

周波数分析法によるX線検査

—肺機能検査への応用—

昭和42年11月1日受付

信州大学医学部放射線医学教室

小林 敏 雄

坂 本 良 雄

信州大学附属病院中央放射線部

滝 沢 正 臣

鈴 木 茂 雄

国立がんセンター放射線部

梅 垣 洋 一 郎

A Roentgenologic Examination by Means of Frequency Analysis and its Application to the Pulmonary Function Examination

Toshio Kobayashi

Yoshio Sakamoto

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Shinshu University

Masaomi Takizawa

Shigeo Suzuki

Radiological Center, Shinshu University Hospital

Yoichiro Umegaki

Department of Radiology, National Cancer Hospital

はじめに

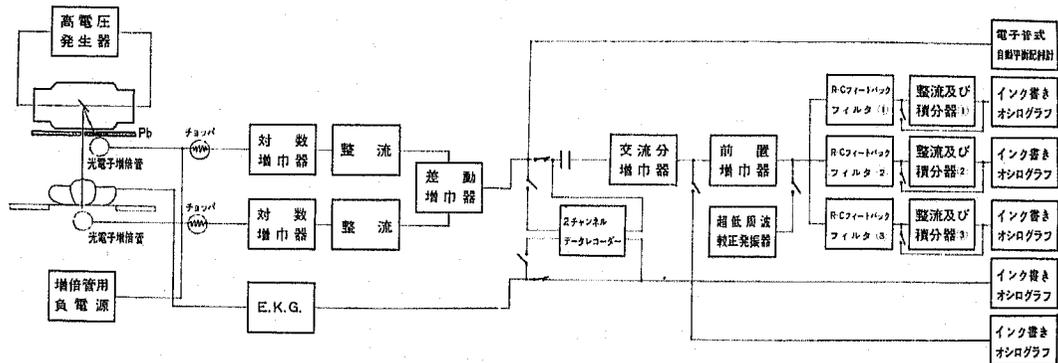
細隙X線走査装置(X線走査キモグラフ)⑦,⑧,⑩,⑪,⑫により,心,大血管および肺野を走査した時に得られる波形中には,その部位の厚みを示す信号である直流成分の他に,呼吸運動,肺血管拍動が重なる上に,肋骨吸収,X線out put変動,増巾器ノイズ等の不要の交流成分が混在して測定を妨げる。

このような信号中より,肺呼吸運動成分,血管拍動

成分を選択的に分離定量することにより心肺機能検査を行なうべく,波形の周波数分析を試みた。

方 法

使用した細隙X線走査装置(エレクトロキモグラフ)は,第1図左の如く,180KVP(HVL0.95mmCu)の治療用硬X線を2×10mmのスリットで絞り,これを検査用線源とする。被検体を通してX線を, cine用



キモグラフ部

分析部

第1図 装置ブロックダイアグラム

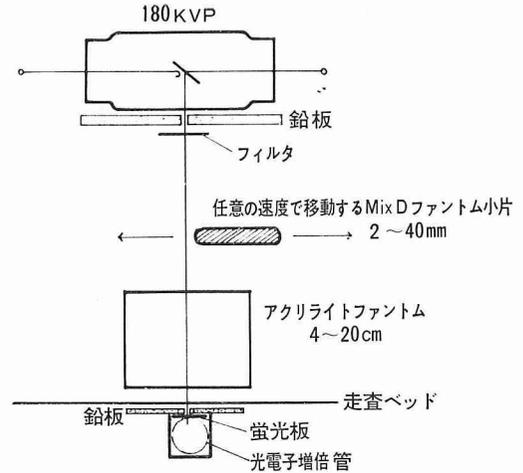
screen+photomultiplier tube MS-9Sより成る受光部により検出する。

定量性を増すため対数増巾器を使用し¹³⁾、更にX線 outputの変動等を或る程度相殺するため、検出器と増巾器を2系統使用して差動増巾器により2つの信号の差を取つた¹⁴⁾。

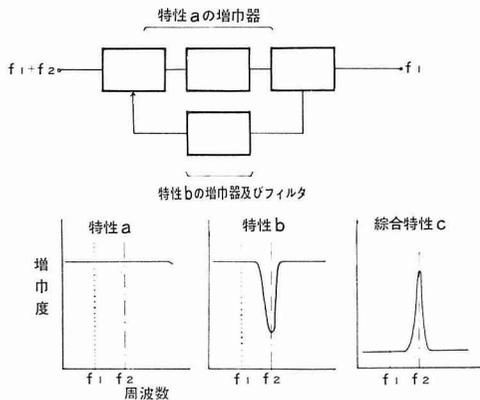
この装置の信号出力の周波数分析を試みるため、これを記録計に送ると同時に、直流分を除き増巾器により増巾した後、一定の周波数成分のみを選択的に増巾するR-C feedback filter¹⁵⁾(第2図)により、血管拍動成分(安静時平均周波数1.0~1.5cpsとみなす)、呼吸運動成分(安静時平均0.2~0.5cps)にそれぞれ分離した後、積分器¹⁶⁾により電氣的に積分する。その特性を第3図に示す。積分時間は胸部左端より右端への1走査毎であり、X線ビームによるarea scanningを行なった後に得られる各走査線の積分値より左右別の呼吸運動、血管拍動量の総和を示す曲線を得る。

本装置の定量性を知るため、次の如き基礎的実験を行なった。すなわち、第4図に示す実験装置により、0~20cm厚さのプラスチック板と、定速で移動する円板上に2.5, 5, 10, 20, 40mm厚みのプラスチック小片

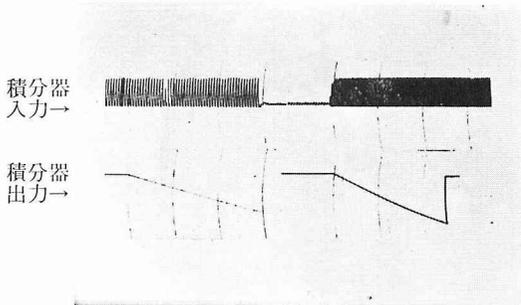
を乗せ、0から20cmまでプラスチック板厚みを変化させて、このときの周波数分析器の出力信号の高さをY軸に、プラスチック板厚みをX軸にとってプロットしたものが第5図であり、2.5mmでは7~16cm、5mmでは6~14cm、10~40mmでは0~18cmに平坦な特性が得られた。第6図に5mmでの例を示す。下段は1.4 cps



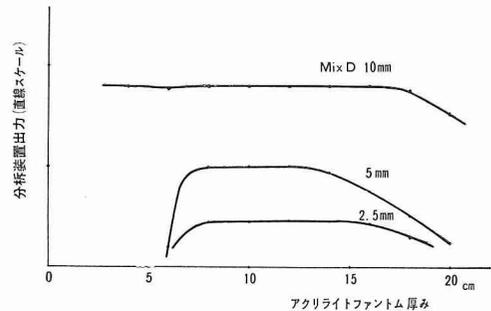
第4図 基礎的実験のための装置



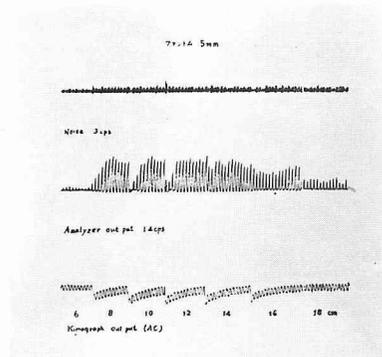
第2図 R-C feedback filter 模式図



第3図 積分器特性



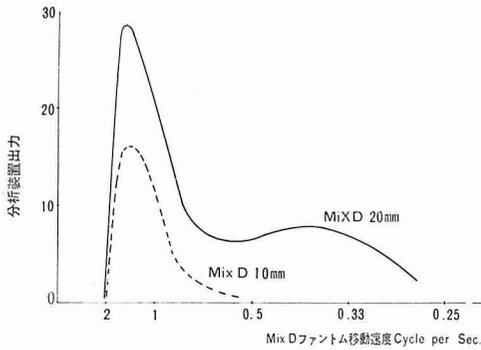
第5図 移動ファントム厚みによる直線性



第6図 5mmファントムによる1例
上:分析器出力1, 中:分析器出力2, 下:一次波形

で移動する5mm小片のキモグラフ(下の数字は6~18cmプラスチック板厚み),中段は分析器出力(1.4cps),上段は3cps出力である。

また,周波数選択性を試験するため,小片をのせた円板の動く速度を種々に変化させたときの分析器出力変化を見たものが第7図であり,1.4cpsに選択性を示すピークが現われている。

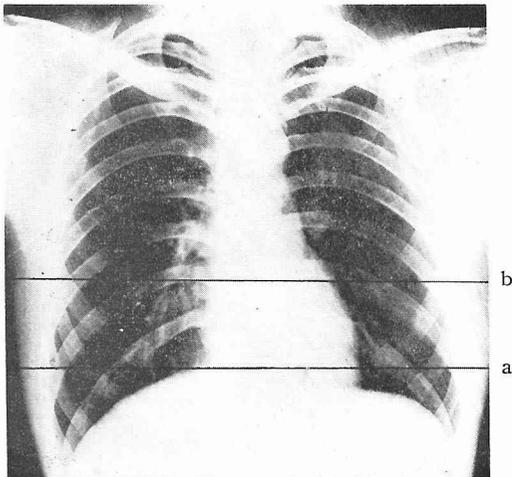


第7図 分析器周波数選択特性

計測結果

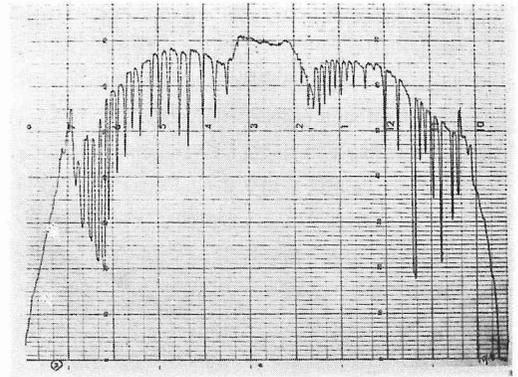
被検者を6cm/minの定速度で移動する寝台に仰臥させる。走査の間隔は1~2cm巾とした。分析器周波数帯域の都合で,血管拍動を取り出す場合に中心周波数1.4cps(1.0~1.8cps)として取り出し,呼吸運動による成分は,あらかじめdata recorderに記録された一次波形を,テープ再生速度を上げることで周波数を2~3倍にして取り出した。このため記録された呼吸成分は,実際の周期より高くなっている。

例1 健康人男 24才 第8図A~F

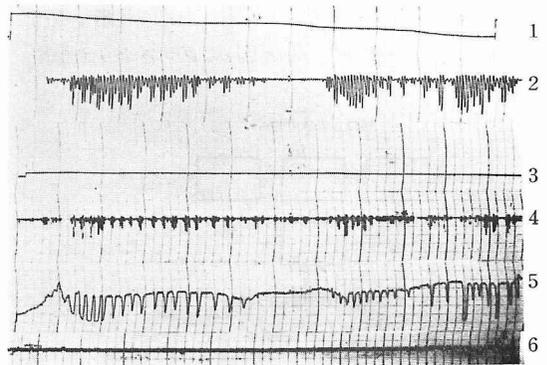


第8図A 例1 正常例

第8図B, Dは,胸部X線写真黒線位置での一次波形を示し, C, Eはそれぞれの波形の分析例で,下からECG, 一次波形の交流分, 分析された血管拍動分(積分器にかけるため整流し負側のみとなっている。以下同様), 血管拍動分の積分曲線, 呼吸運動成分,

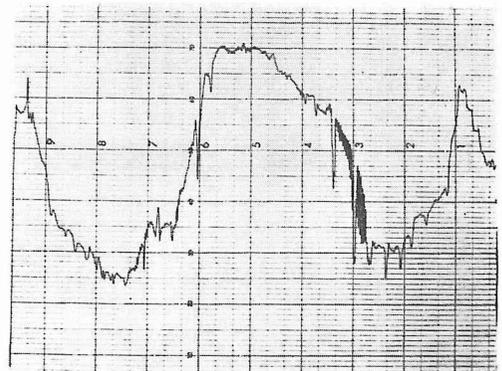


第8図B 黒線a部の走査曲線

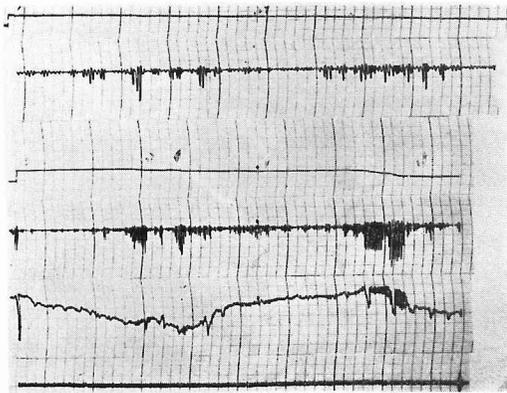


第8図C a部の分析波形

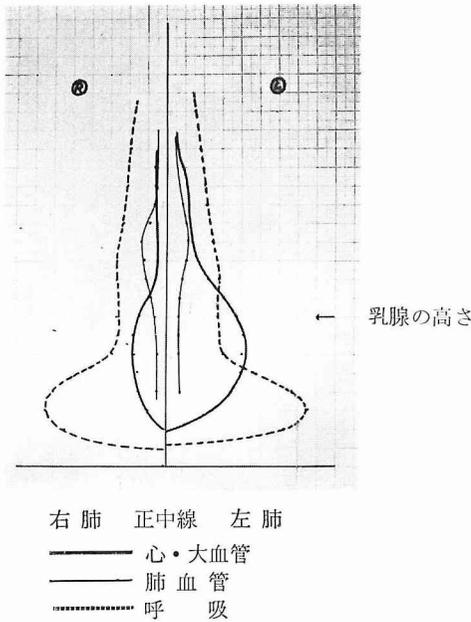
- 1 呼吸量積分曲線
- 2 呼吸運動分析曲線
- 3 血管拍動積分曲線
- 4 血管拍動分析曲線
- 5 分析前の波形
- 6 ECG



第8図D 黒線b部の走査曲線



第8図E b部の分析波形



第8図F 正常例の積分曲線

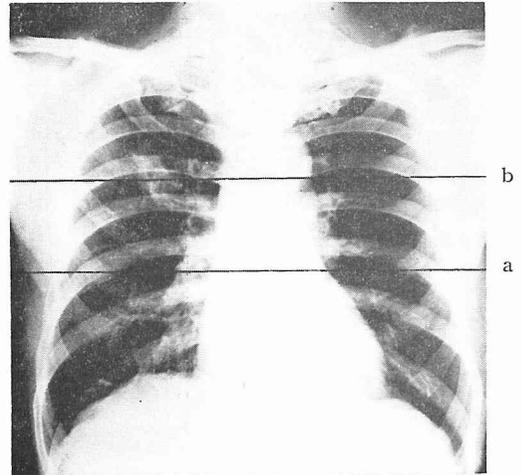
その積分曲線をそれぞれ示す。

各走査時の呼吸および血管運動の積分曲線より、呼吸では左右別に、血管拍動では左右別の肺血管拍動、正中線で左右に分離した心および大血管拍動を一次波形の高さを基準にとってそれぞれ分け、各々の量をプロットしたものが第8図Fであり、その高さをX軸に、体軸方向の長さをY軸にとってある。

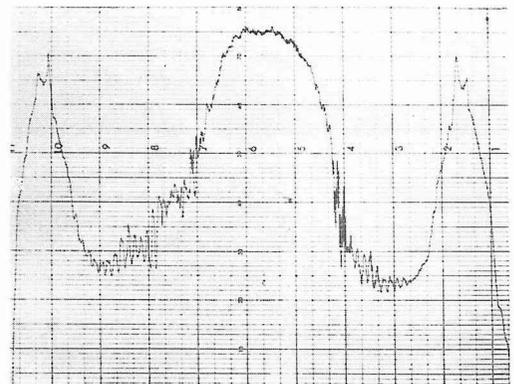
正常例では、肺呼吸運動(点線)は横隔膜位を頂点としてほぼ左右対称の運動量を示し、上肺野に移行するにたがって減少する。この波形はフィルム走査法による積分曲線⑨、⑩と極めて類似している。肺血管拍動(細実線)は肺門部を最高として、上、下肺野へ

と低下してゆくほど左右対称な形を示し、心および大血管拍動成分の形状は、胸部X線写真真正面像における中央陰影および心陰影に相似した曲線となった。

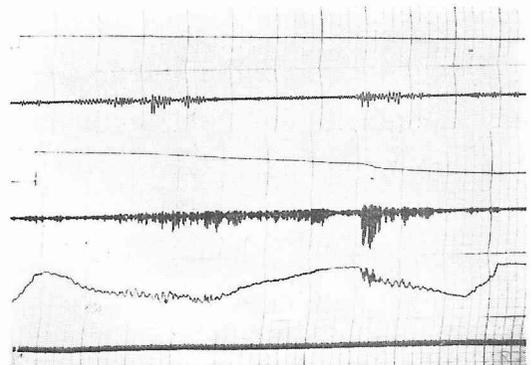
例2 右上葉肺癌 73才男 第9図A~F



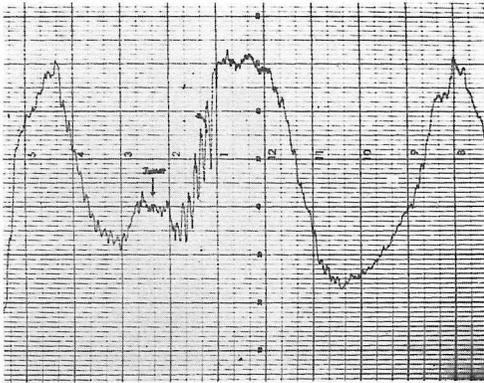
第9図A 例2 M. Y. 73才男, 右上葉肺癌



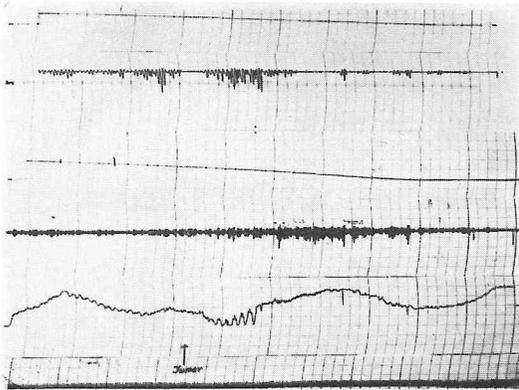
第9図B 黒線a部の走査曲線



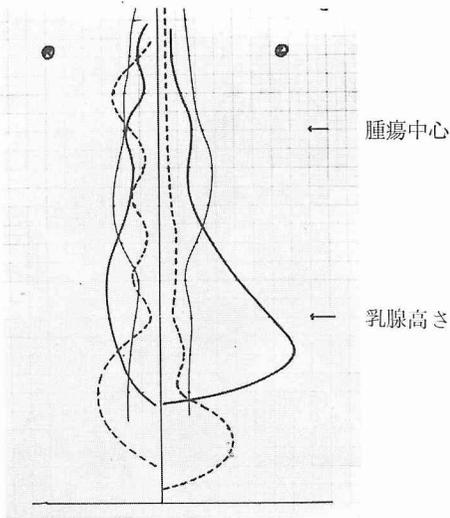
第9図C Bの分析曲線



第9図D 黒線b部の走査曲線



第9図E Dの分析曲線



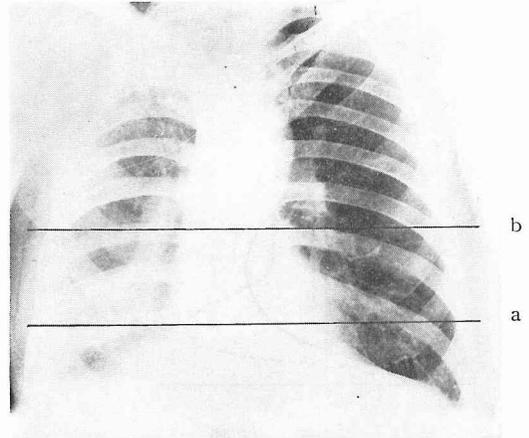
第9図F 例2の積分曲線

胸部X線写真では右S₃に限局した腫瘍陰影が認められる。横隔膜の運動は左右共正常であるが、右肺腫瘍部での呼吸運動の消失およびその周囲における異常な波動が認められ(第9図D, E), 積分曲線においてもこのことが明瞭であるが、肺血管拍動を示す曲線においては左右差はほとんど認められない。

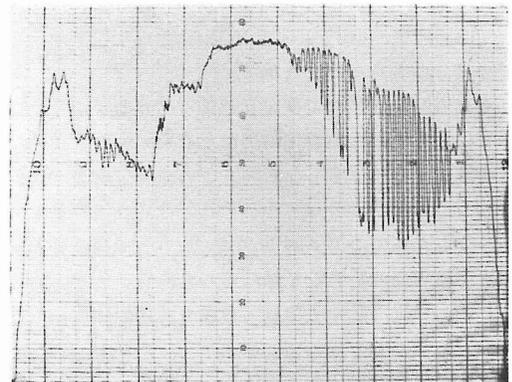
例3 右側肺結核・胸膜肺底 59才男 第10図A~F

古い肺結核による人工気胸の合併症として右肺では広範囲の胸膜肥厚が見られる。

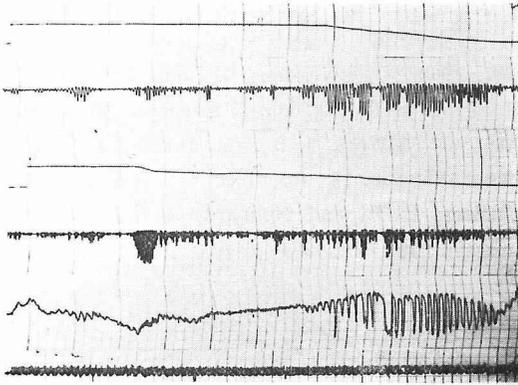
第10図B~Eの曲線においても右肺呼吸量の低下および左側代償性呼吸の増大が認められるが、第10図Fの積分曲線においてはこれが一層明らかに観察され、右肺呼吸運動の抑制、肺血管拍動量の著明な低下、および左側呼吸量の増大が明確に示される。



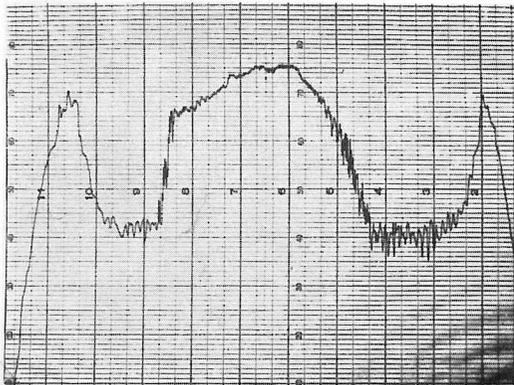
第10図A 例3 M. M. 59才男, 右側肺結核(胸膜肺底)



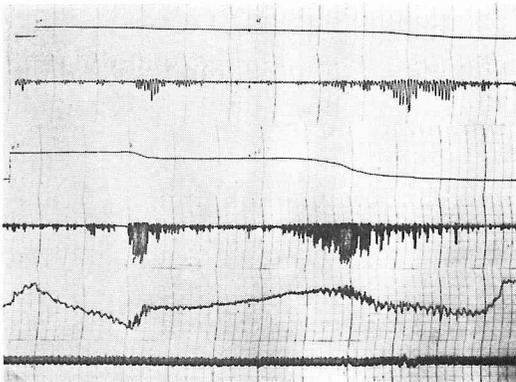
第10図B 黒線a部の走査曲線



第10図C B の分析曲線



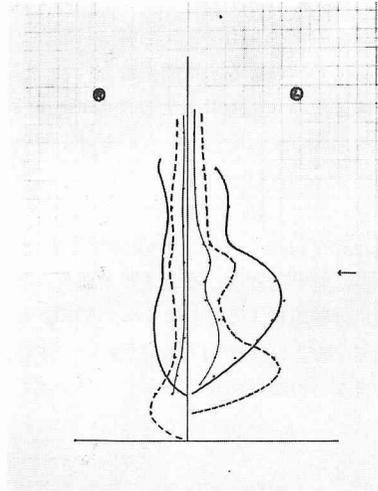
第10図D 黒線b部の走査曲線



第10図E D の分析曲線

考 按

X線学的な方法により呼吸機能を知る試みは極めて多い。その1はX線フィルムの densitometry による方法^{①, ⑮, ⑳}, その2は electrospiogram や, fluorodensogram^{⑩, ⑬}等による動的測定であり, 最近ではこれにR I法^{④, ㉔}が加わる。これ等の場合主



右肺 正中線 左肺

第10図F 例3の積分曲線

として局所の呼吸機能を求めんとしているものであり, 3次元的な広がりを持つ肺の機能を知るためには充分とはいえない。

一方, 機械的または電気的キモグラフにより, 心, 大血管, 肺の血管拍動を観察することは, Sabat, Stumpf により古典的(機械的)方法を初め, 多くの報告がある^{⑤, ⑥, ⑩, ⑭, ㉔}が, その視野は連続的となっていない。

X線学的な方法により肺機能を計測する場合, 呼吸, 循環相互の機能を同一時点において知ることが最も望ましいことであるが, このための試みとして, 細隙X線走査装置により得られた波形を, 呼吸系, 循環系のそれぞれの周波数の相違を利用して, 周波数分析することにより肺機能の定量測定が可能であるかどうかを試みた。simulator による基礎的実験では, 2mm程度のX線吸収の差は有意の成分として分離出来たが, 各基礎ファントム厚みの平坦性は10mm以下の厚み変化においてはあまり良好でなかった。これは対数増巾器, 分析器周波数特性に問題があるものと考えられる。また, 厚みの大きい40mm以上の変化に対する分析器出力の peak が2つ生ずるのは, ファントムの形状, 分析器特性によるものと考えられ, このことは他 channel への干渉と併せて今後検討すべき問題である。

さらに, ノイズであっても, その周波数が上の特性に合致していれば誤差となり得る。

走査法の利点は肺の横断面全域の機能的測定が可能なことや, 呼吸停止や深呼吸を行なうことなく平静状

態で計測を行なえること、視野が小さいためX線被曝量が50~100mRと少ないこと、分解能が高いこと等であり、従って頻回の検査が可能となる。

今後、一次波形の digital および analogue computer による処理の検討を行ないたいと考えている。

結 論

細隙X線走査を行なう electrokymogram の周波数分析により、肺呼吸運動、心および大血管、肺血管拍動を個別に分離定量することによって肺機能検査を試みた。正常例および病的例での計測においては、それぞれ形の異なった出線が得られ有意の差が認められた。

御助言を戴いた本学順応医学研究施設生理部門主任 上田五雨教授に謝意を表す。

文 献

- ①Barnhard, H. J., Pierce, J. A., Joyce, J. W., and Bates, J. H.: *Am. J. Med.*, **28**: 51, 1951
- ②星野文彦, 上村和夫, 山口昂一: 日本医放会誌, **23**: 1208, 1964
- ③星野文彦, 上村和夫, 山口昂一: 日本医放会誌, **23**: 1219, 1964
- ④Hynn, H. H.: *J. Nuclear Med.*, **6**: 366, 1965
- ⑤Luisada, A. A., and Fleischner, F. G.: *Proc. Soc. Exper. Biol. & Med.*, **72**: 155, 1949
- ⑥Luisada, A. A., Fleischner, F. G., and Rappaport, M. B.: *Am. Heart J.*, **35**: 336, 1948
- ⑦溝上長男: 信州医誌, **12**: 430, 1963
- ⑧溝上長男: 日内会誌, **52**: 1072, 1963
- ⑨溝上登一: 信州医誌, **15**: 503, 1966
- ⑩Marchal, M., and Marchal, M. T.: *Xth Int. Cong. Radiol., München*, P548, 1959
- ⑪三浦孝文: 日本医放会誌, **22**: 250, 1962
- ⑫Nordenström, B.: *Acta Radiol., Suppl.* 108, 1954
- ⑬Steiner, R., Laws, J. W., Gilbert, J., and McDonell, M. J.: *J. A. M. A.*, **181**: 884, 1962
- ⑭Stumpf, P.: *Fortschr. Röntgenstr.*, **38**: 1054, 1928
- ⑮鈴木邦彦: 日本医放会誌, **20**: 314, 1960
- ⑯戸塚忠政, 溝上長男: 臨放, **7**: 642, 1962
- ⑰滝沢正臣, 梅垣洋一郎: 日本医放会誌, **25**: 169, 1965
- ⑱滝沢正臣, 梅垣洋一郎: 日本医放会誌, **26**: 1277, 1967
- ⑲梅垣洋一郎, 丸山清, 坂本良雄, 松沢大樹, 中西文子, 藤森仁行, 滝沢正臣: 臨放, **7**: 275, 1962
- ⑳梅垣洋一郎: 医用電子と生体工学, **2**: 36, 1964
- ㉑梅垣洋一郎: 最新医学, **22**: 4, 1967
- ㉒若林勲, 藤森仁行: 脳波分析とその応用, 医学書院, 東京, 1957
- ㉓渡辺長盛: 日本医放会誌, **22**: 237, 1962
- ㉔Wegelius, C., and Berggardh, J.: *Prog. in Radiol.*, vol. 1, *Excerpta Med.*, p56, 1967
- ㉕West, J. B., and Dollery, C. T.: *J. Appl. Physiol.*, **15**: 405, 1960
- ㉖West, J. B., Dollery, C. T., and Naimark, A. M.: *J. Appl. Physiol.*, **19**: 713, 1964