

局所肺機能の研究

第一編 フィルム走査法による局所換気機能測定

昭和41年11月10日 受付

信州大学医学部戸塚内科学教室

(主任：戸塚忠政教授)

溝 上 登 一

Studies on Regional Pulmonary Function

Part 1. Studies of Regional Pulmonary Ventilation by
Film Scanning Method

Noboru Mizoue

Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine,

Shinshu University

(Director : Prof. T. Tozuka)

I 緒 論

肺機能の測定法は近年長足の進歩を遂げ、従来開発の遅れていた肺の局所的な機能検査法も最近に至り著しく進歩してきた。古くは1932年 Jacobaeus 氏^①による気管支肺容量測定法に始まり、Carlens 氏^②によりその方法が改良され、さらに Knipping 氏^③が Radioisotope を用いて局所肺機能の測定を試み、良好の結果を得てからは、この分野での研究の進歩には目覚ましいものがある。またX線を用いる方法も従来のレントゲンキモグラフィーから光電増倍管を用いる方法にかわり、さらにその性能を増してきた。即ちレントゲンキモグラフィーの肺機能検査への応用は主として横隔膜、肋骨、肺紋理、縦隔洞などの運動の観察であつたが、Small^④、Steiner^⑤、Marchal^⑥らにより螢光板に映ずる肺野の呼吸に伴う輝度変化が記録されるようになり、換気機能の測定も可能になつた。本邦においても梅垣^⑦、戸塚^⑧、溝上^⑨、星野^⑩らによりこの分野の研究が進められてきた。

一方、肺機能検査に胸部レ線写真を用いる試みは、1933年 Hurtado 氏^⑪により始められた。この研究は胸部レ線写真の幾何学的測定により肺容積を算出しようとしたものであるが、これとは趣を異にするもので、呼吸に伴つて変化するフィルム濃度から肺機能を推定しようとする試みが鈴木^⑫、坪井^⑬らにより始められ、さらに三浦^⑭によりX線フィルムの濃度を連続的に記録する Cinedensography に改良された。

最近、梅垣・滝沢^⑮はフィルム走査法を考案し、肺機能検査に応用されるべき有力な方法であると報告している。著者は本法の肺機能検査への応用の妥当性

を検討し、さらに局所換気機能を測定し得るという成績を得たので報告する。

II 測定法

1) 測定原理

胸部X線透視や撮影において、肺のX線透過性は吸気時に増加し呼気時に減少して、肺の換気と密接な関係がみられる。本法は呼気時と吸気時のフィルム濃度差を全肺野左右別々に、上肺野から下肺野にわたつて連続的に横に走査し、濃度差を積算記録する。基線からの長さが横に走査した部位の吸気と呼気のフィルム濃度差、即ちほぼ換気量に相当し、上肺野から下肺野にわたつて横に走査して直線的に積算値を記録してゆくと、基線からの長さが大小さまざまであるために、その高さを結ぶと曲線が得られる。これをフィルム走査曲線と呼ぶことにした。しかしX線が均質な物体を透過する場合にX線は指数曲線 $I = I_0 e^{-\mu x}$ (I_0 : 入射X線の強さ、 I : 透過X線の強さ、 x : X線の透過した物質の厚み、 μ : X線吸収係数) に従つて減弱し、透過X線の強さ I は透過した物質の厚み x に関して直線的ではない。又、フィルム濃度はフィルム被曝線量に関して Sigmoid 曲線の関係にある。従つてフィルム黒化量より直接に吸収体の変化量を知ることは困難である。この欠点を補うために測定系にフィルム特性補正増巾器を用い、吸収体の厚みとフィルム黒化量との関係がほぼ直線となるように工夫してある。

2) 測定装置の構造及び測定法

本学中央レントゲン滝沢の考案した装置の概要は Fig. 1 に示した。吸気と呼気に撮影した2枚のX線フィルムを脊椎の位置で一致するように合わせて各々の

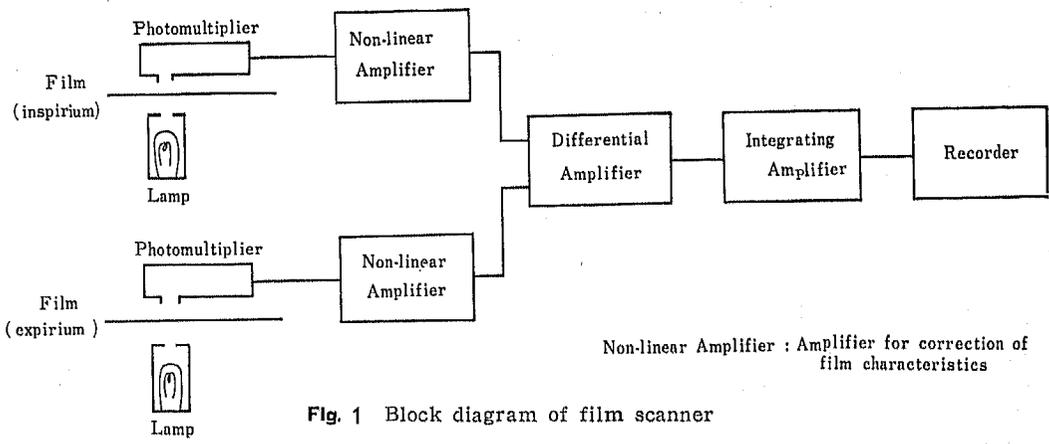


Fig. 1 Block diagram of film scanner

フィルムをホルダーで固定する。2枚のフィルムに別々に一定の光を当て、フィルムを透過した光を1×2 mmのスリットを通して光電増倍管で電気的に変換し、その出力を2素子のフィルム特性補正増巾器を通し、さらに差動増巾器に入れ2つの信号の差を積分増巾器で演算させる。フィルムの走査は6mm secの速度で行い、必要面積の走査が終了後、積分増巾器はその走査開始から終了までを演算し、その結果がX-Yレコーダーに記録される。その記録が終了後自動的に測光部は移動して次の部位の測定を開始するようになっている。

3) フィルム撮影条件

フィルムは富士PX, 増感紙は極光FSを使用し、撮影は島津嵯峨号蓄放式撮影装置で呼気、吸気に同一条件で行い、Kodak M-S自動現像装置で現像した。

III 成績

I 測定装置の信頼性

基礎実験として厚さ2cmのアクリル樹脂板10枚を階段状に積重ね、それをX線撮影して、そのフィルム濃度とフィルム特性補正増巾器の出力電流との関係を調べた。X線撮影条件は焦点フィルム間距離1.8m, 電圧60kVで行った。フィルム濃度はアクリル樹脂板の厚みが増すにつれて減少した。アクリル樹脂板の厚みとフィルム特性補正増巾器の出力との関係は、Fig. 2に示す如く厚み5~18cmにわたってほぼ比例関係が成立した。従つてこの範囲のフィルム濃度(黒化度2~0.3)になるような撮影条件であれば、フィルム濃度からX線が吸収された層の厚みの変化を求めることができる。

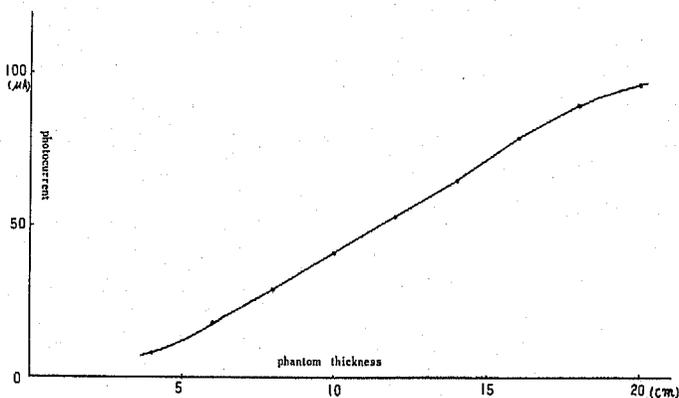


Fig. 2 Correlativity of phantom thickness (film density) and photocurrent

Ⅱ 呼吸により変化するフィルム濃度の積算値と換気量との関係

フィルム走査曲線の基線からの高さ、及びその曲線が基線との間に囲む部分の面積は安静呼吸よりも深呼吸により増加して、換気量と密接な関係のあることが推定されるので、実際に両者の関係を検討した。

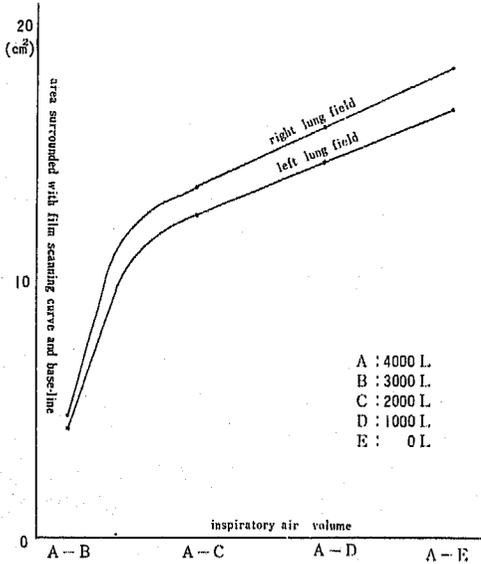


Fig. 3 Correlative curve of inspiratory air volume and area of surrounded with film scanning curve and base-line

対象として35才、男、健康人(肺活量4000ml, 1秒率92%, 残気率12%)を選んだ。最初最大吸気時(空気が4ℓ吸入)でX線撮影を行い、次に吸入せる空気を呼出させ、再び最大吸気を命じバイテラーにより1ℓの空気を呼出させたことを確かめ(空気が3ℓ吸入)、X線撮影を行った。以下同様の方法で2ℓ呼出時(空気が2ℓ吸入)及び3ℓ呼出時(空気が1ℓ吸入)と最大呼出時で撮影し、5枚のフィルムを得た。フィルム走査曲線は空気が4ℓ吸入時のフィルム(A)を基準にして3ℓ吸入時(B), 2ℓ吸入時(C), 1ℓ吸入時(D)及び最大呼出時(E)とのフィルムの濃度差として表わした。換気量とフィルム走査曲線が基線との間に囲む面積との関係は、Fig. 3に示す如くほぼ直線となる。しかしA-BとA-Cの間で直線性を失っている。これはA及びBのフィルム濃度が黒化度2以上のため、本装置のフィルム特性補正増巾器の性能では補正ができないものと考えられる。

Ⅲ 健康人のフィルム走査曲線

胸部に異常所見のない健康人のフィルム走査曲線を

得るために対象として10例(男5例, 女5例, 年齢22~45才)を選び、安静呼吸時、深呼吸時及び胸式呼吸時において各々2枚づつX線撮影をして、フィルム走査を行った。

1. 安静呼吸

安静呼吸時のフィルム走査曲線は男女とも Fig. 4に示すようなほぼ一定の傾向のある結果が得られた。即ち左右ともに上肺野から下肺野にゆくにつれて曲線の基線からの高さは高くなり、下肺野でもつとも高くなる。左右を比較すると、下肺野で左の基線からの高さが、やや減少する傾向があるがほぼ対称な曲線となる。男女における著しい相違は認められなかつた。左右上肺野において曲線が基線以下に降下している部位が認められる。これは、この部位の吸気時の濃度が呼気時の濃度より低下していることを表わし、肋骨の動きによる影響とみられる。即ち吸気による濃度の増加が肋骨の陰影に遮蔽されたためと解釈される。

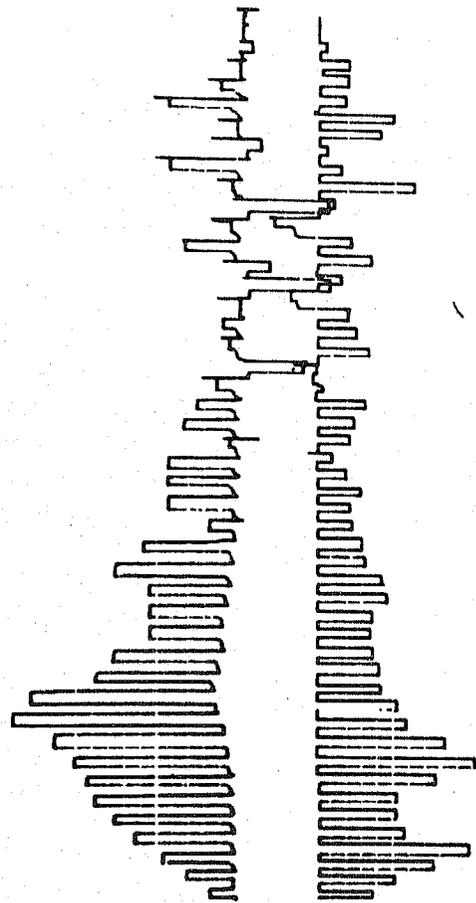


Fig. 4 Film scanning curves of normal subject at resting respiration

2. 深呼吸

深呼吸時のフィルム走査曲線は男女とも Fig. 5 に示すようなほぼ一定の傾向のある結果が得られた。即ち左右とも上肺野から下肺野にゆくとつれ曲線の基線からの高さは高くなり、左右を比較すると下肺野で左の基線からの高さがやゝ減少する傾向があるが、ほぼ対称である。安静呼吸時に比較すると、左右とも基線からの高さが増加しており、特に中肺野、下肺野で著

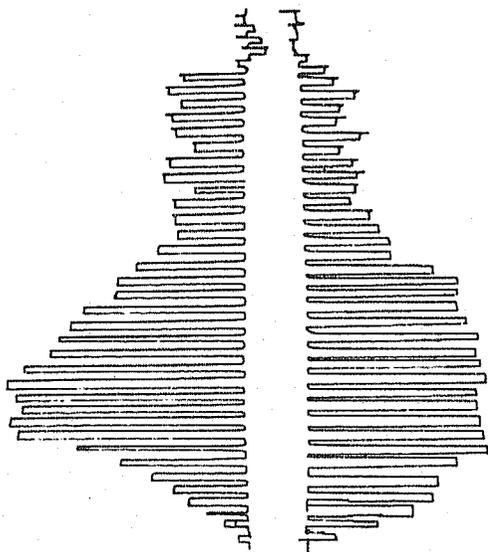


Fig. 5 Film scanning curves of normal subject at costabdominal deep respiration

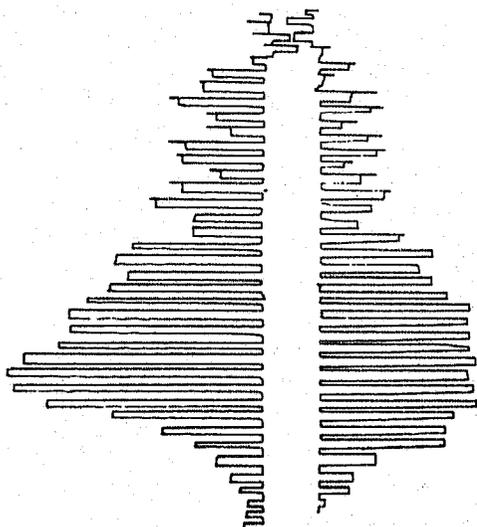


Fig. 6 Film scanning curves of normal subject at costal deep respiration

しい。本曲線では安静呼吸時の曲線の上肺野でみられた肋骨の影響が少なくなっている。即ち深呼吸のため吸気で増加するフィルム濃度が大きくなるため、肋骨の陰影により遮蔽される程度が小さくなったものと考えられる。

3. 胸式深呼吸

胸式深呼吸時のフィルム走査曲線は Fig. 6 に示すようなほぼ一定の傾向のある結果が得られた。即ち基線からの高さは中肺野にピークのあるほぼ左右対称の曲線が得られた。深呼吸時の曲線と比較すると、下肺野において基線からの高さが減少して、中肺野から上肺野においてやゝ増加しており、かつ上肺野の肋骨の影響が大きく表われている。これは、胸式呼吸のため肋骨の呼吸に伴う動きが著しいためと考えられる。

IV 考 按

肺機能は換気、ガス分布、拡散、肺循環に大別され、近年各分野にわたり高度の技術が導入され精密な検査が行われるようになった。しかし局所肺機能の分野においては Carlsens 以来行われている気管支カテーテル法を除いて未だ十分な換気機能検査も行い得ない状態である。気管支カテーテル法も手技が難しく、患者への負担が大きく、かつ被検者の非生理的状态での測定値であつて未だ信頼すべき方法ではない。著者はフィルム走査法の肺機能検査への応用を試み、さらに局所換気機能を測定し得るという成績を得た。

X線を利用する肺機能検査法は種々の報告がある。Hurtado, Kaltreider^⑩は胸廓の厚みと胸部正面写真の肺野面積を測定することにより全肺気量を推定し、Barnhard^⑪は胸部正面写真の各部の計測値から全肺気量の測定を試みている。これらの方法では、健康人を対象とする測定では比較的信頼し得る成績が得られようが、胸廓及び肺野に変形をきたさない程度の肺内の異常所見を有する患者は当然検査の対象にはなり得ない。高橋ら^⑫は深吸気時と深呼吸時で撮影した2枚の胸部正面写真の左右肺野の面積を計測することにより左右別肺活量の測定を試み、小田和^⑬はこの方法に肺横径の計測値を加えて同様に左右別肺活量の測定を行つた。これらの方法は Kaltreider, Barnhard らの1枚のフィルムをもつて行う方法に比すれば肺を動的に捕えた点で一步先んでいる。しかしこの方法をもつてしても、肺野に異常のあるフィルムは不適當と思われる。以上X線フィルムによる肺機能の研究も、肺を形態的に扱う段階から動的に扱おうという努力がなされるようになり、最近では呼吸により変化するフィルム肺野濃度によつて肺機能の測定を行つてい

る。Simonin²⁰, Marchal²¹らは肺野の深呼吸による濃度変化を濃度計で測定し、左右別肺活量を求めたり、或いは、肺局所の換気機能を推定している。本邦においても、フィルム肺野濃度変化の観察による肺機能測定を試みは、坪井、鈴木、三浦らにより行われてきた。坪井は各呼吸位相の写真の撮影により、限局性肺気腫の検索を行い、肺癌の初期症状である“initial Emphysema”の発見の可能性を主張している。鈴木は深吸気、深呼気、平静呼気の3枚のフィルムについて、左右別々に上肺野から下肺野まで5ヶ所の部位について黒化度を測定し、黒化度グラフを作り、黒化度のレベル、グラフが散開するか収束するかを観察して限局性換気障害の発見を行つている。三浦は被検者の胸廓の前後に温水を満したビニール袋をおくことにより、呼吸による肺の容積の変化及び厚みの変化を水の厚みにおきかえて、X線映画法により呼吸によるフィルム濃度変化を連続的に記録(Cinedensogram)して局所換気障害の検索を行い、又、深吸気、深呼気のフィルムについて各肺野の濃度を測定することによりDensoplanigraphyを作り、それより分割肺活量及び残気量の測定を試みている。著者は、深呼気時と深吸気時に撮影したフィルム濃度差を全肺野左右別々に、上肺野から下肺野にわたつて連続的に横に走査し、走査部位の濃度差の積算値を基線上に夫々の高さをもつ直線として記録し、基線からの高さを結んでフィルム走査曲線を得て、これにより局所換気の測定を行つた。本法の原理は三浦のDensoplanigraphyに若干類似しているが、三浦は各肺野の後方助間中央部の黒化度をもつてその肺野の平均濃度としてDensographyを作成している。しかし本法では各肺野濃度を全肺野にわたり積算記録しているので誤差の介入が少なく、肺野濃度の呼吸による変化を忠実に記録している点で秀れている。X線吸収体の厚みとフィルム特性補正増巾器の出力との関係は、アクリル樹脂の厚み5~18cm、黒化度2~0.3にわたり直線性があり、この範囲のフィルムにおいては換気機能の定量的測定が可能と考えられる。実際に肺内空気量とフィルム濃度差の積算値との関係を調べると、両者の間にはほぼ比例関係がみられ、本法の換気機能測定への妥当性を確認し得た。次に健康人のフィルム走査曲線は安静呼吸時と深呼吸時とを比較すると、形は類似しており、下肺野、中肺野、上肺野の順にフィルム濃度差の積算値が減少し、同時に換気量の減少をも推定させる。深呼吸時の曲線では安静呼吸時よりも基線からの長さが長くなつてゐるのは、安静時よりも換気量が増加していることを意味している。これらの結果は、三浦のDensoplani-

graphy、渡辺²²のDensograph、鈴木の黒化度グラフ、Marchalなどの成績と一致している。フィルム走査曲線で左右ほぼ対称に数ヶの陥凹がみられるのは呼吸により移動する肋骨の影響と思われる、安静呼吸時及び胸式呼吸時の上肺野で特に著しい。

以上、フィルム走査法の局所肺機能測定への応用の妥当性を検討し、本法が局所換気機能の測定に有用な方法であることを認めた。

V 結 論

フィルム走査法の局所換気機能測定への応用について健康人の各種呼吸様式によるフィルム走査曲線を検討し、次の成績を得た。

1. アクリル樹脂フロントームを用いた実験で、フロントームの厚み5~18cm、本装置で測定したフィルム黒化度で2~0.3の間において両者の関係は直線性を認めた。
2. フィルム走査曲線の形から、健康人の換気機能は両側下肺野で最も大きく、中肺野から上肺野にゆくにしたがって小さくなる。
3. 胸式深呼吸は胸腹式深呼吸に比して、換気機能が下肺野でやゝ小さく中肺野、上肺野でやゝ大きい。
4. 肺内空気吸入量とフィルム走査曲線が基線との間に囲む面積との間には比例関係が認められた。

稿を終るにあたり御指導御校閲をいただいた恩師、戸塚忠政教授に深甚なる謝意を表すると共に本研究に終始御助言、御教示いただいた草間昌三助教授、溝上長男博士に感謝の意を表します。

尚、本稿の要旨は第5回日本胸部疾患学会総会及び第63回日本内科学会総会に於て発表した。

文 献

- ①Jacobaeus, H. C.: J. Thor. Surg., 7: 235, 1938
- ②Carlens, E.: J. Thor. Surg., 18: 742, 1949
- ③Knipping, H. W. et al: Deutch. Med. Woch., 80: 1146, 1955
- ④Small, J. et al: J. A. M. A., 181: 884, 1962
- ⑤Steiner, R. et al: Lancet, 7159 (II): 1051, 1960
- ⑥Marchal, M. et al: Thorax, 20: 428, 1965
- ⑦梅垣洋一郎・他: 臨床放射線, 7: 275, 1962
- ⑧戸塚忠政・他: 臨床放射線, 7: 642, 1962
- ⑨溝上長男: 日内誌, 52: 1072, 1963
- ⑩星野文彦・他: 日医放誌, 23: 1208, 1963
- ⑪Hurtado, A. et al: J. Clin. Invest. 12: 807, 1933
- ⑫鈴木邦彦: 日医放誌, 20: 314, 1960
- ⑬坪井栄孝: 日医放誌, 19: 1029, 1959
- ⑭三浦孝文: 日医放誌, 22: 250, 1962
- ⑮梅垣洋一郎・他:

日医放誌, 25 : 169, 1965 ⑯Kaltreider, N. et al: Am. Rev. Tbc., 37 : 662, 1938 ⑰Barnhard, H. J. et al : Am. J. Med., 28 : 51, 1960 ⑱高橋雅俊・他 : 胸部外科, 4 : 505, 1953 ⑲小田和金重:

新潟医誌, 73 補冊 2 : 202, 1959 ⑳Simonin, P. et al : J. franc. med. et chir. thorac., 5 : 42, 1951 ㉑渡辺長盛 : 日医放誌, 22 : 237, 1962