



Title	定量的X線診断法の研究 フィルム計測法の肺機能検査への応用
Author(s)	滝沢, 正臣; 梅垣, 洋一郎
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1965, 25(3), p. 169-189
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19041
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

定量的X線診断法の研究

フィルム計測法の肺機能検査への応用

信州大学医学部附属病院中央レントゲン部

滝 沢 正 臣

国立がんセンター放射線部

梅 垣 洋 一 郎

(昭和40年1月22日受付)

Quantitative X-ray Diagnosis

Application of film scanning method to the pulmonary function test

Masaomi Takizawa

Division of Radiology, Shinshu University Hospital, Matsumotoshi

Yoichiro Umegaki, M.D.

Department of Radiology, National Cancer Center Hospital, Tokyo

The film scanner described in this paper was developed for the purpose of quantitative X-ray diagnosis. X-ray diagnosis depends on the variety of absorption, and X-ray film stores the necessary data. By means of scanning densitometry, data for the quantitative diagnosis can be collected from X-ray films.

The film analyzer consists of a differential scanning system for a couple of films in subtraction, two non linear amplifiers, two integrating amplifiers and a recording system. On account of non-linear characteristics of X-ray film, it requires an adequate correction and calibration before the quantitative analysis. The purpose of subtraction is to estimate changes which have occurred between two exposures.

In the case of chest film, the integrated subtraction corresponds to the amount of air breathed out or in. This is the basic principle of the pulmonary function test by film analysis.

The benefit of the quantitative diagnosis by the film analysis are as follow.

- 1) It enables us to observe X-ray films both from morphological and quantitative standpoints.
- 2) Partial and local pulmonary function can be analysed with this technic,
- 3) The technic is quite simple and inexpensive. It requires only two X-ray exposures at deep inspiration and expiration.
- 4) The calibration can be easily done by simultaneous measuring the amount of air breathed out.
- 5) Interesting patterns were observed according to the type of pulmonary insufficiency.
- 6) Further clinical application, for example, a quantitative analysis of angiographic films are now under development.

目 次

I 緒 論

II フィルム計測法の原理

III フィルム計測装置の特性と製作

IV フィルム特性の検討

V 差動計測装置

VI 肺機能測定への応用

1) 応用範囲について

- 2) 撮影方法, 条件, 撮影時期について
- 3) 差動走査法
- 4) 走査方向
- 5) 含気量の測定

VII 臨床例についての計測, 解析

- 1) フィルム計測で求めた肺のX線学的左右比について
- 2) 肺のカラーキモグラフについて
- 3) A V C 曲線の解析
- 4) 曲線の観察
 - i) 正常例について
 - ii) 病的例について

VIII 考 按

IX 結 論

X 文 献

I. 緒 論

肺機能検査法については、従来2つの方法があり、その1は空気、酸素、ヘリウム等を使用して測定を行なう Darling・Knipping の装置等があり、その2は、X線学的に肺機能、肺容量を測定するもので、極めて多くの試みがある。すなわち X線写真の計測により肺容量、肺活量等を求めた Kaltreider¹⁾, Aslett²⁾, Sinomin³⁾, Cobb⁴⁾, Barnhard⁵⁾, Autio⁶⁾, 三好⁷⁾, 岡本⁸⁾等があり、又最近では、間接撮影を利用した、渡辺⁹⁾¹⁰⁾, Densopla-niography による三浦¹¹⁾, 同様に肺活量の測定は行なわれないが、Electrokymograph を利用して肺機能検査を行なう、Gillick¹²⁾, Kjellberg¹³⁾ Steiner¹⁴⁾, 梅垣¹⁵⁾, 戸塚¹⁶⁾, 星野¹⁷⁾¹⁸⁾等により報告されている。しかし1の方法では、Bronchspirometry 等で高度の技術を必要とし又患者に肉体的負担を与える方法以外では、局所換気、肺活量左右比を求めることは難しい。その2のX線学的な方法についても、プラニメーターにより胸廓の機械的測定を行なう、黒化度を部分的に測定して肺活量を求める等、いずれの方法においてもかなり煩雑な手技を必要としている。

またX線厚み計、X線テレビ等を使用する方法では、動的機能の診断は行えるが、肺野全域の機能を同時に測定することは出来ない。

我々は自動現像装置、大容量の定電圧撮影装置が一般化して来た現在、X線写真の濃度を連続的

に測定することにより、全肺気量、肺活量、残気量の測定を行なうと同時に、波形の観察をすることにより、直視的、定型的な肺機能検査が可能であると考え、装置の試作、実験を行なった結果を報告する。

II. フィルム計測法の原理

フィルムを厚み計として使用したり、量的測定を行なったりする例は数多く、R I 関係では古くから厚子核乾板により、高精度の量的測定を行なっている。フィルム濃度の計測で最も問題となつて来るのは、厚み計として使用する場合、フアントム厚みと透過度計の読みが正比例しなければならぬ。

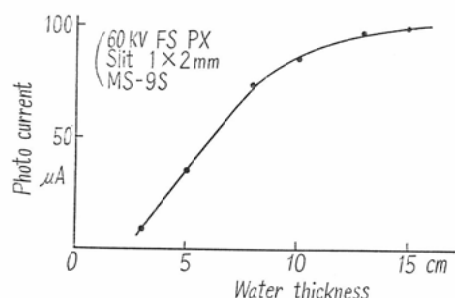


Fig. 1 An example of characteristic of X-ray film measured with our photometer

ばならない。

国産医療用Xレイフィルムの特性を水フアントムを使用して測定を行なつてみたものが Fig. 1 である。

使用電圧60 K V, フィルタ 2 mm Al, 焦点—フィルム間距離 200 cm, 増感紙 F S, フィルム富士 P X, 現像は Kodak M-3 により行なつたもので、透過度計は MS-9S (光電子増倍管) を使用した手製のものである。これによると、水の厚みで 7 cm 程度直線となるが、我々の必要とする計測には 10 cm 以上の直線を必要とするので、後述する補正アンプにより直線の延長を図っている。

光源には内視鏡用小型ランプを使用し、受光部に小型光電子増倍管を組合わせた測光ユニット (スリット 1 × 2 mm 側光遮蔽のコリメートを行なつてある) をスキャナに取り付け、間にフィルムを固定して走査を行ない、いわゆる Area scanning を行なう。光電管出力は補正増巾器を通して後、

記録計に記録させる。尙この測光装置については、著者¹⁹⁾の報告とほとんど同様のものを使用している。

又光源ランプの波長により、Fig. 1 の特性が多少変つて来る。白色光より赤外部を多く含んだ光の方が特性がよいので、ランプを低電圧で点火させ、寿命の延長、特性の改善をはかっている。

III. フィルム計測装置の特性と製作

光電子増倍管 MS-9S の出力電流を、カレントチョップにより60cps の交流に変換し、Fig. 2 の如き特性を有する補正増巾した後整流する。これをスキヤナと連動する X-Y レコーダに記録させたものゝ1例を、Fig. 3a,b に示す。Fig. 3a は胸部X線写真の右肺々尖から横隔膜に向つて走査させ、右肺全域の走査を記録計に描かせたもの、Fig. 3b は、著者等¹⁵⁾、戸塚¹⁶⁾のX線走査キモグラフと同様の走査を早い速度で記録したもので、

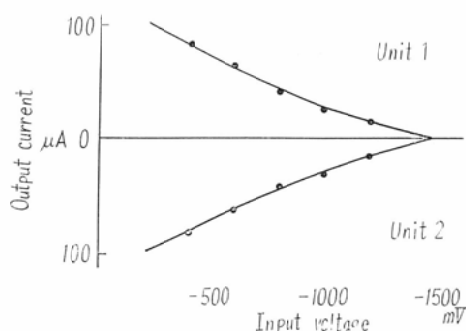


Fig. 2 Characteristics of non-linear amplifier used for the purpose of correction of film characteristics.

肺の或る瞬間の静止像を示すが、X線走査キモグラフの様な搏動は記録されない。

さて Fig. 3a を見るとそれぞれの走査の最高値は、その走査中における最高黒化の部分であり、病的因子によつて出来る濃度の低い部分は波形の中に隠れてしまうので、細部の異常の有無を知るには、それぞれの部分の Fig. 3b を描かせる必要があるがそれでも肺含気量等を測定することは出来ない。

そこで我々は補正増巾器出力を演算増巾器（電子管式アナログ計算機）を試作して積算させ、ス

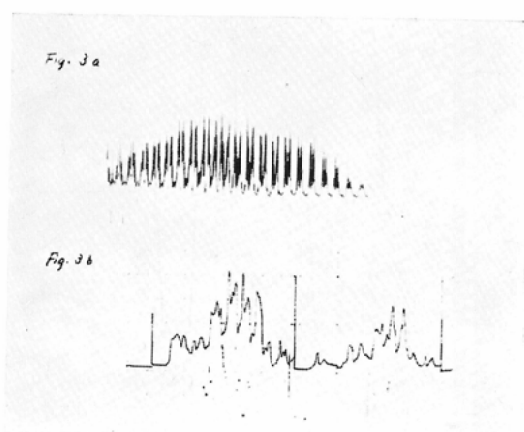


Fig. 3 Photometric scanings of a chest film on the right half, simply repeated on the vertical direction.

a) recording of full scanning through the right lung (slow recording)

b) recording of single scanning (fast recording)

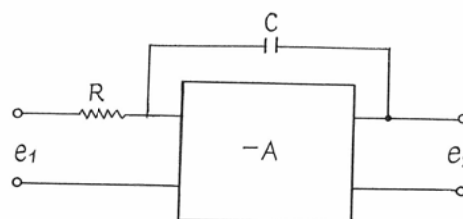


Fig. 4 Principle of integrating amplifier

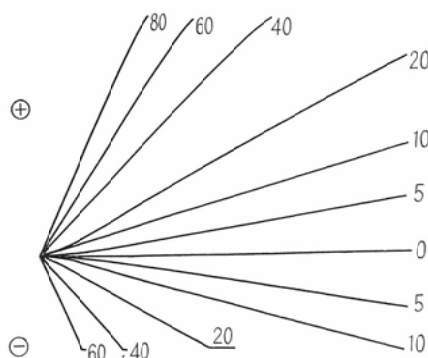


Fig. 5 Characteristics of integrating amplifier

キャナの一走査毎の積算値を X-Y レコーダに記録させる様にした。Fig. 4 は演算増巾器原理図であり、Fig. 5 は増巾器入力電流の変化に対する積算電圧の直線性をみたもので⊕とあるは⊕方向の積算、⊖は負方向への積算を示す、飽和点 (⊕)

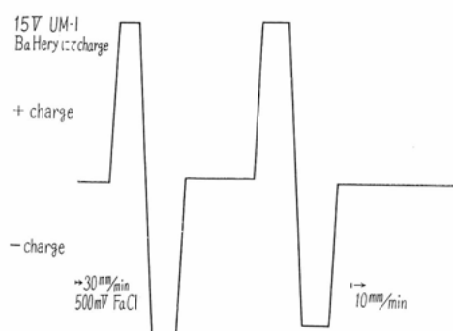


Fig. 6 Test recording of integration both in plus and minus

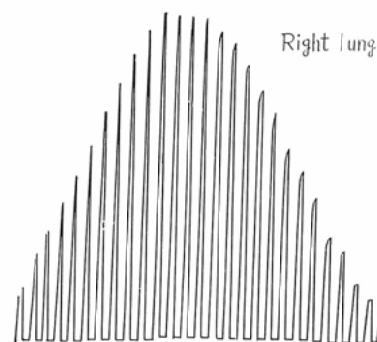


Fig. 7 Integral scanning of a chest film in the right half on the vertical direction. Each peak corresponds to the integral of density in lung field or the amount of air in lung.

附近で多少の歪を示す外は極めて良好な直線と入力電流に対する正比例を示す。又Fig. 6は安定度と加算・減算を行ない直線かどうかを観察したものであるが、動作は極めて良好であつた。肺野scanningの一例をFig. 7に示す。

この場合は、一走査毎の肺野濃度の全積算値を記録するので、量的把握が可能となつた訳である。

IV. フィルム特性の検討とその対策

フィルムにより量的測定を行なうには、厚みと出力と間に充分な直線性を必要とすることは前述したが、撮影電圧の選択等とも関連して、市販医療Xレイフィルムの特性を検討してみると、Fig. 8の如くなる。

フィルム Fuji PX, 装置島津桂号。

図によれば60KV gridなしの場合最も直線部

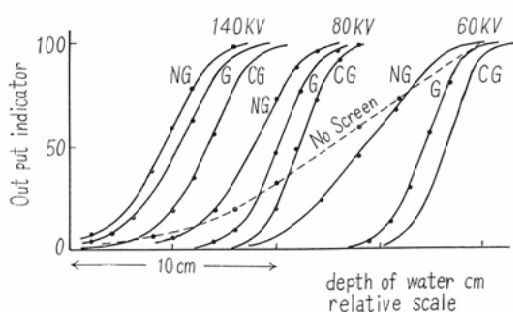


Fig. 8 Characteristics of X-ray films exposed with 60, 80 and 140 kVp measured by our photometer.

FFD 200cm. 60, 80, 140KV, · Screen: Kyokko, FS, HV, NG...nogrid, G...Ratio 4:1 Single grid, CG...Cross grid, Developer: Kodak M-3

分が長く、10cm程度が得られた。これは肺容量の測定において、成人ではほぼ15cm～20cmの胸厚であり、又X線学的に肺野の最も厚みの小さい部分でも5cm以上はあるので、かなり精度の高い測定が出来る。しかし出来れば0～20cmが直線となれば理想的である。この特性のほとんどはScreenによるものでScreenを使用せず140KVの電圧により水ファントムを撮影したフィルムでは図点線に示すごとく15cm以上にわたつてきれいな直線となつた。これは今後増感紙・フィルムの開発を行ない、骨、軟部組織の量的測定を可能とすることを示すものである。又高圧撮影の場合直線性はよいと思われたが、かえつて悪くなつた。これらはいずれも補正増巾器を通した上で測定したものである。

V. 差動計測装置

フィルム計測装置について種々述べて来たが、この装置により計測されるフィルムは、量的測定は可能であるが、一枚のみでは、ある瞬間の静止像であるから、動的機能を知ることは出来ない、この方法を改良したのが差動計測装置であつて、時間的に異なる2枚のフィルムを使用してこれを同時に走査し、2枚の濃度差を取り出せば動的測定を可能とする。2枚のフィルムを使用して、肺活量の測定や、診断を行なうことについては、Autio⁵⁾, 三浦¹¹⁾, 高橋²⁰⁾, Kalinowski²¹⁾,等の報告があるがこれは、主として動きの距離の測定、黒化

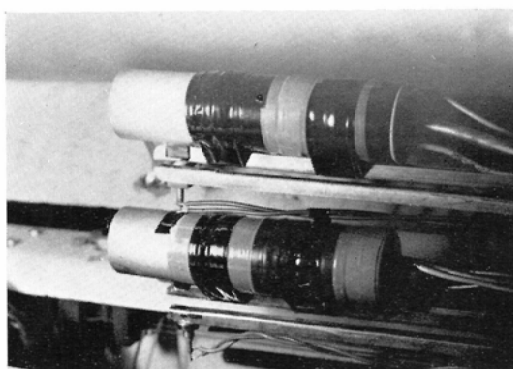


Fig. 9 Twin photometric heads

度計による部分的な黒さの変化を測定しているのに対し、我々の装置では2枚のフィルムの黒さを2つの測光部で同時に測定し、出力を2 channel の補正増巾器を通した後、差動増巾器に入れ2つの信号の差を積分増巾器で演算させる方法を取っている。2つの測光ユニットをFig.9に計測装置全体のブロックダイアグラムをFig.10に示す。

スキヤナは6 mm/sec のスピードで測光部を移動させ、フィルム上の必要面積を走査する。

スキヤナよりの信号によつて演算増巾器は、一つの走査の開始から終了までを演算し、結果をスキヤナと連動する X-Y レコーダに記録させる。同時に差動増巾器出力の一部は、カラーキモグラフとして動きの差を平面的に観察出来る様にしたものである。最初のセットとバランスの調整の外は、測定はすべて自動的に行なわれ測定者は5～30分で測定結果を手にすることが出来る。

VI. 肺機能測定への応用

1) 応用範囲について

本装置は、人体検査部位のX線学的濃度変化として示されるものであれば、その変化量を定量出来る。すなわち肺野の呼吸による濃度変化、骨のCa, Pの減少による変化、造影剤の特定臓器の集中、希釈等が可能と考えらるが、こゝでは特に肺機能検査への応用について報告する。

2) 撮影方法・条件・撮影時期について

通常胸部X線写真を撮影するのと同様、被検者を、撮影台に向つて立たせ、背腹方向で深吸気、深呼気時にそれぞれ1枚のフィルムを得る。定量

的測定を行なう際には、あらかじめ Pulmotest Godat の精密級呼吸機能検査装置により肺機能検査を立位により行ない、直後に同様条件で撮影を行なつた。又 Pulmotest Godat を使用しない場合は撮影台に肺活量計を取りつけ、同時測定を行なつた。

照射野中心は第5胸椎の高さとし、照射野は常にフィルム大の大きさとして散乱線の条件をほぼ等しくした。撮影条件は2枚共等しく、平静呼吸時

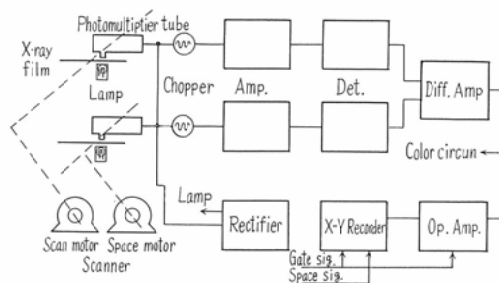


Fig. 10 Block diagram of film scanner

の胸厚15cm以下56KV、20cm以上を64KV、中間を60KVとした。Fig.11に撮影電圧による濃度の移動を示す。この際問題となるのは、撮影装置の線量むらによる濃度誤差であつて、これを防ぐのに最も容易な方法は、蓄電器放電式撮影装置を使用することであるがしかし、その他の装置でもあらかじめ2枚のフィルムで厚みの変化しない部分の濃度によつて、差動増巾器出力のバランスを取れば補正出来る。尚増感紙感度の経年変化による誤差を除くため、感度のまったく等しい増感紙を付けたカセットを2枚常に使用した。

3) 差動走査法

撮影条件その他の条件のまったく等しい2枚のフィルムを同時測定する場合、測光する点が常に同じでないと誤差を生ずるので、胸部写真の場合、第7頸椎と第1肋骨の椎体への接点で2枚のフィルムが合う様にハンガーに取りつけた。測光部及び2チャンネルの増巾器は特性感度がまったく同一とする必要があるので調整に苦心した(増巾器特性は Fig.2 unit 1 及び unit 2 参照)。電源電圧の変動による増巾度変化、ランプの輝度変化は、差動増巾器によつて補償出来る。装置の安定

度は動作開始後30分— $10\mu\text{A}$ $100\mu\text{A}$ full scale) 其後の変動は $\pm 1\mu\text{A}$ 以内であった。

この様に差動測定を行えば、呼吸による濃度の差、横隔膜の下降による差、胸廓の伸展による差を統合して肺活量を測定し、波形の観察により機能の診断が出来る。そして肋骨の吸収による誤差、気管等による解剖学的死腔等による誤差を測定値より外すことができる。

4) 走査方向

総積算値は、いずれの方向で走査しても同じであるが、方向によってFig.12下の如く2種類の形が描記される。像は走査方向とは直角のものが得られる、このうち体軸方向の像を得るものを

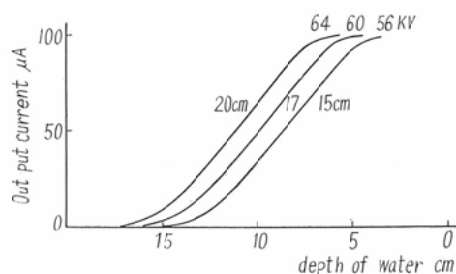


Fig. 11 Optimal kilovoltage according to chest thickness

Axial scanning, これと直角の像を得るものを Frontal scanning と名付け、像の名称をそれぞれ A V C 曲線、F V C 曲線と呼ぶ。

A V C 曲線では、横隔膜運動の状態、胸廓運動を知り得る。

F V C 曲線では、肺全体の機能低下、胸廓の伸展、肺野の縦隔への移動等が観察出来る。

5) 含気量の測定

個々の正常人又は患者でスパイロメトリーを行なったもの20例と、A V C 又は F V C 曲線の1走査毎の最大値(最終加算値)を合算したものの値を、スパイロメトリーの結果を横軸に上の値を縦軸に取ってグラフにしてみると、Fig.13の如くなり、0に帰納する直線の上に来る。直線上で×…深吸气時の積算値と T.L.C. (Total lung capacity) …差動時の積算値と V.C. (Vital Capacity) …深呼气時のフィルムの積算値と R.V. (残気量

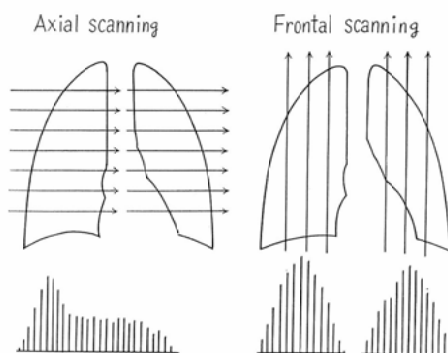


Fig. 12 Axial and frontal integral scanning in subtraction

Residual volume) をそれぞれ対比させたもので以後これにより、積算値と肺気量 ml との直接較正が可能となつた。総プロット数について偏差の計算を行なつてみると、スパイロメトリーの値を100とすれば、曲線よりの積算値は101.2となり+1.2となつた。病的例及び女性についてもよく直線に乗つた、直線上に乗つて来ない原因として考えられるのは、肺活量計による測定時の空気洩れ、走査時に写真外側の黒化を加算したこと、撮影時に心臓の拡張、収縮の時期がずれたこと等が考えられる。

VII. 臨床例についての計測、解析

1) フィルム計測によつて求めた、肺のX線学的左右比について

Axial 又は Frontal Scanning の像はいずれも左右別の肺を描記するので、深吸气、差動、深呼气時の肺気量左右比が計測出来る訳である。左右の Total を100%としたときの、右肺と左肺の比を、健康例、病的例についてそれぞれ計測したものを、Table 1～3に示す。Kaltreider¹⁾, Aslett²⁾, Autio⁵⁾, 小野²²⁾, 等によれば、健康人の左右肺活量比はほぼ55:45%となつてゐるが、われわれの計測によるものでは、これよりやや低い値を示した。Table 1は健康人男子の一部で、被測定者の総平均は、深吸气 (Max inspiratory) 時54.7:45.3%, 差動 (Differential-Vital capacity に相当する) 時54.7:45.3%, 深呼气時 (Residual Volume) 53.8:46.2%で右肺で約1

Table 1. R-L ratio of vital capacity in normal men

Case		Age		Right lung (%)	Left lung (%)
K. I	♂	19	Max. inspiratory	53.2	46.8
			Differential	52.3	47.7
			Max. expiratory	52.4	47.6
H. T	♂	26	Max. insp.	51.3	48.7
			Diff.	52	48
			Max. exp.	52.2	47.8
K. T	♂	24	Max. insp.	53.7	46.3
			Diff.	55	45
			Max. exp.	56.8	43.2
M. T	♂	36	Max. insp.	53.8	46.2
			Diff.	53.6	46.4
			Max. exp.	58	42
K. M	♂	38	Max. insp.		
			Diff.	51	49
			Max. exp.		
H. T	♂	45	Max. insp.	59.8	40.2
			Diff.	59.7	40.3
			Max. exp.	54.3	45.7
Average Value			Max. insp.	54.7	45.3
			Diff.	54.7	45.3
			Max. exy.	53.8	46.2

%低い値を示した。いずれの個人においても、深呼吸から深呼吸の左右比の変動は4%以内であった

Table 2 は健康人女子で健康人男子に比して値のバラツキが幾分多く、左右差が少い。すなわち総平均値、深呼吸時右：左52：48%、肺活量比52：48%、深呼吸時右で約1.3%低い50.7：49.3%となった。深呼吸時にいずれも1%の比率変動があるのは、心臓部分の肺野への比が、深呼吸時に大きい為、その他が考えられる

Table 3 は胸部疾患をもつ患者の例で、ほとんどの例において、深呼吸、差動、深呼吸時に5%以上の比率の変動がみられた。従つてこの測定により、或る程度の異常の有無は判定できるものと考えられる。

2) 肺のカラーキモグラフについて

深呼吸、深呼吸2枚のX線写真をスキャナにか、差動増巾器出力の一部を取り出し、更に増巾した後、信号の大きさにより回転角度の変るサーボ

Table 2. R-L ratio of vital capacity in normal women

Case		Age		Right lung (%)	Left lung (%)
Y. O	♀	20	Max. insp.	56.6	43.4
			Diff.	53.1	46.9
			Max. exp.	55	45
K. U	♀	22	Max. insp.		
			Diff.	49.9	50.1
			Max. exp.		
Y. A	♀	23	Max. insp.	45	55
			Diff.	47	53
			Max. exp.	52	48
K. K	♀	33	Max. insp.	53	47
			Diff.	54.2	45.8
			Max. exp.	50	50
Y. K	♀	34	Max. insp.	53	47
			Diff.	57	43
			Max. exp.	54	46
F. H	♀	41	Max. insp.	48	52
			Diff.	48	52
			Max. exp.	45	55
E. O	♀	55	Max. insp.	55.5	44.5
			Diff.	54.7	45.3
			Max. exp.	59	41
Average value			Max. insp.	52	48
			Diff.	52	48
			Max. exp.	50.7	49.3

モータに取りつけたカラーペン選択回路を動作させ (Fig.13), スキャナと連動するカラーペンを信号レベルの大きさにより動作させながら走査を行なうと, Fig. 14, Fig. 15 の如き肺野各部の動きを示す。一種のキモグラフが描かれる。プリント

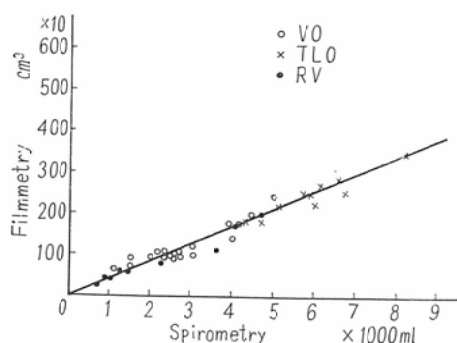


Fig. 13 Correlation between the filmmetry and spirometry

Table 3. R-L ratio of vital capacity in patients suffering from various pulmonary disease

Case		Age		Right lung	Left lung	Diagnosis
S. S	♂	37	Max. insp.	63.7	36.3	Chronic pulmonary emphysema
			Diff.	61	39	
			Max. exp.	60.1	39.9	
T. Y	♂	38	Max. insp.	44.5	54.5	Cl poisoning
			Diff.	46.1	53.9	
			Max. exp.	59.8	40.2	
M. S	♂	41	Max. insp.	40.1	59.9	Cancer of right lung
			Diff.	34.2	65.8	
			Max. exp.	50.5	49.5	
K. W	♂	52	Max. insp.	60	40	Pulmonary fibroma
			Diff.	55.4	44.3	
			Max. exp.	65.7	34.3	
U. K	♂	60	Max. insp.	49	51	Bronchiectasia
			Diff.	48	52	
			Max. exp.	51	49	
Y. M	♂	64	Diff.	60.3	39.7	Cancer of left lung
E. M	♀	66	Max. insp.	54.7	45.3	Pulmonary tuberculosis
			Diff.	54.7	45.3	
			Max. exp.	63.8	36.2	
A. S	♂	68	Max. insp.	54	46	Cystic pulmonary emphysema
			Diff.	64.5	34.5	
			Max. exp.	63.5	36.5	

されない部分は黒化度の差のない部分で、青色は深吸気時に含気量の増加した部分、赤は非常に著しく増加した部分、緑線に橙色の部分は、深呼吸にかえつて吸収の減少した部分である。Fig. 14は健康人女性で、中肺野から下肺野にかけて肺の伸展が著しいことを示している。Fig. 15は、左

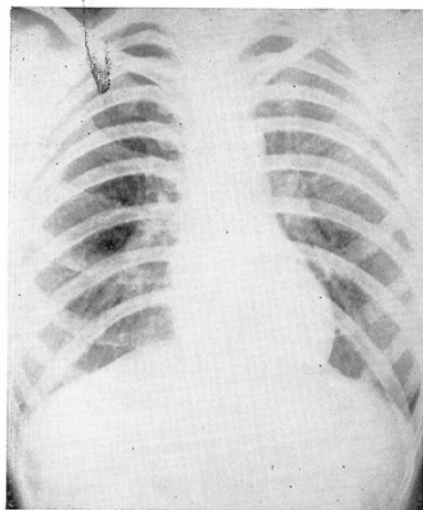
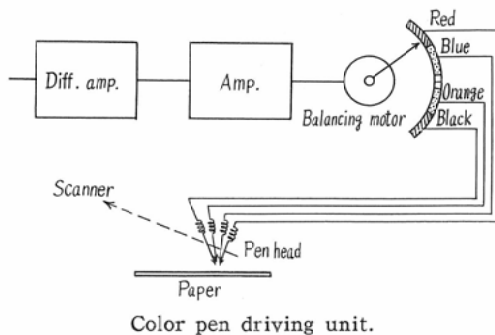


Fig. 14 b, UK. 22 ♀
Case 1. Chest film at inspiration

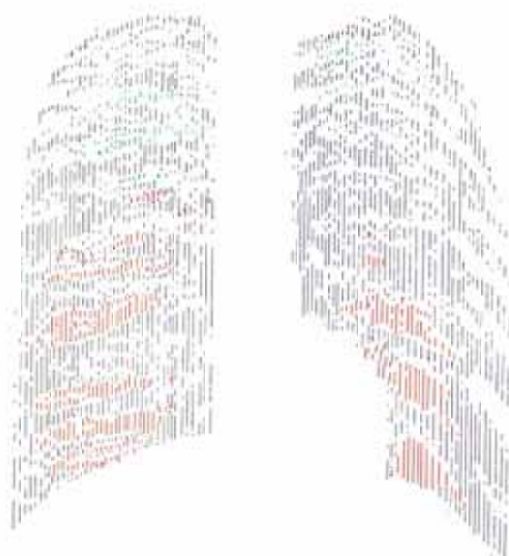


Fig. 14. a, Color scanning showing the distribution of vital capacity.

Red area: very active

Blue area: slightly active

vacant area: no significant movement

Case 1. normal female, 22 years old Green area which shows a negative movement appeared on account of respiratory movement of ribs.

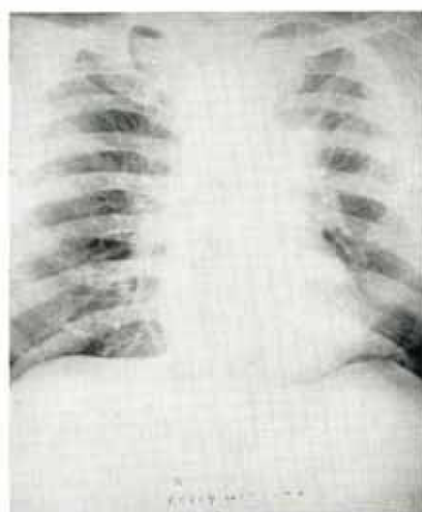


Fig. 15 b,

Case 2. Chest film at inspiration

肺門に悪性腫瘍のある患者で、腫瘍の存在する部分及び左肺全体に動きの抑制乃至逆の動きがみられる。尚双方共に上肺野に逆の動き（橙色）が一部見られるのは、鎖骨や肋骨の位置により濃度差がたまたま逆になったためである。

3) A V C 曲線の解析

A V C 曲線について各部の動きを定型的に知るために解析を行なつてみる。Fig.16左の如き、健康人右肺の A V C 曲線について、横隔膜呼吸の部分、横隔膜肺活量 (D.V.C.), 胸廓の伸展による



Fig. 15. a Case 2. Carcinoma of left hilar region. 60 years old male.

The area of tumor shadow shows a paradox movement dotted with green color. In spite of deep inspiration the shadow is rather increasing its intensity.

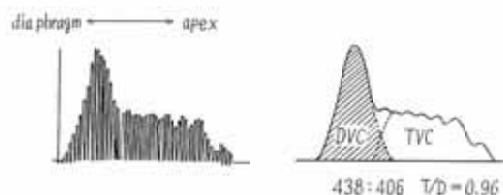


Fig. 16. Analysis of AVC (axial distribution of vital capacity) curve.

This curve can be divided into 2 components. The lower one: DVC. (diaphragmatic vital capacity)

The upper one: TVC. (thoracic vital capacity)

DVC. was assumed to have a symmetrical distribution.

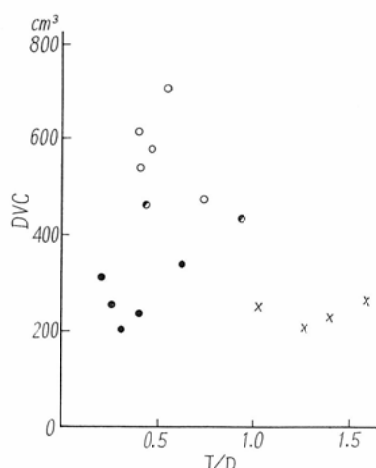


Fig. 17. Patterns of partial pulmonary functions.

- : normal
 ●: nothing significant in pulmonary function test
 ×: organic disorder in opposite lung (left lung)
 ●: general disorder
 According to the nature of disorder, 3 groups can be observed in good separation.

部分を、胸廓肺活量 (T.V.C.) と名付ける。Fig. 16右の如く DVC の部分は頂点を通る垂線で 2 分割される左右対称な部分であるとして、この時の各走査の波高値を加算したもの、TVC は AVC-DVC として、DVC の読みを Y 軸に TVC/DVC (各 T/D) を X 軸に取ってグラフにしたものが Fig. 17 である。各ロットで、○…正常人、●…異常感を訴えるも肺機能検査その他において異常を認めなかったもの、×…左肺に器質的異常のあるもの、●…両肺に器質的異常のあるものと分類を行なってみると、図の如くそれぞれの群が他群と分離された。すなわち

i) 正常群では T/D は 0.4 ~ 0.8, DVC は 400 以上となり、DVC が大きく T/D は比較的低い傾向を示した。

ii) 横隔膜に異常なく、肺実質に Vital capacity を低下させる器質的病変があると、T/D は著しく低下する。

iii) 肺他側に異常があることにより、代償性の努力呼吸を行なっている人は T/D の著しい上昇

を来たす。

iv) 両側肺にかゝる肺機能障害 (肺気腫等) では DVC は低下するが T/D はさほど低下しないが、高度の肺気腫 (嚢胞性肺気腫等) であれば T/D は著しく低くなる。

v) 女性においては、一般に DVC が男性ほど大きくなく、TVC が高い、これは胸式呼吸を行なっている為であると考えられる。

このことは乳癌の手術等により、胸筋の運動が制限された場合に、男性にやゝ近い AVC 曲線となることからでも、或る程度説明される。

4) 曲線の観察

以下 AVC 曲線、FVC 曲線をそれぞれ正常例、臨床例について測定、観察した結果を報告する。

i) 正常例

最大吸気、最大呼気時の 2 枚の胸部 X 線写真によつて得られた健康人男性の AVC 曲線を Fig. 18 に示す。向つて上から右肺、左肺のそれぞれ、最大吸気、差動、最大呼気時の曲線でいずれの場

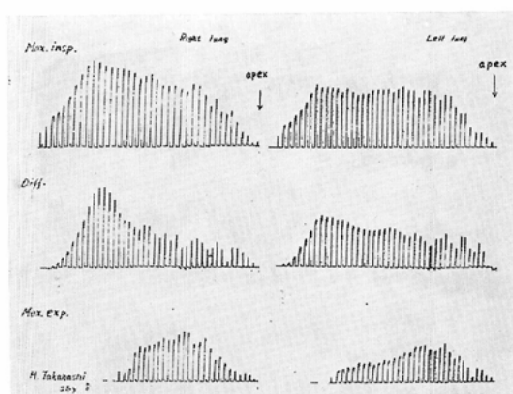


Fig. 18. AVC curves in a normal man. Case 3. 26 years old man.

合も左側の横隔膜部より、肺尖部に向つて走査したもので (以後の配列はすべて同様)、最大吸気時では左右共、横隔膜部の含気量最も多く、上肺野に行くに従がつてゆるやかな下降を示している。左肺では心臓の存在により右ほど横隔膜の部分が高くなつていない。差動では曲線は機能に相当するもので最大吸気より最大呼気を電氣的に引いた

ものである。横隔膜の下降により下肺野に大きな peak すなわち DVC が出来、上肺野へ行くに従って、胸廓の伸展によるゆるやかな下降を示す。いずれの場合も各走査の頂上を結ぶ線に起伏が見られるのは、肋骨の存在によるもので、実際の曲線は高い部分を結んだものである。最大呼気の曲線が残気を示すが、肺野は吸引より縮小し、含気量は極めて少なく、最も大きな残気を示すのはむしろ中肺野となる。上記の曲線の読取値より、Fig. 12のグラフから実際に肺容量を測定したものを下記する、カッコ内は同時に行なつた V C 計の値である。

X線学的左右比

		右	左	
TLC	6350ml	52	: 48	%
VC	5150ml (5100)	51.3	: 48.7	
RV	1200ml	52.2	: 47.8	
T/D	0.72			

又健康人男性の FVC 曲線を示すと、Fig. 19の如くなる。中央の縦隔を中心として左右にほぼ同形の等しい山を作るが、左では縦隔部からの立ち上りの所で、心臓の存在により、含気量が少くな

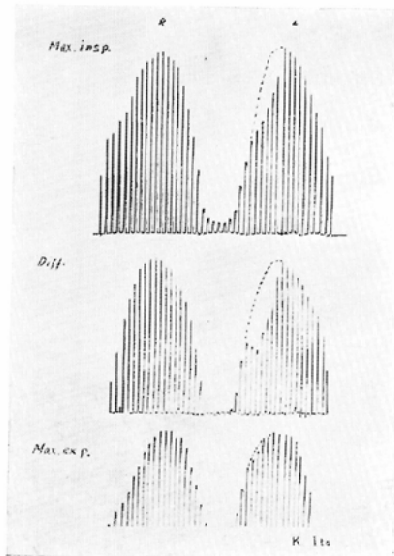


Fig. 19. FVC. curve in a normal man The defect seen in left side is due to the presence of heart.

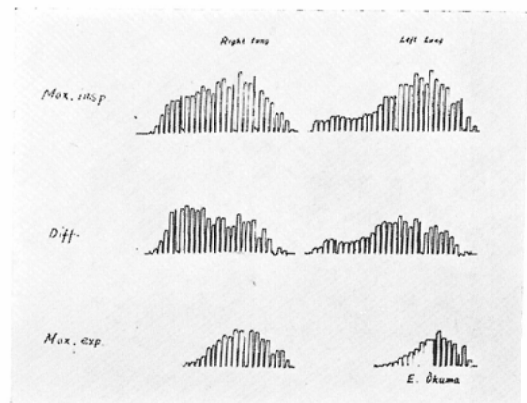


Fig. 20. AVC. curves in a normal woman. Case 4. 33 years old woman. In woman, the peak of diaphragm is not manifest compared to man.

っている為である。

次に健康人女性(33才)の例をFig. 20に示す。女性では胸式呼吸の為、横隔膜部分より中肺野から上肺野にかけて最も大きな含気量を示す。このため差動時においても、男性の如き横隔膜運動による曲線の隆起は少く、全体として平坦な形となる。

曲線より求めた肺機能と左右比は

		右左比%
		右 左
TLC	3580ml	55 : 45
VC	2700" (2720)	54.7 : 45.3
RV	880"	57 : 43

ii) 臨床例

以下に i) で述べた正常例に対して、臨床例 6 例について比較検討してみた。

症例 4 S.H. 57才男 Fig. 21X-P 3a, b.

診断 慢性肺気腫

昭和37年頃から作業時に心悸亢進あり、昭和39年5月慢性肺気腫との診断を受けた、現在運動時の呼吸困難、咳嗽がある。治療は特に行なっていない。

肺機能検査成績	曲線よりの測定値
TLC	6260ml 6100ml
VC	2540" 2470"

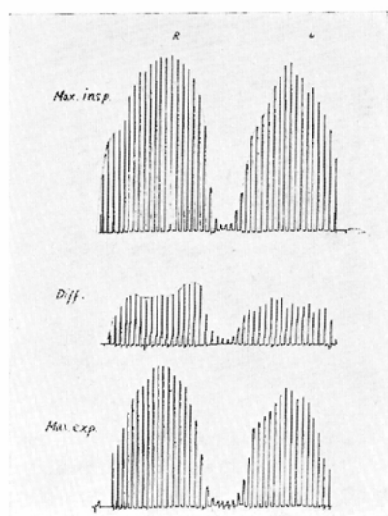
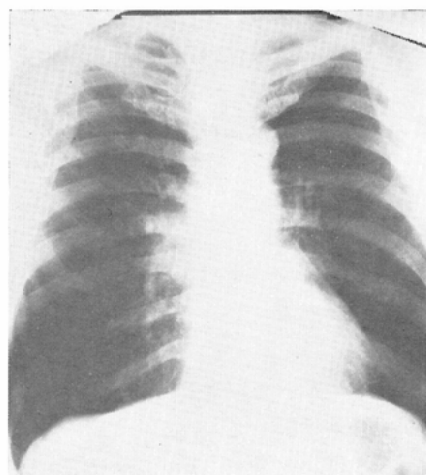


Fig. 21. Case 4. 57 years old male. Chronic pulmonary emphysema.

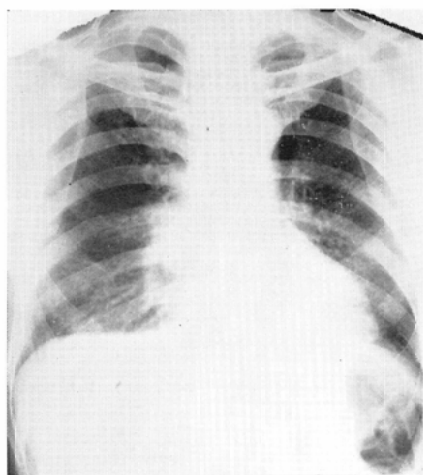
a) FVC curves. Inspiration curve shows an inflated lung or increased air. The crater like plateau seen in the differential curve is a typical pattern in pulmonary emphysema.



b) Chest X-ray film at max. inspiration.

RV	3670 //	3600 //
残気率	57.2%	59
一秒率	40.5%	T/D 1.02

健康例に比し残気が多く、深吸気時に肺野の縦隔への移動が顕著であり、その病的波形は差動時に最もよく観察される。横隔膜運動が制限せられ、肺野の濃度が変らず、吸気時には胸廓が拡大



c) Chest film at max. expiration.

するため、差動曲線では高原状乃至噴火口様の形を呈する。これは肺気腫の特徴をよく示している。

症例 5 A.S. 68才男 Fig.22

診断 嚢胞性肺気腫

昨年夏頃より、歩行時呼吸困難があり受診、本年3月嚢胞性肺気腫の診断を受けた。現在入院中、運動時心悸亢進、咳嗽がある。

肺機能検査		曲線よりの実測		左右比	
				右	左
TLC	8150ml	8150ml		54	: 46

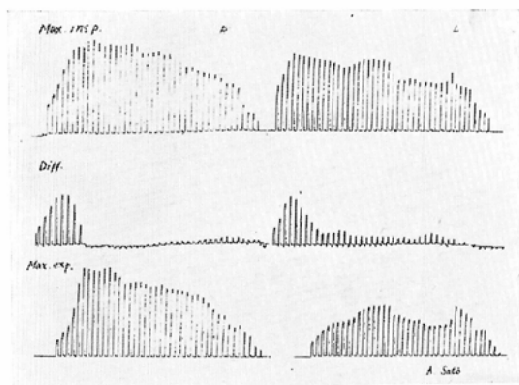
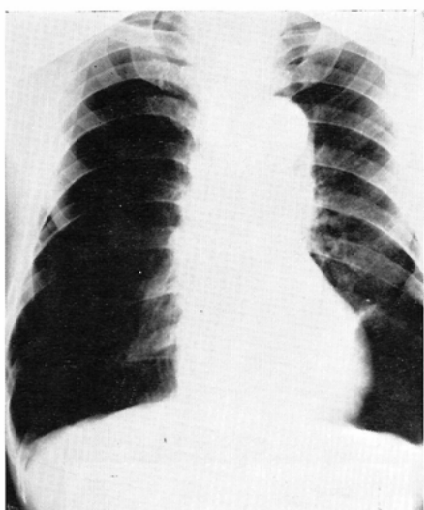
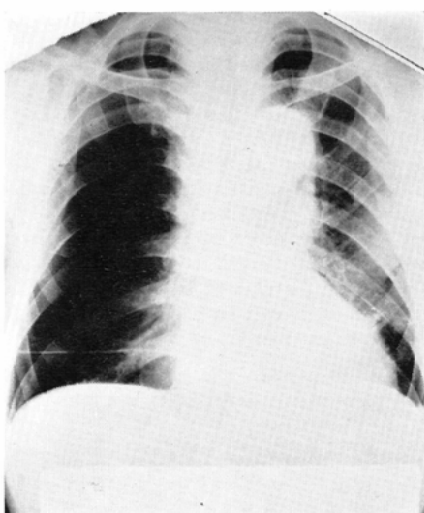


Fig. 22. Case 5. 68 years old male. Cystic pulmonary emphysema.

a) AVC curves. In spite of marked increase seen both at inspiration and expiration, the exchange of air is quite small on account of huge cysts.



b) Chest film at max. inspiration.



c) Chest film at max. expiration.

VC	3160 "	3040 "	64.5 : 34.5
RV	4980 "	5110 "	63.5 : 36.5
残気率	61.1 %	62.7 %	
一秒率	33.2 %	T/D=0.26	

X線写真所見では両肺共高度の肺気腫を起しており特に右肺外側及び、左下肺野外側で囊腫様の病変がある。曲線では横隔膜運動により囊腫部分にも空気の入出はあるが、呼吸機能に対する関与は少ない。VCのみの値では少くない様に見える

が、実際の機能は極めて悪い。特に右側ではTVCは極めて少なく、上肺野でわずかの換気を行なっているのみである。

症例6 M.S. 41才男 Fig. 23. X-P. 5a,b,

臨床診断 原発性肝癌とその肺転移？

本年初め食欲不振、発熱を訴え受診上記の診断

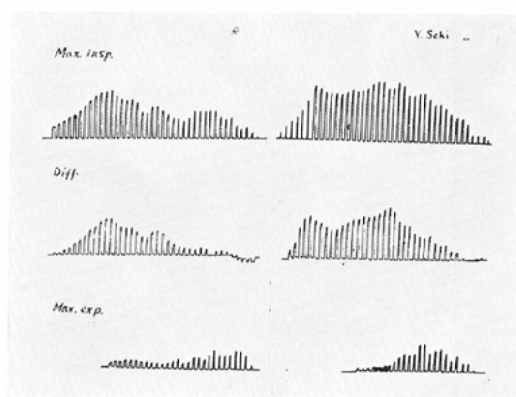
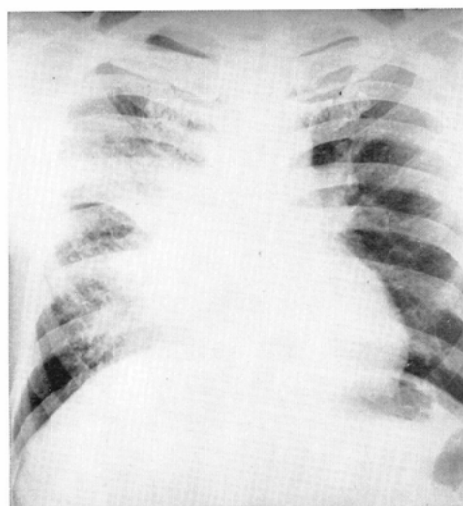


Fig. 23. Case 6. 41 years old male. Pulmonary metastasis of hepatoma? Large tumor masses are occupying right hilar region accompanied with extensive infiltration in right lung.

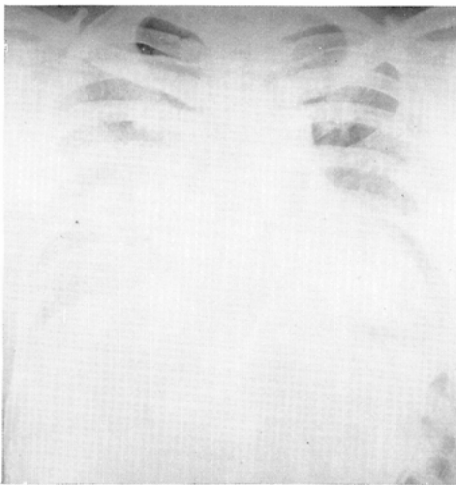
a) AVC. curves.

diminished air volume and respiratory movement in right lung.

Compensatory emphysema in the upper half of left lung. Elevated peak seen in the differential curve suggest a pendulum movement of upper mediastinum.



b) Chest film at max. inspiration.



c) Chest film at max. expiration.

を受けた、その後肝底護等を行なっているが、抗癌剤等の投与は受けていない。現在全身倦怠がひどく、咳嗽・血痰がある。

肺機能検査結果	実測値	右左比%
		右 左
TLC	4740ml	4650ml
VC	2160 "	2300 "
RV	2360 "	2350 "
残気率	49.3%	50.5%
一秒率	63.0%	T/D=0.38

曲線観察所見

X線写真に見られる、右側肺門部腫瘤と、全肺野への播種性浸潤及び気管支肺炎に相当して、右側の著明なVC低下、D.V.Dの形の扁平化、T/Dの低下を示す。左側においては中肺野でのAVC曲線の挙上が見られる。これは呼吸にともなう縦隔の振動及び代償性肺気腫があることを示している。

症例7 I.K. 55才男 Fig.24

診断 心房中隔欠損症

昨年秋頃より、作業時心悸亢進があり、本年4月受診、最初肺癌の疑いが持たれたが、その後上記の診断となった。現在運動時咳嗽がありまた時々血痰を見る、経過観察中である。

肺機能検査結果	計測値	右左比%
		右 左

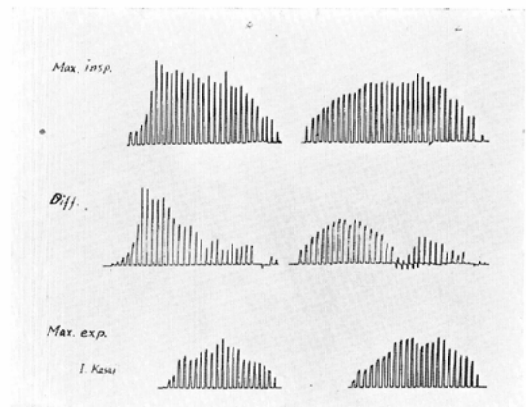


Fig. 24. Case 7, 55 years old male. Atrial septal defect.

a) AVC. curves.

Marked increase of air volume in the left lung due to the blocking emphysema.

R:L ratio=49.7: 50.3 at inspiration
=45.8: 54.2 at expiration

This means an obstruction at expiration in the left lung.

In spite of increased air volume in left lung, the difference i.e. vital capacity shows a marked decrease in left side. Calculated ratio of vital capacity is R: L=57.2: 42.8.

An interesting pattern can be seen as the sudden fall of ventilation at the left middle region which corresponds to the site of obstruction. The obstruction is caused by the compression from dilated left pulmonary artery and left atrium.

These findings can be detected only with our film scanning method.

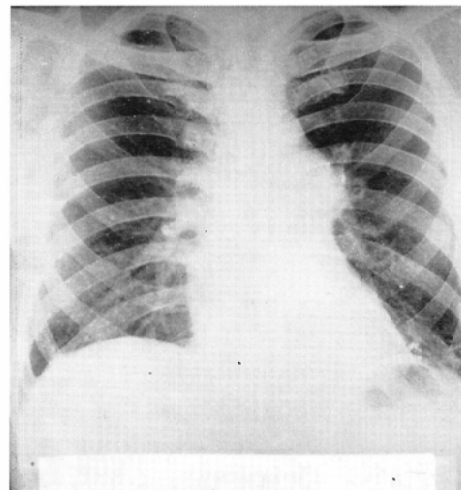


Fig. 24, b) Chest film at inspiration.

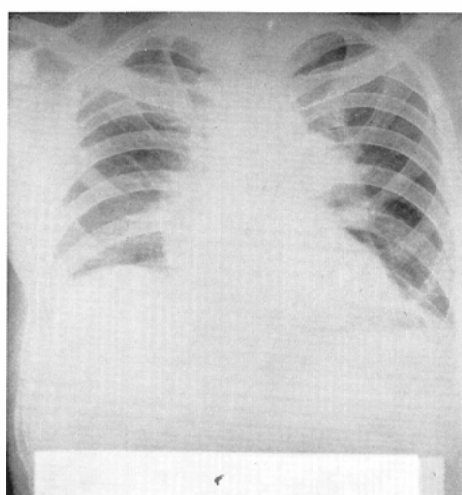


Fig. 24, c) Chest film at expiration.

T L C	4860ml	5020ml	49.7 : 50.3
V C	2330 //	2330 //	57.2 : 42.8
R V	2520 //	2690 //	45.8 : 54.2
残気率	51.9%	53.7%	
一秒率	62.4%		

曲線観察所見

X線写真によれば、左中肺野は含気量正常と見えるが、曲線ではこの部分に著明な含気量の増大、殊に呼気時の増大と呼吸の抑制が見られ、閉塞性肺気腫があることを示す。閉塞の原因は拡張した左心房と左肺動脈の圧迫であり、肺気腫は左S⁴⁺⁵に最も著しい。

症例8 U.K. 60才男 Fig. 25, X-P. 7a, b

診断 気管支拡張症

13年前に肺結核の診断を受け、以来投薬治療を受けていたが、最近胸部痛を訴え受診、再検査の結果上記の診断を受けた、現在朝咳嗽、喀痰がある。

肺機能検査結果	曲線よりの測定値	右左比
		右 左
T L C	— 5300ml	49 : 51
V C	3640ml 3420 //	48 : 52
R V	— 1880 //	51 : 49
一秒率	61%	
残気率	35.5%	

$$T/D=0.22$$

曲線所見

X線像では両側上肺野に線維化した肺結核と一部囊腫化した肺腫気の所見がある。右側の方が変化が高度であり、肺門の挙上も著しい。全肺野に肺気腫、両側下肺野には気管支拡張症と考えられ

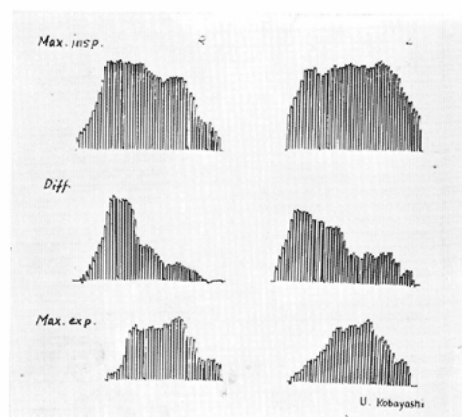
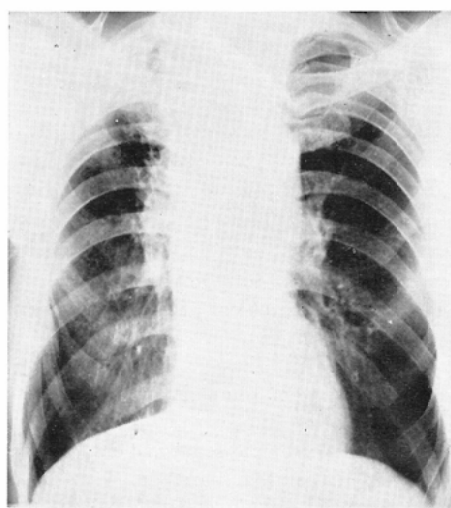


Fig. 25. Case 8, 60 years old male Pulmonary fibrosis as the result of scarred tuberculosis. Emphysema and bronchiectasis are also seen.

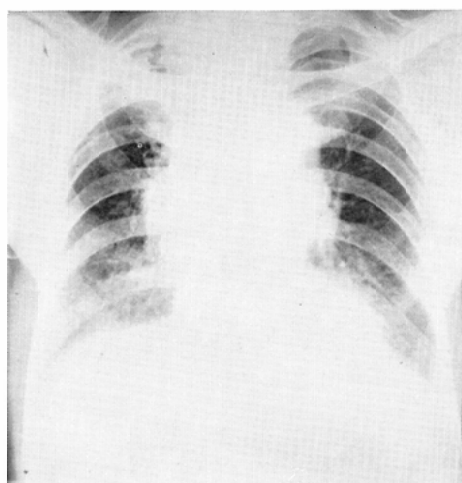
a) AVC. curves.

In general increased air volume due to emphysema, but definite decrease in the right upper region. due to fibrosis.

Diminished ventilation in the area of fibrosis and compensatory increase in the left side. Uneven and discontinuous curve reflects the presence of fibrosis and bronchiectasis.

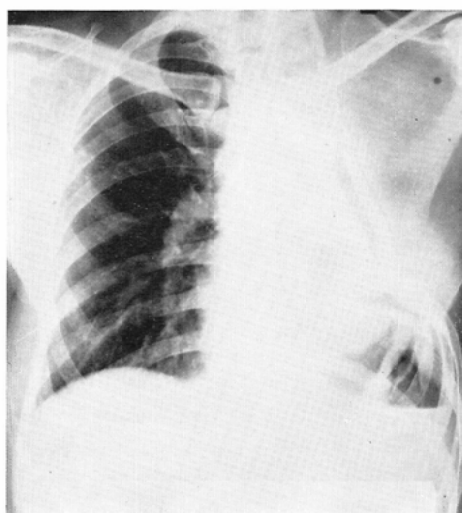


b) Chest film at inspiration.

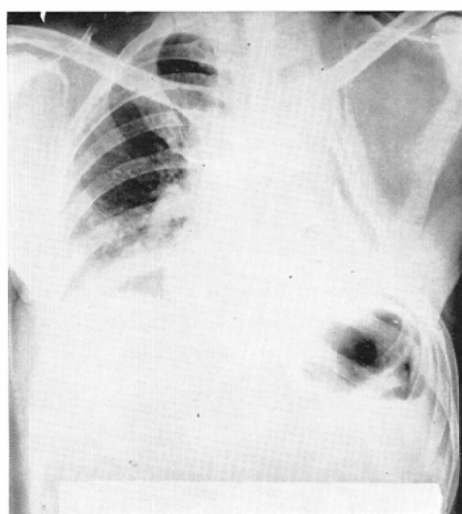


c) Chest film at expiration.

る所見がある。A V C 曲線では含気量が増大しているがその形は不規則で器質的障害のあることを示し、殊に右上肺野は線維化のため換気が殆どない。概して上中肺野は含気はあつても機能が悪く、横隔膜運動が換気の大部分を受持ち、T/Dは0.22と低い。猶この例では走査回数を今までの2倍にして解像度をよくしている。



b) Chest film at inspiration.



c) Chest film at expiration.

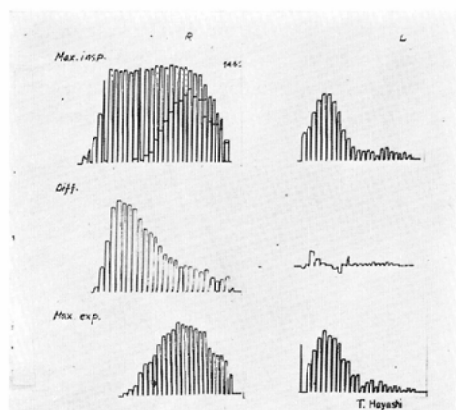


Fig. 27, Case 9, 47 year old man.

Pulmonary tuberculosis. Status after the thoracoplastic surgery.

a) AVC. curves.

Small amount of remnant air but no ventilation in the left lung.

Compensatory emphysema and enhanced ventilation in the right lung.

The patterns show a complete collapse of left lung.

症例 9 T.H. 47才男 Fig.26

診断 肺結核（左肺胸廓成形術）

昭和16年肺結核の診断を受け、同年右肺人工気胸術を行なつた。更に昭和22年、左肺胸廓成形術を受け現在に至る。現在喀痰多く又時々咳嗽がある。

肺活量計による計測		曲線よりの計測	左右比
			右左比
TLC	—	2620ml	83 : 17
VC	1100ml	1250 "	96 : 4

R V ————— 1370ml 69 : 32
 残気率 ————— 52.2%
 T/D = 1.64

曲線所見

左側では胸成後、下肺野にわずかの肺野を残すも、換気はほとんどなく、右肺では代償性肺気腫を示していることが曲線の形及び T/D の値により明らかである。左側の欠損を補うため右側の代償性努力呼吸が著しい。

XIII. 考 按

A V C, F V C いずれの曲線においても、病的肺と正常肺を区別出来た。特に慢性肺気腫においては、比較的軽度のものであつても、健康例に比較して、波形に異常が認められ、差動走査時に最も顕著な差を示した。

肺機能の定量測定は、X線学的方法により最近多くの試みがあるが、その多くは部分的又は、X線写真により胸廓の外観の変化によりデータを得るもので、しかも定量的測定と機能的測定を、全肺野にわたり同時測定を行なつた例はほとんどないが、特に近時 ^{133}Xe ^{85}Kr 等の気体 Radioisotope を利用し量的測定と機能診断を行う試みが、Knipping²³⁾,²⁴⁾ Bentivoglio²⁵⁾,²⁶⁾, Byun²⁷⁾ 等によつて行なわれているが、装置が高価な上、測定計算が難しい、しかし部位別の定量ができる点等多くの応用範囲をもつ。我々の方法にあつても機能の任意な部位の定量分析、含気量を水、Al 厚さ等に置きかえる必要のない点、又患者の肉体的負担がほとんどなく、測定時に患者を必要としない、胸部X線写真撮影と同時に資料を得られる点等でこれまでの方法に勝っている。これまでに約40例の計測を行なつたが、今後は疾患による型の分類等が研究課題となつて来る。又同時に今後次の点について改良開発を考えている。

1) フィルム特性の改善、撮影、現像処理等の諸条件の定量化により、分析にたえるX線写真を得る。

2) フィルム走査にテレビ技術を応用し、高速化する。

3) 映像の積分だけでなく、周波数分析、微分等の操作により形の認識と分析を研究する。

本装置を実用化する研究は目下著者等と東芝電気牧野純夫氏他とにより行われて居り、近く完成の見込である。

IX. 結 論

1) 深呼吸(最大呼気), 深吸気(最大吸気)の2枚の胸部X線写真を、性能のまったく等しい2 channel の濃度計で全面走査し、出力の差を積算増巾器に入れ、1走査毎の積分値を記録計に描かせ、A V C, F V C の2種の曲線を得た。

2) 曲線にかこまれる面積は含気量を示しこれを計測することにより全肺容量、肺活量、残気量を知ることが出来る。最も困難と考えられる絶対量測定については撮影時に呼出せられた空気量を肺活量計で測定するか、或いは撮影時と同じ条件でスパイロメトリーを行つて、その値で校正することにより高い精度で測定することが可能となつた。

3) 吸気時、呼気時の含気量及び、その差として求められる肺活量の左右別は勿論、部位別の分布を正確にしかも一挙に知ることが出来る。又カラースキャニングとして描記することにより更に具体的に表現することが出来る。

4) A V C, F V C 曲線は正常、病的例それぞれ特長を示し、肺に器質的、機能的異常があれば特有の形を示し、診断の根拠を与える。A V C 曲線を横隔膜運動の部分と胸廓運動の部分に分けて見ると更に明瞭に分析することが出来る。

5) 部位別の肺機能分析は本法により極めて簡単に行い得ることとなつたが、更に本法はX線写真そのものを測定するのであるから、同じ資料について形態学的診断と機能的診断が同時に行われるという大きな利点がある。患者の負担が身体的にも経済的にも極めて少いことも有利な事である。

本論文の要旨は第23回日本医学放射線学会総会(1964年4月梅垣、松本、松川、滝沢の共同発表)第163回日本医学放射線学会関東部会(1964年9月)において発表した。研究について御援助を頂いた信州大学医学部放射線医学教室深草助教授(現日赤本院放射線部長)他の諸氏第1内科教室小侯崎崎両氏、中央レントゲン部諸氏に感謝します。又装置の開発に協力を頂いた国立

がんセンター放射線部松本、松川両氏に感謝します。

本研究については文部省科学研究費（班長足立忠教授）及び厚生省がん研究助成金の援助を受けた。記して謝意を表する。又上述の研究費により東芝玉川工場において実用装置が設計製作せられつつあることを附記する。

文 献

- 1) Kaltreider, N, et al.: Am. Rev. tbc., 37, 662 (1938).
- 2) Aslett, E.A., et al.: Proco. Ray. soc., London, S.B. 126, 502 (1939).
- 3) Sinomin, P., et al.: J. Franc. Med. et chir. tncrac., 5, 42 (1951).
- 4) Cobb, S. et al.: Mm. J. Med., 16, 39 (1954).
- 5) Autio, V.: Acta Med., 16, 39 (1954).
- 6) Barnhard, H.: J., et al.: Am. J. Med., 28, 51 (1960).
- 7) 三好：金沢医理学叢書，4巻。
- 8) 岡本他：金沢医理学叢書11巻，20。
- 9) 渡辺：日医放誌，22，226 (1962)。
- 10) 渡辺：日医放誌，22，237 (1962)。
- 11) 三浦：日医放誌，22，250 (1962)。
- 12) Gillick, F.G., et al.: J. Appl. Rhysi., 2, 30 (1950).
- 13) Kjellberg, S.R., et al.: Acta Physiol. Scand., 20, 166 (1955).
- 14) Steiner, R., et al.: J.A.M.A., 181, 884 (1962).
- 15) 梅垣他：臨床放射線，7，275 (1962)。
- 16) 戸塚他：臨床放射線，7，642 (1962)。
- 17) 星野他：日医放誌，23，1208 (1964)。
- 18) 星野他：日医放誌，23，1219 (1964)。
- 19) 滝沢他：日医放誌，24，掲載予定 (1964)。
- 20) 高橋他：胸部外科，4，505 (1953)。
- 21) Kalinowski, et al.: Fort. Röntgen. 90/1, 53 (1959).
- 22) 小野：呼吸検査法，医学書院 (1953)。
- 23) Knipping, H.W., et al.: Münch. Med. Woch., 99/1, (1957).
- 24) Knipping, H.W., et al.: Zeitschr. tbc., 117, 51 (1961).
- 25) L.G. Bentivoglio, et al.: J. Clin. Invest. 42, 1193 (1963).
- 26) L.G. Bentivoglio, et al.: Am. Rev. Respt. Dis., 88, 315 (1963).
- 27) H.H. Byun, et al.: J. Nuclear Med., 4, 345 (1963).