした。換気量、換気回数の検出は患者マスクに取り付けた熱線流量計にて行った。用いたシンチカメラは Ohio Σ 410S 型、コンピュータシステムは PDP-11/34 (GAMMA-11) である。

2. 検査の手順

検査手順の概要を Fig. 2 に示す。座位被検者の背面にシンチカメラを設置し、同一被検者について 2 回の検査を行うが、1 回目は、呼吸抵抗負荷をかけずに通常呼吸下で行う。まず、 ^{133}Xe ガス 6~7 mCi を充てんした閉回路における呼吸を 3 分間行い、Washin curve を得る。次いで ^{133}Xe

ガスコントロールシステムのバルブを切り換え、室内空気による洗い出しを 7 分間行い、washout curve を得る。その後、被検者の肺のバックグラウンドに応じて 10~15 分の休憩をとるが、その間に ^{133}Xe ガス 3~4 mCi と酸素を補充し、閉回路のガス成分を初回とほぼ同じ状態に調整する。2 回目も初回と同様、3 分間の吸入と 7 分間の洗い出しを行うが、洗い出し開始の直前から呼吸時の最高口腔内圧が 25~50 mmH₂O となるように呼吸抵抗負荷装置を調整し、PLB を模擬した状態での washout curve を得た。

呼吸抵抗負荷前と後の局所ごとの比較、および

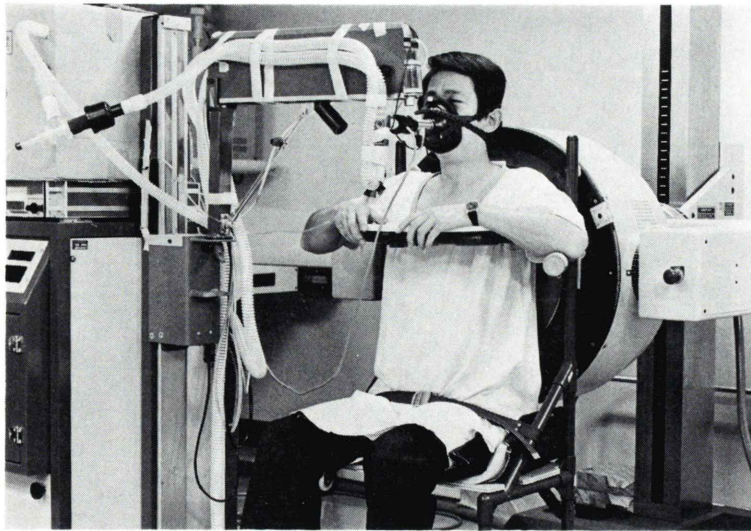


Fig. 3 Apparatus for measurement of the regional ventilation. Specially made chair was used to fix the patient without oppressing the chest wall and abdomen.

それらの差や比による functional image の作成のためには、1 回目の検査開始から 2 回目の検査終了まで、休憩時間を含み 30～35 分間、呼吸運動を制限することなしに被検者を固定しなければならない。このため腋窩と鼠径部だけで固定し、被検者の胸や腹部を圧迫しない特性の椅子を作成した。この椅子を使用しての検査中の様子を Fig. 3 に示す。

3. データの収集と処理

シンチカメラ信号はリストモードで収集し、同時に熱線流量計からの呼吸信号も収集した。リストモードからフレームファイルへの変換は 2 つの方法で行った。ひとつは 5 秒に 1 フレームの時間を基準とする通常の方法で、もう一法は熱線流量計からの信号を基準にし、1～2 呼吸ごとに 1 フレームとする方法である。functional image は washout curve における半減時間 ($T 1/2$)、および半減するのに要する呼吸数 ($B 1/2$) を濃淡、カラー、および数字の打ち出しで表示した。画素数は 32×32 としたが、処理時間を短縮するため、全肺野を囲む不整形関心領域内だけについて計算する手法を用いた。呼吸抵抗負荷前と後の局所換気効率の変化を比較するために、それらの差や比を表示す

る functional image の作成も試みた。さらに、全肺の変化を定量的に把握するために、 $B 1/2$ に対する画素数をモードとしたヒストグラムも作成した。

III. 臨床成績

健常者(ボランティア)、肺気腫、および喘息合併肺気腫の症例を呈示する。

症例 1. 27 歳男(健常者)

Fig. 4 に washout の functional image を示す。左側は通常呼吸、右側は呼吸抵抗負荷時の像で、それぞれ上段は $T 1/2$ 、下段は $B 1/2$ の functional image である。呼吸抵抗負荷は呼吸時の最高口腔内圧で $50 \text{ mmH}_2\text{O}$ とした。 $T 1/2$ 、 $B 1/2$ の分布は全肺野にわたりほぼ均一で、呼吸抵抗負荷により $T 1/2$ は若干延長したが、 $B 1/2$ はほとんど変化しなかった。Fig. 5 に全肺野の $B 1/2$ ヒストグラムを示す。横軸に $B 1/2$ 、すなわちおのおのの画素における放射能濃度が半減するのに要した呼吸回数を取り、縦軸にはそれに対応する画素の総和をプロットした。○印は通常呼吸時、×印は呼吸抵抗負荷時のヒストグラムであるが、両者の差異はきわめて小さい。また、 $B 1/2$ は呼吸数 10～20 に

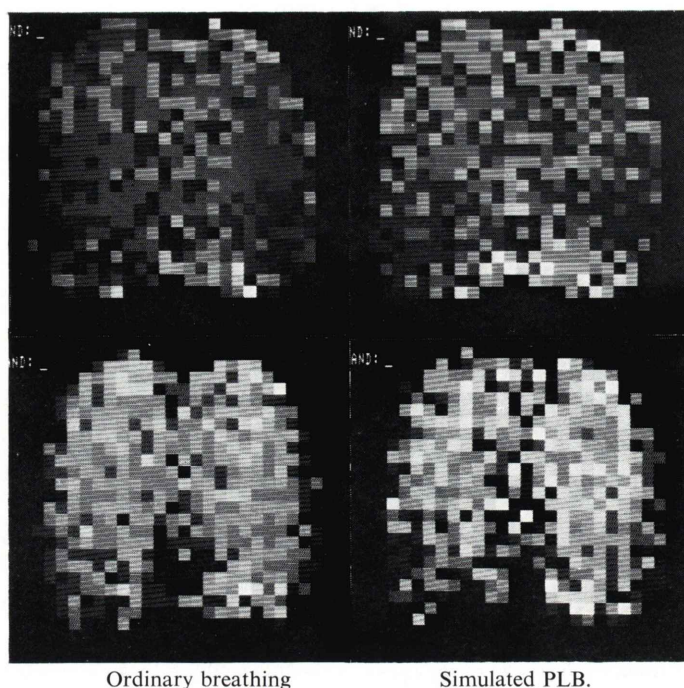


Fig. 4 Functional images of the regional ventilation on case 1 (control). Upper: T 1/2, lower: B 1/2, each of the left is in ordinary breathing and the right is in simulated pursed lip breathing. (PLB).

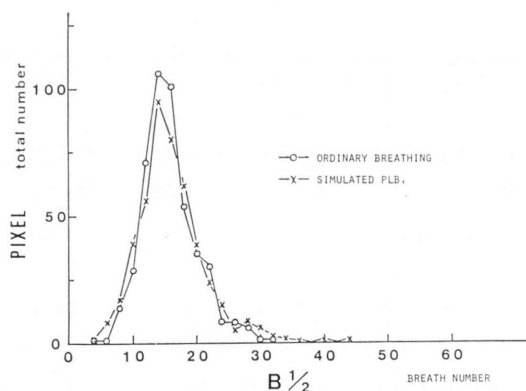


Fig. 5 Histograms of the B 1/2 distribution on case 1 (control).

集中し、最も Washout の悪い所でも 45 呼吸数以下で放射能濃度が半減したことがわかる。

症例 2. 63 歳男 (肺気腫)

Fig. 6 に functional image を示す。通常呼吸に

おいては、両側下肺野に B 1/2 が著明に延長し、換気効率の低下が示唆される部位 (白く描出されている箇所) が認められた (Fig. 6 左)。

呼吸抵抗負荷をかけ、最高口腔内圧が 30 mm H₂O の PLB の状態にすると、両下肺野の B 1/2 は著明に短縮し、それ以外の肺野とほぼ同じ値となった。これは肺気腫部の換気効率が改善したことを示す (Fig. 6 右)。Fig. 7 は B 1/2 のヒストグラムである。通常呼吸時の分布は、ピークの幅が広く、かつ右方への広がりが目立つが、呼吸抵抗負荷によりピーク幅は狭くなり、ピーク全体が左方へ移行した。このことも呼吸抵抗負荷による換気効率の著明な改善を反映するものと考えられる。

症例 3. 58 歳男 (喘息合併肺気腫)

通常呼吸時に、両下肺野、とくに右下肺野に B 1/2 が著明に延長している部位が認められるが、この部位の B 1/2 は呼吸抵抗負荷をかけてもほとんど変化しなかった (Fig. 8)。B 1/2 のヒストグラ

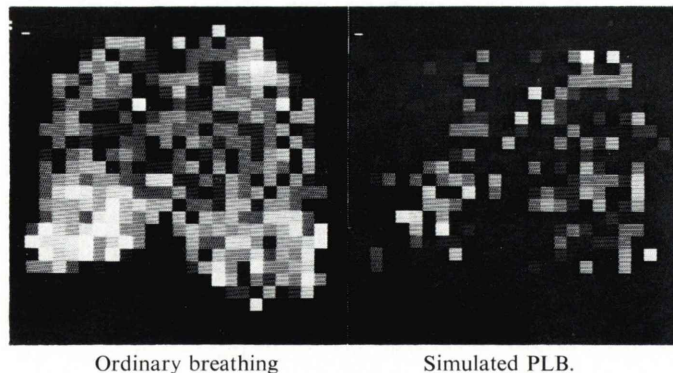


Fig. 6 Functional images indicated with B 1/2 distribution on case 2 (chronic pulmonary emphysema (CPE)). Left: ordinary breathing, right: simulated PLB.

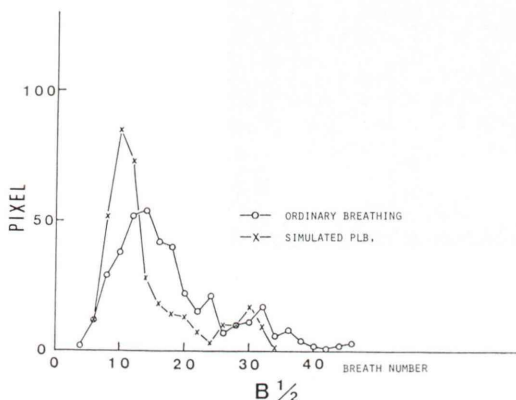


Fig. 7 Histograms of the B 1/2 distribution on case 2 (CPE).

ム (Fig. 9) でも、呼吸抵抗負荷によりピークの位置はいく分左方へ移行したが、B 1/2 値は 130 程度まで分布し、それが短縮される徴候は認められなかった。すなわち、本症例では、呼吸抵抗負荷による肺気腫部の換気効率の改善は認められなかった。

健常者 3 例、肺気腫 12 例、喘息合併肺気腫 3 例、その他汎細気管支炎、肺線維症など 5 例について、同様の検査を適用し、呼吸抵抗負荷の効果を疾患別に評価、分類した結果を Table 1 に示した。効果の評価は、通常呼吸時の B 1/2 を基準にし、呼吸抵抗負荷により B 1/2 が短縮したものを改善、変化しないものを不変、逆に延長したものを悪化

とする 3 段階に分類して行った。健常者では 3 例とも、不変であった。肺気腫例では、12 例中 10 例 (83%) に改善が認められた。汎細気管支炎や肺線維症などの例では不変、または悪化の傾向が認められ、改善されるものは全くなかった。

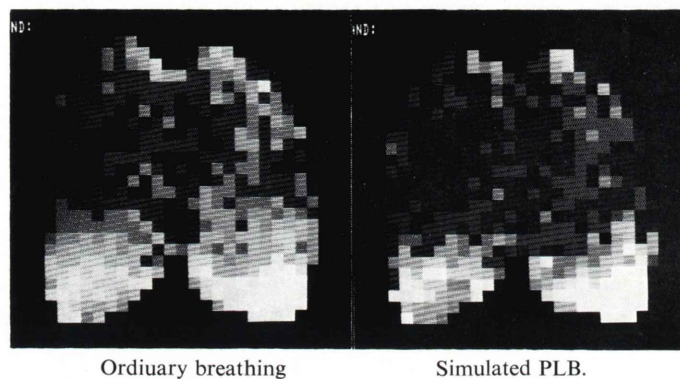
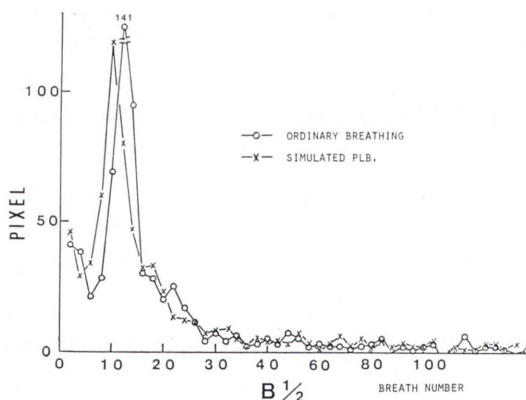
IV. 考 察

^{133}Xe ガス吸入による肺局所換気効率の Wash-out functional image 法に、PLB を模擬する呼吸抵抗負荷装置を併用し、呼吸抵抗負荷の効果を局所的に評価することができた。換気効率検査法として、他に血液ガス分析法、窒素の純酸素による洗い出し法がある。これらは全肺の換気効率を反映するが、局所別の換気効率に関する情報は得られない。したがって、肺気腫例における PLB の効果のような局所の変化は、全肺的には軽微であり、これらの検査法では検出が困難である。さらに後者は、純酸素を吸入させるので、症例の制限や生理条件の不自然さがつきまとう⁴⁻⁷⁾。その点、本法に用いるゼノンガスの量は $7 \mu\text{l}/\text{回}$ 以下、濃度は $1.4 \mu\text{l}/\text{l}$ 以下であり、洗い出しには室内空気を用いるので、被検者の生理的条件に及ぼす影響は無視できると考えられる。

肺気腫例で、呼吸抵抗負荷により換気効率が改善され、特に肺気腫部の改善が著明で、健常部と同程度にまで改善され得ることを確認できた。これは、呼吸抵抗負荷によって気道内圧が上昇する

Table 1 Effect of the simulated pursed lip breathing (PLB) on the regional ventilation estimated with B 1/2.

Clinical diagnosis	No. of cases	Effect of simulated PLB on the regional ventilation		
		Improved	Unchanged	Deteriorated
Control	3	0	3	0
Chronic pulmonary emphysema (CPE)	12	10	2	0
CPE+asthma	3	0	2	1
Bronchiolitis	1	0	1	0
Fibrosis	2	0	1	1
(Bulla)	2	0	2	0

**Fig. 8** Functional images indicated with B 1/2 distribution on case 3 (CPE+asthma).**Fig. 9** Histograms of the B 1/2 distribution on case 3 (CPE+asthma).

ため、いわゆる呼気閉塞現象による気道閉塞が緩和されたことによる改善と考えて矛盾しない。喘息合併肺気腫や汎細気管支炎などの例では、呼気

抵抗負荷による換気効率の改善が認められなかったが、これは呼気閉塞現象によらない気道閉塞であるため改善されなかったと考えられる。呼気抵抗負荷により、逆に換気効率が低下した例もあったが、これは、呼気抵抗負荷が単なる抵抗としてのみ作用した時に起こり得る現象である。

健常者で、呼気抵抗負荷により B 1/2 はほとんど変化しないのに、T 1/2 が全肺野で延長する傾向が認められたのは、一回呼吸量や分時呼吸回数が増加し、呼気抵抗負荷により変化し、同一呼吸量に達するまでの時間が延長したためと考えられる。この観点から、半減時間 (T 1/2) による評価より、半減するのに要する呼吸量による評価法が理想的である。今回はその前段階として呼吸数による法 (B 1/2) も試みたが、T 1/2 法よりは合理的であり、実用上十分な評価法であった。より正確な評価のためには、呼吸量による評価、さらに、肺血流や

血液ガス分析との対比が必要と考える。

本法により、最適呼吸抵抗を患者ごとに求めれば、リハビリテーションの指導や効果判定にも応用できると考える。

V. 結 語

^{133}Xe washout の functional image 法に、PLB を模擬する呼吸抵抗負荷装置を併用することにより、肺気腫患者における pursed lip breathing の換気効率に及ぼす影響を評価する方法、および臨床経験について述べた。本法により、呼吸抵抗負荷が換気効率に及ぼす影響を局所別に定量的な評価を行うことができ、肺気腫部の換気効率が呼吸抵抗負荷により改善され得ることを確認することができた。本法は、慢性閉塞性肺疾患の病態解析、リハビリテーションの指導や効果判定上きわめて有用な検査法であると考ええる。

文 献

- 1) Roland HI, JR, Donald PS: Effect of pursed lips expiration on the pulmonary pressure-flow relationship in obstructive lung disease. *Am Rev Respir Dis* **109**: 381-388, 1966
- 2) Gothe B, Cherniack S: Effects of expiratory loading on respiration in humans. *J Appl Physiol* **49**: 601-608, 1980
- 3) Robert EM, Thomas LP, Giles FF: Ventilation and arterial blood gas changes induced by pursed lips breathing. *J Appl Physiol* **28**: 784-789, 1970
- 4) Mcaslan TC, Matjasko-Chiu J, Turney SZ, et al: Influence of inhalation of 100% oxygen on intrapulmonary shunt in severely traumatized patients. *J Trauma* **13**: 811-821, 1973
- 5) Wagner PD, Laravuso RB, Uhl RR, et al: Continuous distributions of ventilation/perfusion ratios in normal subjects breathing air and 100% oxygen. *J Clin Invest* **54**: 54-68, 1974
- 6) Aubier M, Murciano D, Milic-Emili J, et al: Effects of O_2 administration on ventilation and blood gases in acute respiratory failure of patients with chronic obstructive lung disease. *Am Rev Respir Dis* **122**: 747-754, 1980
- 7) Guenard H, Verhas M, Todd-Prokopek A, et al: Effects of oxygen breathing on regional distribution of ventilation and perfusion in hypoxemic patients with chronic lung disease. *Am Rev Respir Dis* **125**: 12-17, 1982
- 8) Andersen JB, Dragsted L, Kann T, et al: Resistive breathing training in severe chronic obstructive pulmonary disease. A pilot study. *Resp J resp Dis* **60**: 151-156, 1979

Summary

Measurement of Regional Ventilation under the Condition of "Pursed Lip Breathing" (PLB) with Newly Designed PLB-Model

Akio KOMATANI*, Koichi YAMAGUCHI*, Kazuei TAKAHASHI**,
Hideki IKEDA*** and Keiji TAKAHASHI**

**Department of Radiology*

***The 1st Department of Internal Medicine, Yamagata University School of Medicine*

A new device was designed to control the expiratory positive pressure from 0 to 100 mmH₂O as a simulation of the "pursed lip breathing" (PLB). Using this device, the effects of PLB to regional ventilation were evaluated.

Each patient was examined twice, first in ordinary breathing and second, after 10 to 15 minutes break, in the condition of PLB with the PLB-model. The washin and washout curves of ¹³³Xe gas were recorded by an Anger camera interfaced to the computer system (DEC PDP-11/34 GAMMA-11). Functional images of Tl/2 and B1/2 (breath number) on the ¹³³Xe washout curves were adopted as the indices of relative function of the regional ventilation. Histograms of

the B1/2 distribution were also adopted to estimate the ventilation about the whole lung.

Under the condition of PLB, the regional ventilation was improved in most cases of chronic pulmonary emphysema (CPE) and had a tendency to deteriorate in the case of CPE with asthma and the other lung diseases.

This examination with the PLB-model might be available to evaluate the regional ventilation during PLB and follow-up of chronic obstructive lung disease.

Key words: Pursed lip breathing, PLB-Model, ¹³³Xe washout functional image, Regional ventilation.