

肺手術前後における運動負荷試験の臨床的評価  
(主として肺結核患者について)

石 渡 弘 一

慶応義塾大学医学部外科学教室(指導 赤倉一郎教授)

受付 昭和45年2月16日

CLINICAL EVALUATION OF EXERCISE TEST BEFORE  
AND AFTER LUNG SURGERY\*

Hirokazu ISHIWATA

(Received for publication February 16, 1970)

The author studied the lower limit of pulmonary function for social rehabilitation based on the changes of ventilation and blood gas under the 2-step test for 3 minutes among 36 patients who had undergone lung surgery. A further study was made on the relation between the ventilatory function and the working status among 67 cases of pulmonary tuberculosis with postoperative functional impairment. The results were summarized as follows:

1) Among various functional indices obtained from the spirometry,  $FEV_{1.0}/m^2$  showed the closest correlation with  $PaO_2$  and  $PaCO_2$ , and it also coincided well with the Hugh Jones' dyspnea index. % MVV was next to  $FEV_{1.0}/m^2$ . The lower limit of  $FEV_{1.0}/m^2$  for social rehabilitation was approximately 800 ml. Most of the cases with  $FEV_{1.0}/m^2$  less than 700 ml showed hypercapnea under the exercise test. The lower limit of % MVV for social rehabilitation was 50.

2) The functional limit obtained from the results of studies on socially rehabilitated cases was considered to be as follows; when %  $FEV_{1.0}$  is more than 55 with % VC more than 50 or  $FEV_{1.0}/m^2$  more than 800 ml, the exercise test shows few change and the rehabilitation is possible. Even though %  $FEV_{1.0}$  is more than 55, if % VC is less than 40, social rehabilitation is considered to be rather difficult. Among cases with %  $FEV_{1.0}$  less than 55, % VC 70 seems to be the upper limit showing abnormal findings under the exercise test, and  $FEV_{1.0}/m^2$  700 ml and/or % MVV 50 is considered to be the lower limit for social rehabilitation.

3) When the lung surgery is performed on cases who can not complete the 2-step test for 3 minutes, a considerable disturbance on patients' postoperative daily life is expected, and the prognosis is also unfavourable.

4) Cases with ventilatory indices almost close to the lower limit on pulmonary function test were unable to restore their function during the longterm postoperative observation period, and they also complained severer dyspnea. The possible amount of continuous work among rehabilitated cases with pulmonary function close to the lower limit seems to be R.M.R. 1, but this index is clinically not useful as V.I. is unable to calculate in many cases.

---

\* From the Surgical Department, School of Medicine, Keio University, Shinano-machi, Shinjuku-ku, Tokyo 160 Japan.

## I. 緒 言

肺疾患の外科治療にあたって、予定手術式の施行についての危険度を推測し、術後社会復帰についての目標を推定することを目的としての患者の状態の評価については多くの問題が残されている。現在のところ外科治療の適応を決定する指標として spirometry の成績が多く用いられてきているが、巨大な手術侵襲をもたらす機能的影響を知るには、static な状態で測定される spirometry のみでは不十分の感がある。われわれは従来 spirometry と bronchosprometry により、必要な場合にはこれに一侧肺動脈閉塞試験を加えて手術適応を決定してきたが、さらに運動負荷試験を取り上げ、その参考資料としての価値を検討した。

肺機能の正常域にある者においては、運動負荷に伴う換気量と肺循環血液量の増大によつて動脈血ガス組成は正常範囲内にとどまるのであるが、肺機能低下者にあつては運動負荷によつて、動脈血ガス組成の異常な変動を来し回復に要する時間も遅延する。したがつて一定量の運動を負荷したさいの動脈血と換気諸量の変動を追求することによつて、個体の肺機能の評価することができる。著者は肺外科治療例に対して、手術前後に運動を負荷してこれらの変動を観察し、その成績と spirometry から得られる諸値を対比して、肺機能の評価の指標として妥当なものを求め、かつ術後における労働能力の推測に関する資料をも得ようと試みた。さらに術後長期間経過した症例群について遠隔時現況調査を行ない、その一部には spirometry、運動負荷試験、ECG を行なつて、肺機能と就労状況との関連から術後保存すべき肺機能についても検討を加えた。

## II. 研究方法および研究対象

## 1. 研究対象

## 1) 正常例

運動負荷とその程度に対する健康者の反応態度を知るために、胸部X線写真に異常がなく、換気機能正常な30歳前後の男子5例を選び、その成績を検討した。

## 2) 手術前後に運動負荷試験を行なつた症例

昭和36年以降5年間に慶大外科において、外科治療を受けた肺疾患症例のうち36例について、術前および術後3カ月目に運動負荷試験を行ない、同時期に spirometry を行ない、さらに術前には全例 bronchosprometry を行なつた。これらの症例の疾患、年齢、および性別は表1に示した。

## 3) 肺手術後換気機能低下例

肺手術後3~6カ月にわたつた spirometry の成績で、 $\%VC \leq 50$ 、 $\%FEV_{1.0} \leq 55$ 、 $\%MVV \leq 55$  の3条件のいずれか1つ以上に該当しており、術後1年以上を経過し

Table 1. Diagnosis and Sex and Age Distribution of the Material

		Total						36
Pulmonary tuberculosis								30 cases
Bronchiectasis								4
Lung cyst								1
Pulmonary suppuration								1
		Total						36
Age	~20 yrs	~30	~40	~50	~60	60~	Total	
Male		5	13	4	2	1	25	
Female	1	7		1	2		11	
Total	1	12	13	5	4	1	36	

たもののうちから、就労状況および自覚の呼吸困難の程度を調査しえた肺結核症67例について検討した。これらの症例は男子48例、女子19例で、30~40歳代が56例(84%)を占めている。術後経過期間は4年未満36例、4年以上31例であつて、最長10年である。このうち遠隔時に spirometry を行なつたものは49例で、運動負荷試験は35例に行ないえた。

## 2. 研究方法

## 1) 運動負荷試験

1分間15回の速さで高さ25cmと50cmの2段階昇降試験を3分間行なわせ、安静時、運動時および回復時に各3分間ずつ呼吸をダグラスバックに採取し、Scholander微量ガス分析装置によりガス分析を行ない、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )、酸素摂取率( $O_2$  removal)を算出し、換気量( $\dot{V}E$ )は乾式ガスメーターで求めた。また運動時換気量とMVVから運動指数(EI)<sup>2)</sup>を、換気子備率とEIからノモグラム<sup>2)</sup>で換気指数(VI)を求めた。さらに肘動脈にCournand型動脈針を刺入固定して、安静時、運動負荷直後、負荷後5分および10分の各時期に動脈血を採取した。酸素含量および酸素容量はVan-Slyke-Neil法<sup>3)</sup>で測定して酸素飽和度( $SaO_2$ )を算出し、酸素分圧( $PaO_2$ )、炭酸ガス分圧( $PaCO_2$ )はBubble method<sup>4)</sup>により測定した。pHは硝子電極pHメーターを用いて測定し、Rossenthalの補正式<sup>5)</sup>により算出した( $pH = pH_t - 0.0147(38 - T)$ )。HtはWintrobe<sup>6)</sup>法により求め、緩衝塩基(Buffer Base)はSinger-Hasting<sup>7)</sup>のノモグラムより間接的に求めた。

## 2) Spirometry

91 Benedict-Roth型 spirometer を用いて、肺活量(VC)、分時最大換気量(MVV)、一秒量( $FEV_{1.0}$ )を測定し、Baldwin<sup>1)</sup>の式より $\%VC$ 、 $\%MVV$ 、 $FEV_{1.0}$ と1段肺活量(FVC)の比から一秒率( $\%FEV_{1.0}$ )をそれぞれ算出した。VC、MVV、 $FEV_{1.0}$ の術後減少率は次の式で算出した。(1-術後値/術前値)×100

## 3) 呼吸困難度指数

Hugh-Jones の指数<sup>20)</sup>を用いてその程度と spirometer 諸値, EI, VI, および就労内容との関係を検討した。

III. 研究成績

1. 正常例

1) 換気諸量の変動

VE の変動は安静時平均 3.8 l/min/m<sup>2</sup>, 負荷中 13.3 l/min/m<sup>2</sup>, 回復期 7.4 l/min/m<sup>2</sup> で安静時のそれぞれ 3.5 倍, 1.9 倍であった。VO<sub>2</sub> はそれぞれ 122.6 ml/min/m<sup>2</sup>, 687 ml/min/m<sup>2</sup>, 287.5 ml/min/m<sup>2</sup> で安静時の 5.4 倍, 2.2 倍であるが, O<sub>2</sub> removal でみると安静時 39.6 で, 負荷中 57.6 と増加するが回復期は 40.5 とほぼ安静時の値に回復している。

2) 血液ガス諸量の変動

血液ガス諸量の正常値として, われわれは SaO<sub>2</sub> は 92%, PaO<sub>2</sub> は 80 mmHg を限界とし, PaCO<sub>2</sub> は 35~45 mmHg, pH は 7.35~7.45 を正常範囲とした。SaO<sub>2</sub> の変動は安静時 96.9%, 負荷直後 95.6%, 負荷後 5 分目 96.2%, 同 10 分目 96.6% と正常範囲内におけるわずかな変動を示すにすぎず, pH は 7.42-7.40-7.43-7.43, PaO<sub>2</sub> は 93.2-92.2-93.4-91.0 mmHg, PaCO<sub>2</sub> は 38.6-39.2-38.2-38.2 mmHg と同様の傾向を示した。

2. 手術前後に運動負荷試験を行なった症例

1) 運動負荷中止例

呼吸困難のため運動負荷を 1~2 分で中止した症例は術前 3 例, 術後 9 例である。% FEV<sub>1.0</sub> ≤ 40 は 3 例, 41~50% は 4 例で中等ないし高度の呼出障害を伴った混合性障害を示すものと, % VC 40 以下は 1 例, 41~50% は 4 例で中等ないし高度の拘束性障害を呈する症例である。前者の成績から % FEV<sub>1.0</sub> は 50 を下限とし

て, これ以下の症例は術後労作能力が著しく低下していると考えなければならない。後者はすべて全切術後の症例であった。そこで運動負荷を中止した直後の血液相をみると, hypoxemia+hypercapnia を示すもの 7 例, hypoxemia を認めるものは 2 例で, 前者は呼出障害を伴った症例が多い。しかし負荷を中止したにもかかわらず血液相の正常な症例も 3 例存在した。

2) 血液ガス諸量の変動と換気機能

運動負荷試験に耐えた 60 例の血液ガスの変動をみると, 運動負荷直後に異常な変動を示した症例も, 5 分後にはほぼ正常値に回復しているの, 運動負荷直後の血液ガス諸値と spirometry から得られた各指標との間の相関性を検討してみた。

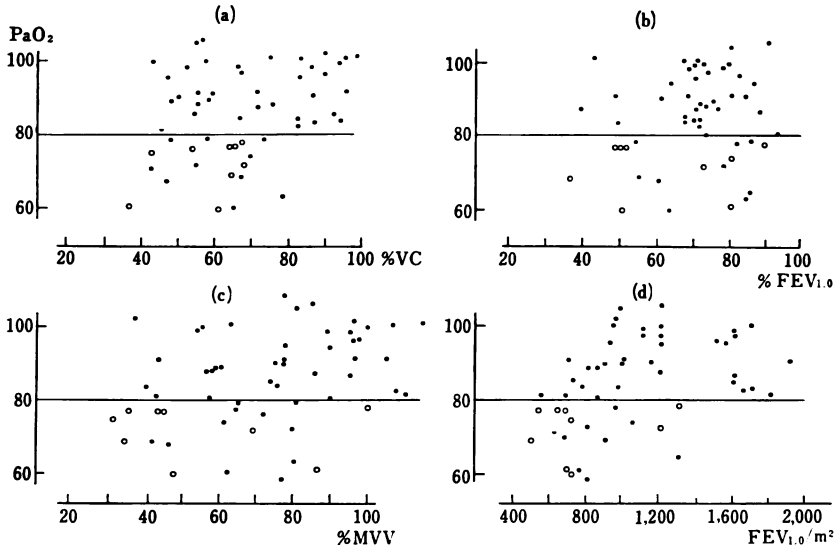
a) 動脈血酸素分圧との関係

% VC との関係を見ると, % VC 80 以上では全例正常値を示し, 40 以下ではすべて hypoxemia を認めるが, 80~40 の間では相関が認められない。(図 1 a)

% FEV<sub>1.0</sub> については明らかな関係は認められないが, 55% 以下となると 60% (7 例) が hypoxemia を示しており, 運動負荷中止例をも加えると 70% がなんらかの異常を示している。したがって % FEV<sub>1.0</sub> は 55 を一つの限界としてさらに検討する必要がある。(図 1 b)

% MVV との関係は % FEV<sub>1.0</sub> と同様に密な相関関係は認められないが, % MVV 50 以下の症例は 66.6% (8 例) が hypoxemia を示している (図 1 c)。FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> についてみると, 1,400 ml 以上はすべて正常値を示し, 1,400~800 の間では 21% (6 例) に hypoxemia を認めるが, 800 ml 以下となると 73% (13 例), 700 ml 以下では 80% (8 例) が異常を示して, 密な相関が認められる。しかし酸素分圧低下の程度は FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> の減

Fig. 1. Correlation between PaO<sub>2</sub> and Ventilatory Function



○: with hypercapnia

少と平行関係は認められない。(図1d)

b) 動脈血炭酸ガス分圧との関係

図1に hypercapnia を伴うものを○印で示してある。  
 % VC, % FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> とは相関がなく, % MVV では 50% 以下で 66% (6例), FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> は 70.0 ml 以下で 78% (7例) が hypercapnia+hypoxemia を示しており, FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> が密な関係を認める。この場合 hypercapnia の程度は主として呼出障害に基因して FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> が減少している場合が著しく, また呼出障害をきたす原因によっても差がある。

c) 動脈血 pH との関係

各指標の間にはばらつきが多く, 一定しない。むしろ運動負荷直後に hypoxemia を示す群, hypoxemia+hypercapnia を示す群の順序に低下が著しい。

以上の成績から, PaO<sub>2</sub> の変動と最も相関があるのは FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> で, その限界は 800 ml であり, 700 ml 以下では hypercapnia を伴うようになる。次いで % MVV でその限界は 50% で hypoxemia+hypercapnia を伴うようになる。

3) 呼気ガス諸量の変動

運動負荷直後の PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> の値から normal 群, hypoxemia 群, hypoxemia+hypercapnia 群の3群に分けて, 呼気ガス諸量の変動をみた。

$\dot{V}E$  は normal 群平均 4.7~17.5~12.7 l/min/m<sup>2</sup>, hypoxemia 群 4.9~16.4~12.7 l/min/m<sup>2</sup>, hypoxemia+hypercapnia 群 4.9~15.1~10.8 l/min/m<sup>2</sup> となり, 負荷中, 回復期の変動には各群ともばらつきが多く一定しないが, 運動時換気量の増加は hypoxemia 群が少ない傾向を示し, 前2者は差がなく安静時の約3.5倍で正常例と同様である。(図2)

$\dot{V}O_2$  は安静時 normal 群 135.2 ml/min/m<sup>2</sup>, hypoxemia 群 139.9 ml/min/m<sup>2</sup>, hypoxemia+hypercapnia 群 146 ml/min/m<sup>2</sup> と正常値を示し, 負荷中はそれぞれ 656.8, 534.8, 598.3 ml/min/m<sup>2</sup> となり, hypoxemia 群, hypoxemia+hypercapnia 群の増加が少ないが, 有意の差は認められない。回復期の値はばらつきがあり一定しない。(図3)

O<sub>2</sub> remov. の変動は normal 群 34.9~45.2~35.5, hypoxemia 群 33.7~44~34.0, hypoxemia+hypercapnia 群 34.6~46.5~32.8 となり, 正常例に比べて負荷中の増加は少ないが, 各群に差

は認められない。(図4)

呼気ガス諸量の負荷中, 回復期の値はかなりばらつき, 血液相の変動と相関は認められないが, % FEV<sub>1.0</sub> 55 以下の症例で血液相の異常を示すものは比較的近似した値を示し, 安静時の  $\dot{V}E$  5.0 l/min/m<sup>2</sup>, 負荷中 15.5 l/min/m<sup>2</sup> と運動時換気量の増加が少なく, とくに O<sub>2</sub> remov. は安静時 35.7, 負荷中 40.6 となり, 負荷中の増加がいちばん少なく, 換気効率の低下を示している。

4) 運動負荷試験からみた機能的限界

手術後保存すべき機能について検討するために, % FEV<sub>1.0</sub> 55 を境界として, 換気機能障害の程度を, 第1群 % VC 80 以上で, % FEV<sub>1.0</sub> 70 以上, 第2群 % VC 80 以上で, % FEV<sub>1.0</sub> 70~55, または % VC 80~60 で, % FEV<sub>1.0</sub> 55 以上, 第3群 % VC 60 以下で, % FEV<sub>1.0</sub>

Fig. 2. Changes in  $\dot{V}E$

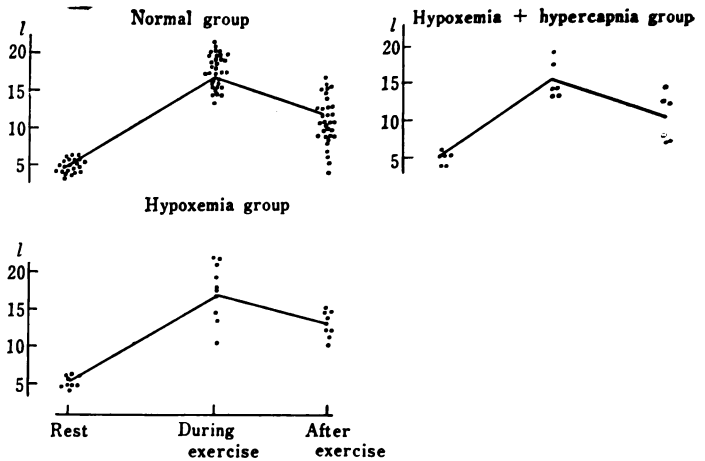


Fig. 3. Changes in  $\dot{V}O_2$

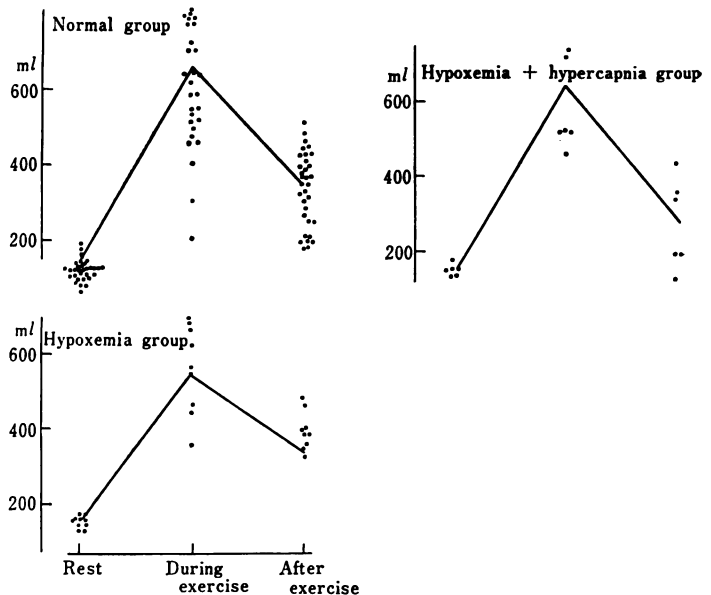


Fig. 4. O<sub>2</sub> Removal

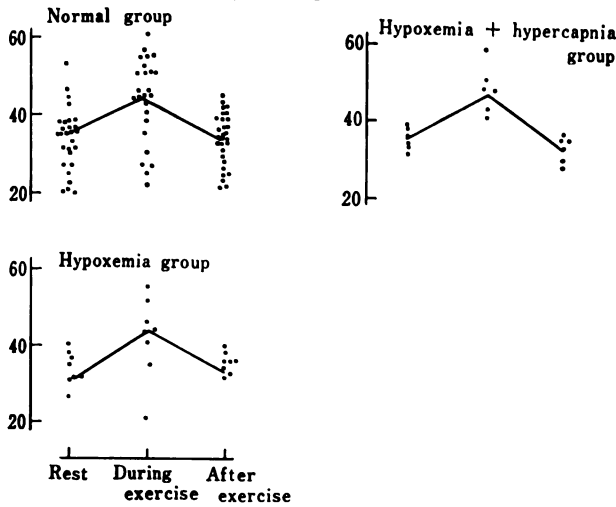


Table 2. Results of Ventilatory Functional Tests

	% VC	% MVV	% FEV <sub>1.0</sub>	FEV <sub>1.0</sub> /m <sup>2</sup>
Group 1 (9 cases)	Mean 89.4	108.9	74.0	1654
Group 2 (18)				
Obstructive (6)	89.8	94.7	66.2	1446
Restrictive (9)	69.7	83.5	80.2	1291
Mixed (3)	67.0	72.3	65.5	895
Group 3 (23)				
Restrictive (20)	49.8	67.8	79.8	908
Mixed (3)	52.7	61.3	64.4	786
Group 4 (10)				
Obstructive (2)	84.0	56.3	46.0	959
Mixed (8)	56.1	45.6	52.2	632

Note: Criteria of 4 groups

Group	% VC	% FEV <sub>1.0</sub>
1.	80~	70~
2.	80~	55~69
3.	60~79	55~
4.	~59	55~

55以上、第4群 % FEV<sub>1.0</sub> 55以下の4群に分けて、血液ガス諸量の変動を追求した。

表2に spirometry 諸値の平均を各群別に示したが、第1群の変動は SaO<sub>2</sub> 97.1~95.3~95.8~96.0%, PaO<sub>2</sub> 91.8~89.1~91.8~92.3 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 36.2~37.8~35.5~36.5 mmHg, pH 7.42~7.34~7.39~7.40 となりすべて正常範囲内の変動で、[B<sub>B</sub><sup>+</sup>]<sub>b</sub> も 48.9~43.2~44.3~46.1 mEq/l とわずかに変動するのみである(図5)。第2群は軽度拘束性障害9例、軽度呼出障害6例、軽度混合性障害3例で、% MVV はすべて 65% 以上を示し、FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> は 89% (16例) が 1,000 ml 以上である。SaO<sub>2</sub> の変動は 95.8~95.1~95.7~96.0% とわずかであるが、PaO<sub>2</sub> は 91.6~86.9~90.3~85.0 mmHg

となり、負荷直後に hypoxemia が5例認められる。5分後にはほとんど正常値に復している。PaCO<sub>2</sub> は 37.0~43.1~32.2~35.3 mmHg, pH は 7.44~7.31~7.38~7.41, [B<sub>B</sub><sup>+</sup>]<sub>b</sub> 48.2~44.9~46.9~45.8 で、ほぼ正常範囲内の変動にとどまるが、O<sub>2</sub> debt を回復させるために、5分後に呼吸性アルカローシスの傾向を示すものがある。(図6)

hypoxemia を示す症例のうち4例は術後で女性が多い。これら症例は遠隔時なら自覚症もなく就労しているので、術後3カ月目では長期療養や手術侵襲の影響が十分回復せず、負荷試験の成績が異常を示す場合がある。第3群は拘束性障害20例、混合性障害3例で96%は % MVV 50 以上で、FEV<sub>1.0</sub> 800 以下はほぼ半数である。SaO<sub>2</sub> の変動は 95.1~92.8~94.9~95.4%, PaO<sub>2</sub> 89.9~85.3~92.9~90.6 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 38~41.8~37.9~35.3 mmHg, pH は 7.42~7.31~7.34~7.40, [B<sub>B</sub><sup>+</sup>]<sub>b</sub> 46.6~42.1~42.4~43.7 mEq/l となり、第2群と逆に代謝性因子も加わつたアチドーシスの傾向を示すものが、負荷直後、5分後にも認められる(図7)。負荷直後に hypoxemia を示すもの7例、hypercapnia をも伴うもの1例と35%に異常な変動が認められる。

% VC でみると50%以上は異常な症例はなく、% VC 50~40 では FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> 800 ml 以下は血液相に異常を示し、% VC 40 以下となると正常範囲の変動のものは認められない。第4群は呼出障害2例、混合性障害8例で、FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> 800 以上、% MVV 50 以上のものは3例のみである。SaO<sub>2</sub> の変動は 96.1~90.8~94.3~94.1%, PaO<sub>2</sub> 85.3~78.3~94.1~85.5 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 41.5~49.5~41.6~38.8 mmHg となり、安静時すでに hypercapnia を示す3例は老人性肺気腫を合併した臍胸と、気腫傾向の強い気管支喘息合併肺結核症でこれらを含めて負荷直後には半数が hypoxemia+hypercapnia を示しているが、5分後にはほぼ正常値に回復している。pH は 7.40~7.27~7.27~7.30, [B<sub>B</sub><sup>+</sup>]<sub>b</sub> 46.4~42.0~42.0~42.4 mEq/l となり、負荷直後より代謝性因子を加味したアチドーシスの傾向が強く、回復も遅れる。この群は % VC 70 以下となると全例血液相に異常を認め、FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>2</sup> 700 以下となると、% MVV も 50 以下を示して、著明な hypoxemia+hypercapnia を呈し労作能力の低下が高度となる。(図8)

EI, VI について各群別に検討すると、第1群の EI は 20.3~29.8 平均 24.5, VI は 62~84.0 平均 73.2 である。第2群の EI は 34.8~59.2 平均 31.4, 第3群は EI 24.6~57.7 平均 36.7 となる。VI の平均は第2群 52.3, 第3群 44.4 で、両群を通じて就労不適と

Fig. 5. Changes in Blood Gas (Group 1)

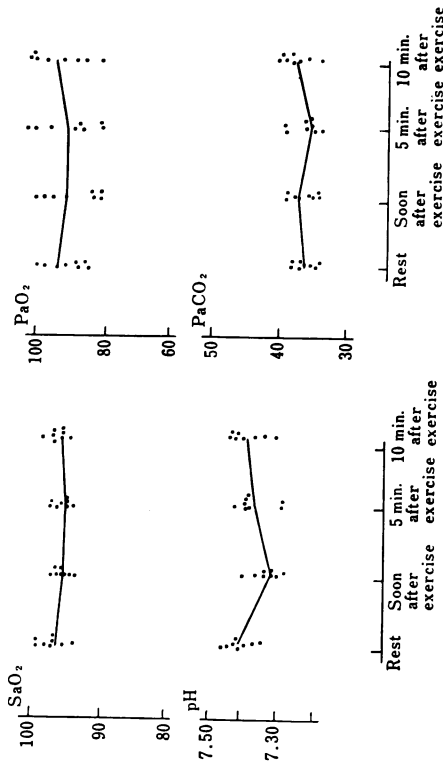


Fig. 6. Changes in Blood Gas (Group 2)

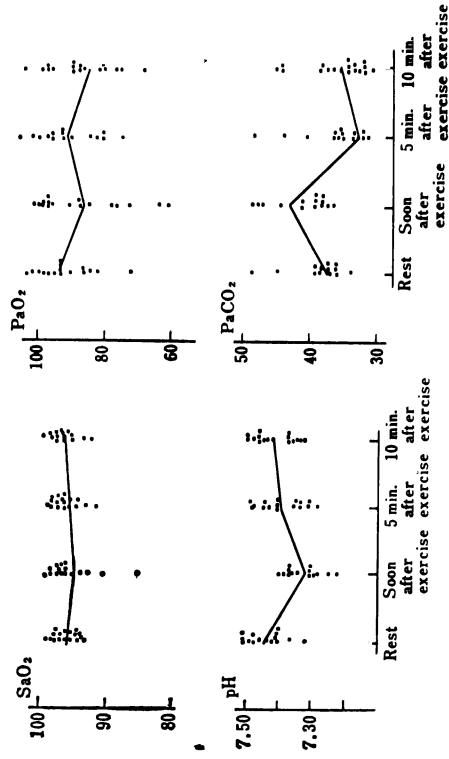


Fig. 7. Changes in Blood Gas (Group 3)

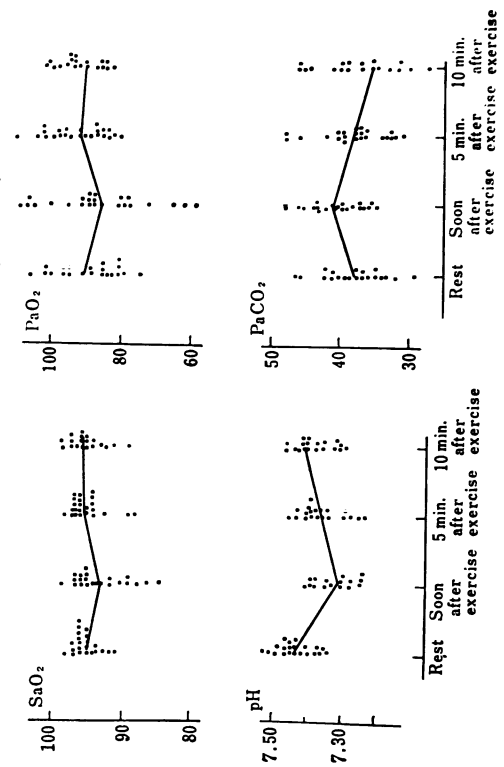


Fig. 8. Changes in Blood Gas (Group 4)

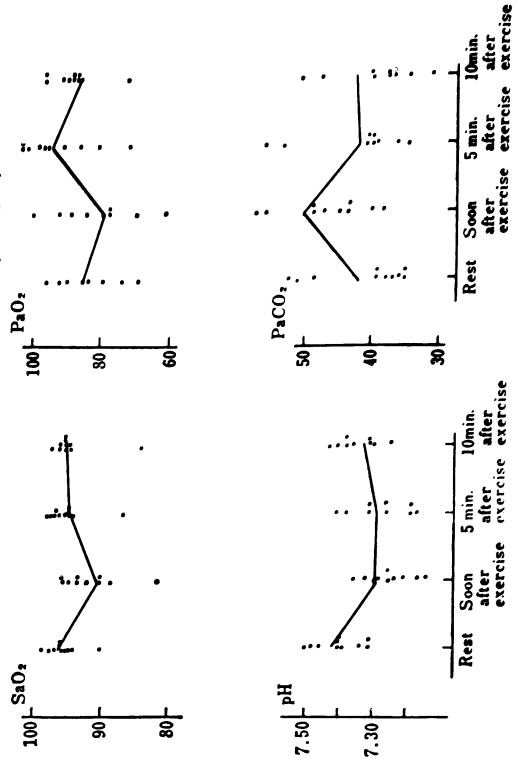


Table 3 Grade of Ventilatory Function before and after Lung Surgery

Preoperation Postoperation	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Total
1	1	2			3
2	4	3			7 (4)
3	1	6	10	1	18 (10) [5]
4				8	8 (6) [4]
Total	6	11(1)	10(2)	9(7) [3]	36

Postoperation	Pneumonec- tomy	Lobectomy	Thoraco- plasty
Group 1		3	
Group 2		5(3)	2(1)
Group 3	14(7) [5]	1(1)	3(2)
Group 4	1(1) [1]	3(2) [1]	4(3) [2]
Total	15(8) [6]	12(6) [1]	9(6) [2]

( ) Abnormal, [ ] Cases who can not complete exercise test.

されている VI 40 以下の症例が 12 例 (32%) も認められる。第 4 群の EI は 37~66.6 平均 56.4 であり、VI 40 以下 5 例、算出不能が 5 例で全例就労不適となる。

5) 換気機能と手術術式

手術前の換気機能障害の程度を第 4 項に述べたごとく整理すると、第 1 群 6 例、第 2 群 11 例、第 3 群 10 例、第 4 群 9 例になる。運動負荷中止例および、hypoxemia または hypercapnia を示したものを異常例とすると表 3 のごとく、第 3 群は % VC < 40 の症例であり、異常例の 70% は第 4 群に属している。

このうち運動負荷試験を中止した症例は巨大肺嚢胞症で 1 側肺が高度に虚脱しているが、術後に十分な機能の回復を期待できる 1 症例と気管支喘息合併肺結核症である。この肺嚢胞症以外

の異常例は術後さらにその変動が著しくなった。術後は第 3 群に異常例が多くなり、表 3 下段のごとく各術式ともほぼ半数に認められ術式による差はない。肺機能減少の程度は表 4 のごとく、VC, FEV<sub>1.0</sub> はほぼ平行している。第 1 および第 2 群のものは葉切が多く、第 3 群は全切例が多い。MVV の低下は前 2 者ほど著明でないが術式による差が著しく、全切+胸成例の低下が著しく、術後 3 群の負荷中止例はこの症例で % MVV 40 以下である。

3. 術後換気機能低下例について

1) 換気機能の推移

この調査の対象となつた 67 例の遠隔時の現況は 91% 就労している。測定上の誤差を考慮して % VC は 1% 以上、% MVV は 5% 以上を増減とみなし<sup>17)</sup>。遠隔時と術後近接時の % VC, % MVV, FEV<sub>1.0</sub> の推移をみると、% VC は増加 33 例、減少 11 例、不変 5 例で増加するものが多く、% MVV は増加 16 例、減少 13 例、不変 20 例で不変または減少するものが多い。FEV<sub>1.0</sub> は % VC と同様の傾向で増加するものが 31 例認められた (図 9)。術式別にそれぞれの増減をみると、% VC は肺切除で 22 例 (78%) が増加するが、胸成術では 10 例 (50%) に増加を認めるにすぎない。その程度は平均 3% である。FEV<sub>1.0</sub> についても同様の傾向がみられる。% MVV は肺切除では不変または増加したものが 24 例 (85%) あるが、胸成術では不変または減少したものが 17 例 (85%) 存在する。

2) 換気機能と呼吸困難度指数

術後遠隔時における呼吸困難度指数は 1 度 18% (11 例)、2 度 55.3% (34 例)、3 度 25% (15 例)、4 度 1.7%

Fig. 9. Changes of Ventilatory Functions

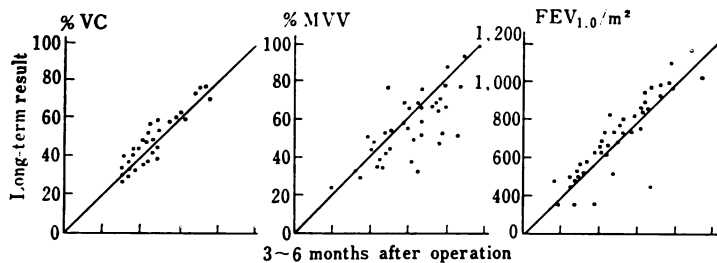
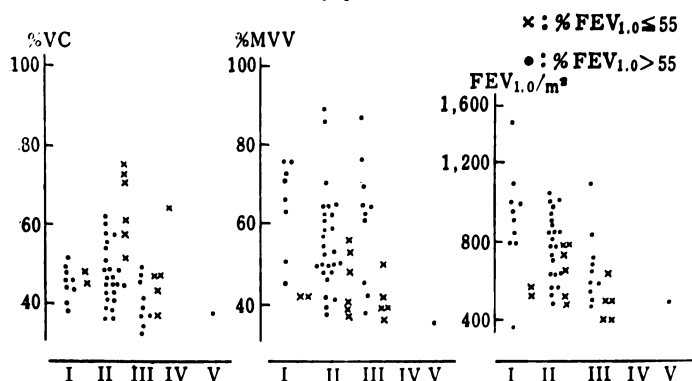


Table 4. Rate of Decrease of Ventilatory Functions according to Preoperative Function and the Method of Operation

	Pneumonectomy			Lobectomy			Thoracoplasty		
	VC	MVV	FEV <sub>1.0</sub>	VC	MVV	FEV <sub>1.0</sub>	VC	MVV	FEV <sub>1.0</sub>
Group 1	43	32.8	29.6	14.4	9.1	12.6	9.2	13.5	8.0
Group 2	27.4	22.6	24.1	11.9	9.9	11.1	24.9	23.1	28.5
Group 3	20.8	23.3	20.8	21.0	10.6	32.0	+5	+21	10
Group 4	31.5	22.6	27.5	18.6	22.3	19.1	19.5	19.6	20.7
Mean	25.9	22.9	28.1	13.6	10.2	13.7	19.6	19.7	18.9

Fig. 10. Correlation between Ventilatory Functions and Dyspnea Index



(1例)である。術後近接時と遠隔時の換気機能は変動が平均3%であるので、近接時の換気諸量成績との関係を見ると、%FEV<sub>1.0</sub>と呼吸困難度はほぼ同程度に分布してその間に相関は認められない。%FEV<sub>1.0</sub> 55以下と以上の2群に分けて検討する。%VCについては図10のごとく拘束性障害群で%VC 40以下のものはなんらかの程度に呼吸困難を自覚するものが多いが有意の差は認められない。呼出障害群では%VCが良好でも自覚症があり、運動負荷試験の成績と同様の傾向を認める。

%MVVについては図10にみられるごとく、各群とも広く分布して一定の傾向は認めがたい。FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>3</sup>はなんら自覚症のない1度は9例中8例が800 ml/m<sup>3</sup>以上であるが、自覚症の強い3度以上では15例中13例が700 ml/m<sup>3</sup>以下となつて、比較的よく相関している。2度の症例はその分布範囲が広いが呼吸困難の程度に相当の個人差があることを示す。遠隔時の換気諸量との関係も同様の傾向であり、手術術式との間にも明らかな関係が認められない。

#### IV. 考 案

心肺機能の動的評価のための、運動負荷試験の方法は多く<sup>32)~36)</sup>、それぞれ一長一短があり、その成績を同一に評価することはできない。私は比較的手軽に行ないうる階段昇降法を用いて検討した。気相の変動について、自験正常例の変動は同様な運動負荷法を行なつた三好<sup>11)</sup>の成績とほぼ一致している。疾患例でMothley<sup>12)</sup>、長浜<sup>13)</sup>らは運動時酸素摂取量500 ml/min/m<sup>2</sup>以下の場合は肺血管抵抗の亢進が存在することを強調しており、Kovak<sup>14)</sup>、荻原<sup>15)</sup>らは運動時酸素摂取率が安静時より増加しないものは、換気、血流比が破れて呼吸不全発生の危険が大きいことを述べている。三好<sup>11)16)</sup>は運動時における最高酸素摂取率の有する意義の重要性を指摘し、ことに閉塞性疾患では血液相とも相関があると述べている。自験成績では一定の関係を得られなかつたがこ

れは採気時期の差異が原因していると考えられる。%FEV<sub>1.0</sub> 55以下と呼出障害の著しい症例群に酸素摂取率の低値を示すものが認められ、換気効率の低下が考えられたが、血液相との間に有意の関係は認められなかつた。血液ガス諸量の正常値は測定法によつて異なり、一定しないが<sup>4)30)39)</sup>、解離曲線の上からSaO<sub>2</sub>よりも直接法で測定したPaO<sub>2</sub>のほうがhypoxemiaの程度を鋭敏に現わすので、私は直接法で得たPaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub>の値を指標として、換気機能の成績と比較検討した。その成績から術後保有すべき換気機能について、%FEV<sub>1.0</sub> 55以上の場合

は%VC 50、またはFEV<sub>1.0</sub>/m<sup>3</sup> 800を上限とし、下限は%VC 40であるとした。

%FEV<sub>1.0</sub> 55以下の場合には%FEV<sub>1.0</sub> 50を下限として、%VC 70を上限、FEV<sub>1.0</sub>/m<sup>3</sup> 700、%MVV 50を下限とした。肺結核症では%VC 60以下になると約70%はhypoxemiaを示し、それよりさらに低下するとhypercapniaをも伴う<sup>41)~43)</sup>。慢性肺気腫では%MVVとPaCO<sub>2</sub>がよく相関するので、重症度の判定に用いられ<sup>30)31)44)</sup>、三瀬<sup>45)</sup>はPaCO<sub>2</sub> 47 mmHg以上を示すものは%MVV 55以下であることを指摘している。これらの血液相の異常は生理学的パターンは異なるが肺高血圧症ないし肺性心へ移行する可能性のあることを推論している。

また古谷<sup>46)</sup>は高齢肺結核症の場合PaCO<sub>2</sub>が機能的限界を示す重要な指標であることを指摘しているが、術前、血液相の異常例が多い自験第4群は術前の機能評価に慎重をきす必要がある。また根本<sup>47)</sup>は肺結核症で%FEV<sub>1.0</sub> 55以下となると、肺動脈拡張期圧の上昇、肺動脈楔入圧の上昇、肺静脈側血管抵抗は増加し、%VC 40以下に及ぶ肺活量の減少はさらに抵抗増加に拍車をかけ、肺高血圧症に移行しやすいので、これら症例は肺循環面の検索が必要であることを提唱している。

%FEV<sub>1.0</sub> 55以下の症例は運動負荷試験の成績も約80%が異常を示しているが、巨大肺嚢胞症、老人性肺気腫、気管支喘息の合併などその原因は複雑である。%FEV<sub>1.0</sub> 55を境に基準を分けて、%VC 70を上限としたが、換気/血流、拡散の因子の検索も行ない、総合的に判定することが必要である。堀江<sup>27)28)</sup>は%FEV<sub>1.0</sub> 60を境に外科治療の機能的限界の基準を別にすることを主張している。自験例で%FEV<sub>1.0</sub> 55~60の間の症例数が少ないので、むしろ60%が妥当なところであろう。

術後保存すべき最低機能については、%VC 40とする意見は諸家の一致したところであるが、遠隔時の換気機能の増減を考慮すると、平均3%であるから、その限



界は %VC 37~43 にあると考えられる。%MVV について、Gaensler<sup>25)</sup>、Mittman<sup>26)</sup>らは術後の血液動態の変動および死亡例の検討から 50% を限界としている。自験例の検討でも同様の値を得たが、測定上誤差が大きいこと<sup>27)</sup>、術式による減少率や、遠隔時の増減にも幅が大きすぎるなど予測できがたい因子が入るので、術後の指標としては用いることに疑問を感じる。同じ換気効率を表わす指標<sup>28)</sup>としては、自験成績では  $FEV_{1.0}/m^2$  が有効である。外科治療を行なうさいに術式別の肺機能減少を考慮した機能的手術適応に関する研究報告は多い<sup>21)~23)29)</sup>。

自験例における成績で、術前 %VC 60 以上の症例は対側 VC% も 50 以上であり、術後の運動負荷試験で異常も認めない。しかし %VC 59 以下の症例で対側 VC% が 30~50 であり、対側にも換気機能を低下させる原因が存在することが考えられる症例では、術後に運動負荷試験で異常を示すものが多いので、手術による機能損失を少なくする工夫が必要で、佐藤<sup>44)</sup>、木下<sup>45)</sup>らは胸成術では肋膜肺形成、肺切除術では膨張不良、気管支瘻、膿胸などの合併症が肺機能を著しく低下させる重要原因であると指摘している。

労作能力についてみると、私が行なつた運動負荷試験 (R. M. R. 4) に耐えられず負荷を中止した症例が 18% あり、このうちには血液相の正常な症例が 3 例あつた。健康例では 2 分前後で steady state に達すると述べているが<sup>11)16)</sup>、これら症例は steady state に達していないためとも考えられる。また長期療養による筋力の低下、検者の協力の程度によつては真の運動耐性の限界に達していないこともあるが、一応負荷の耐性限界と考えた。VI でみてもほとんど算出不能な値を示し、労作能力の著しい低下を示している。負荷試験を行ないえた症例でも換気機能の低下が著しい、第 3 群および第 4 群では VI 40 以下で就労不能ないし算出不能な値を示す症例が 32% および 56% に達しており、ことに術後遠隔調査では全例 VI 40 以下で算出不能例が 50% を占めている。

また諸報告<sup>17)18)40)</sup>をみても 20~60% を占めている。このことは換気機能の下限に近い症例には VI は用いがたく、さらに軽い運動量で検討する必要性を示している。塩沢<sup>27)</sup>は R. M. R. 1 の労作を持続するには、VC 900 ml/m<sup>2</sup>、 $FEV_{1.0}/m^2$  780 ml が最低であるとしている。自験例の就労状況をみると、 $FEV_{1.0}/m^2$  800 ml 以下の症例は約 70% が自家営業ないし管理職等に就労しているものであり、持続的労作能力からみて妥当な成績といえる。

## V. 結 語

私は肺外科手術の術前および術後に運動負荷試験を行

ない、換気機能と血液相の変動について、社会復帰を目標とした肺機能の下限界について検討した。さらに術後換気機能低下のとくに著しい群について、遠隔時現況調査を行ない、肺機能と就労状況との関係についても検討し、次の知見を得た。

1) spirometry の各指標と PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub> との相関については  $FEV_{1.0}/m^2$  が最も密であり、呼吸困難度指数とも一致する。%MVV がこれに次ぐ。 $FEV_{1.0}/m^2$  の下限界は約 800 ml である。 $FEV_{1.0}/m^2$  700 ml 以下では hypercapnia を伴うものが多い。%MVV の下限は 50% である。

2) 就労可能例の機能的限界は % $FEV_{1.0}$  55 以上の場合では %VC 50、または  $FEV_{1.0}/m^2$  800 を上限、%VC 40 を下限とする。% $FEV_{1.0}$  55 以下の場合では %VC 70 を上限、 $FEV_{1.0}/m^2$  700、または %MVV 50 を下限とする。

3) 二段昇降 3 分間の運動負荷試験に耐えられない症例に肺手術を行なうことは、術後、日常生活動作に支障を来たす恐れがあるのみならず予後不良である。

4) 肺機能の下限界に近い症例では遠隔時の換気機能の回復はほとんど望むことができないのみならず、呼吸困難の自覚も強い。就労者の持続的労作能力は R. M. R. 1 程度であるが、VI は算出不能な症例が多く本指標は用いがたい。

摺筆にのぞみ、ご懇篤なるご指導、ご校閲を賜つた慶大外科赤倉一郎教授、加納保之教授に感謝するとともに、終始直接ご指導、ご鞭撻をいただいた浅井末得講師、佐藤孝次博士に深甚なる謝意を表す。

本研究の要旨は第 38 回日本結核病学会、第 5 回胸部疾患学会において報告した。

## 文 献

- 1) Baldwin, E. D. et al.: Medicine, 27: 343, 1948.
- 2) 笹本浩池: 呼吸と循環, 4: 493, 昭 31.
- 3) Van Slyke, D. D. et al.: J. Biol. Chem.; 79: 781, 1928.
- 4) Riley, R. L. et al.: J. Biol. Chem., 161: 621, 1945.
- 5) Rosenthal, T. B.: J. Biol. Chem., 173: 25, 1948.
- 6) Wintrobe, M. M. et al.: Am. J. M. Sc., 189: 102, 1935.
- 7) Singer, R. B. et al.: Medicine, 27: 223, 1948.
- 8) 中村隆池: 肺機能とその臨床, 文光堂, 昭 35.
- 9) 笹本浩池: スパイログラムの臨床, 医学書院, 昭 34.
- 10) 笹本浩池: 胸部外科, 8: 12, 昭 30.
- 11) 三好潤子: お茶の水医誌, 11: 99, 昭 41.
- 12) Motley, H. L. et al.: Am. J. Physiol., 163: 736, 1950.
- 13) 長浜文雄: 呼吸と循環, 10: 847, 昭 37.
- 14) Kovak, J. C.: Dis. Chest, 32: 39, 1957.

- 15) 萩原隆：呼吸器診療，15：112，昭 35.
- 16) 須田吉広：お茶の水医誌，11：109，昭 41.
- 17) 塩沢正俊：肺と心，9：109，昭 37.
- 18) 内匠昭：結核，35：763，昭 35.
- 19) Hugh-Jones, P. et al.: Brit. Med. J., 1: 65, 1952.
- 20) 小熊吉男：日胸外会誌，9：427，昭 36.
- 21) 松井澄他：呼吸器診断，15：391，昭 35.
- 22) 平野政夫：京大結研紀要，7：52，昭 34.
- 23) 藤野正晴他：日胸外会誌，12：415，昭 39.
- 24) 佐川弥之助：日胸外会誌，13：729，昭 40.
- 25) Gaensler, E. A.: J. Thorac. & Cardio. Surg., 29: 163, 1955.
- 26) Mittman, C.: Amer. Rev. Resp. Dis., 84: 197, 1961.
- 27) 堀江栄一郎他：肺と心，9：133，昭 37.
- 28) 木下巖：肺と心，9：202，昭 37.
- 29) 野崎正彦：日胸外会誌，9：507，昭 36.
- 30) 中村功他：呼吸と循環，12：763，昭 39.
- 31) 村尾誠：日本の医学，4：404，昭 34.
- 32) Erksan, K. B. H. et al. Acta Chir. Scand., 119: 289, 1960.
- 33) 岡村輝彦：日胸外会誌，4：172，昭 30.
- 34) Hugh-Jones, P.: Brit. Med. J., 1: 65, 1952.
- 35) 山本幹夫：結核研究の進歩，12：23，昭 31.
- 36) Herz, C. W.: Dtsche. Med. Wschr., 90: 461, 1965.
- 37) 塩沢正俊：胸部疾患会誌，3：106，昭 40.
- 38) Lilienthal, J. L. et al.: Am. J. Physiolog., 147: 199, 1946.
- 39) Goldston, M. et al.: Am. J. Physiolog., 151: 276, 1947.
- 40) 藤山嘉信：日胸外会誌，12：40，昭 40.
- 41) 山中剛：胸部疾患，7：755，昭 38.
- 42) 久保信子：関西医科大学雑誌，14：3，昭 37.
- 43) 内匠昭：肺と心，8：165，昭 36.
- 44) 佐藤孝次：日胸外会誌，9：445，昭 36.
- 45) 古谷幸雄他：日本胸部臨床，23：180，昭 39.
- 46) 三瀬淳一：日本胸部臨床，21：259，昭 37.
- 47) 根本光規：肺と心，13：75，昭 41.