HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	換気力学の立場からみた肺結核：特に長期療養者の合併肺気腫について
Author(s)	小野寺, 壮吉
Citation	結核の研究, 23-24, 63-69
Issue Date	1966-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/26767
Type	departmental bulletin paper
File Information	23_24_P63-69.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

換気力学の立場からみた肺結核

——特に長期療養者の合併肺気腫について——

小野寺壮吉

（北海道大学医学部内科学第一講座　主任　山田豊治教授）

換気力学的検査について

肺・胸郭という一つの力学系において，運動を容積の変化として表わす場合，力の変化は圧の変化として表現するのが妥当である。呼吸筋の運動により胸郭に加えられた力（即ち圧）に対しては，胸郭内に同じ大きさで反対の方向をもつ圧を生ずる。換気力学的検査法に入るには，先ず，静的状態の肺・胸郭のの力即ち圧の均衡を理解し，ついで呼吸運動中の，これらの圧の連続的変化に伴なう容量変動の速さ，即ち気流量を知る必要がある。肺及び胸郭の疾患においては，これらの圧・肺容量・気流の関係が変ってくる。換気力学に関する基本的研究，綜説[1-19]は数多いが以下簡単にその大要に触れる。

1．肺・胸郭の弾性抵抗と粘性抵抗

図1の左半分は，各肺容量において，肺・胸郭を構成する組織の弾性圧を示す。肺は絶えず縮小しようとし，胸郭は予備吸気量の中頃迄は常に拡大しようとして，呼吸筋の運動に逆らいあるいはこれをたすける。これら2つの力が平衡に達し，呼吸筋が何も仕事をしていない状態が安静呼気終末である。呼吸筋の運動により，胸郭に力即ち圧がかかると肺容量は変動し，肺及び胸郭の弾性圧は新しい平衡に達して静止し，この時の弾性圧変化に対する容量の変動の関係を compliance (ℓ/cmH_2O) と呼び，組織の伸展性を表わす。肺の弾性圧だけについてみれば，肺の compliance を，同様に肺と胸郭の compliance や胸郭だけの compliance を得ることが出来る。

呼吸運動中には，静止時にはみられなかった新しい圧が内部に生じ，加えられた外力に抵抗する（図1右半分）。即ち，

1) 気流に対する抵抗（気道抵抗）
2) 組織の粘性抵抗
3) 組織及びガスの慣性抵抗

である。これらをまとめて粘性抵抗と呼び，肺・胸郭の運動と反対の方向をもつ。図上，吸気時には内側に，呼気時には外側に向かう力である。こうして，呼吸運動中には，弾性抵抗と共に粘性抵抗が動きに抵抗する。このうち慣性抵抗は無視してもよいので，肺の粘性圧については，組織の粘性抵抗と気流抵抗にうちかつ圧を考えればよい。この粘性圧の変化と気流量の関係を粘性抵抗 ($cmH_2O/\ell/sec$) という。肺粘性抵抗についていえば，その80%は気道抵抗である。図2に自発呼吸中の力（圧）

図1　肺容量の変動に伴う力（圧）の働き

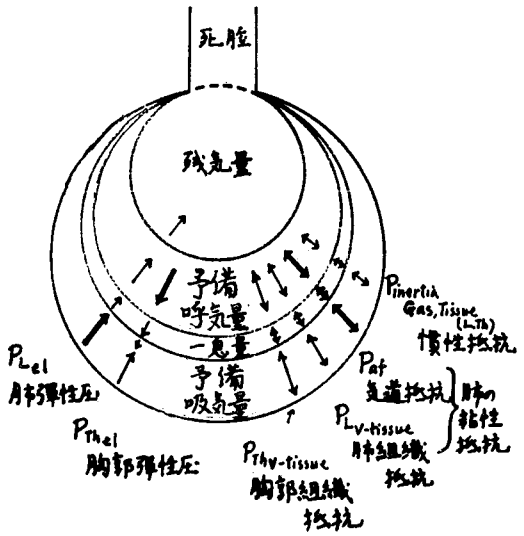
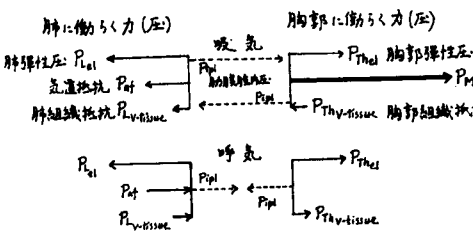


図2　自発呼吸中の力（圧）の相互関係



（Miller et al）

の相互関係を示した。

2. Compliance 及び粘性抵抗測定の基本的な考え方

図 3　　呼 吸 の 仕 事

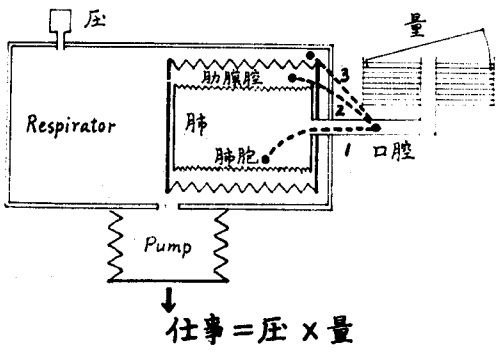


図3の様に body respirator 中に呼吸筋の弛緩した人（麻酔，ポリオ患者）をいれ，ポンプを往復すると，呼吸運動に伴ない，3つの圧差を得る。表1にこれらの圧差及び関連する測定項目をあげた。肋膜腔内圧は，直接測定の替わりに食道内 balloon 法を用いている。また，気流のない状態（呼吸静止時）の口腔内圧は肺胞内圧と

表 1　　圧差と測定項目

圧　差	気流のない状態で肺容量変化に応じて	呼吸運動中に気流量に関して
1. Transairway pressure		気道抵抗
2. Transpulmonary pressure	肺 Compliance	肺粘性抵抗*（組織＋気道）
3. Transthoracic pressure	肺＋胸郭 Compliance	肺＋胸郭粘性抵抗*

（* 弾性圧を引いた残りの圧）

等しくなることを前提としている。この transthoracic pressure から transpulmonary pressure を差し引いたものが，胸郭のみの弾性抵抗にうちかつ圧である。種々な肺容量でのこれらの圧差をプロットして得たものが静圧量図であり，安静呼吸の範囲内では直線と考えてよく，静 compliance を表わす（図4）。

安静呼吸時の吸気の終り（気流0）の肺容量の変動と transpulmonary pressure の変化の関係を動肺 compliance という。正常人ではこれは静肺 compliance とほぼ一致する。肺及び胸郭の compliance の間には表2の様な関係がある。2つを知れば，残りの1つは計算で求めることが出来る。抵抗を測定するときは，先述の様に弾性圧を差し引いた残りの圧を用いるのである。

図 4　　圧　量　図 (RAHN)

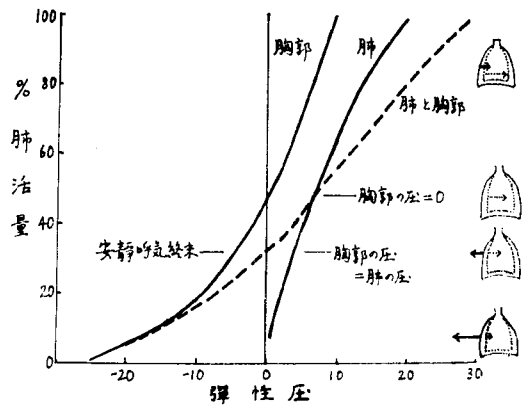


表 2　　Compliance の測定

$$\text{肺 Compliance} = \frac{\text{量の変化}}{\text{Transpulmonary pressure の変化}}$$

$$\text{総 Compliance（胸郭＋肺）} = \frac{\text{量の変化}}{\text{Transthoracic pressure の変化}}$$

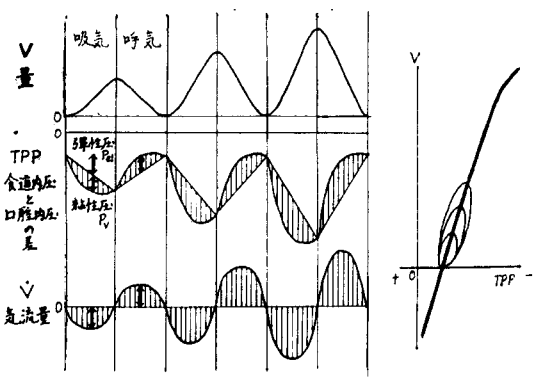
$$\frac{1}{\text{総 Compliance}} = \frac{1}{\text{肺 Compliance}} + \frac{1}{\text{胸郭 Compliance}}$$

$$0.1 \qquad 0.2 \qquad 0.2\ \ell/\text{cm}H_2O$$

3. 動肺 Compliance 及び肺粘性抵抗測定の実際

通常求めるのは動肺 compliance と肺粘性抵抗である。transpulmonary pressure，気流曲線，一息量曲線を同時記録する（図5）。吸気の終り，肺の静止した瞬間の圧の変化に対する容量の変動が動肺 compliance（正常は0.2 $\ell/\text{cm}H_2O$）である。1つの呼吸周期の間の容量と圧の変動をY軸，X軸についてプロットすると，1つの長楕円が画かれ，この長軸の傾斜は動肺 compliance を表わし，

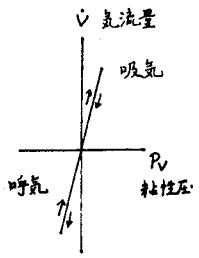
図 5　　動肺 Compliance 及び肺粘性抵抗の測定　　圧量図（静的並びに動的）



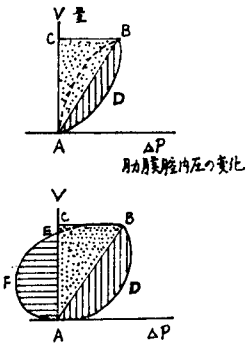
多少容量が変ってもよく静肺 compliance と一致する。またこれをブラウン管上に画かせ写真をとることが出来る。

肺は純粋な弾性体ではないので，transpulmonary pressure は一息量曲線に比例しては変化せず，実際は吸気時により陰圧を，呼気時にはより陽圧を示す。この弾性圧を示す線（便宜上気流0の点を直線で結ぶ）と実際の transpulmonary pressure との差が，肺の粘性抵抗をのりきるための圧である。今この刻々の粘性圧の気流量に対する関係を図（図6）に示すと，圧気流図を画くことができる。これは正常人では安静呼吸時ほぼ直線になり，

図6　圧気流図



呼吸の仕事
（肺を動かすための）



この傾斜が夫々吸気と呼気の肺粘性抵抗を表わす。正常値は 1.0～3.0 $cmH_2O/\ell/sec$ であり，その80％が気道抵抗とされている。表3に肺 compliance と肺粘性抵抗をとりまとめた。

表3　肺 Compliance と肺粘性抵抗

	定義	測定項目	測定条件
肺 Compliance ℓ/cmH_2O	単位の圧(TPP)変化によって生じた肺容量の変化	圧と量	静
肺粘性抵抗 $cmH_2O/\ell/sec$	単位の気流量変化に必要な圧差(Pv)	圧と気流量	動

正常値　C：0.2 ℓ/cmH_2O
R：1.0～3.0 $cmH_2O/\ell/sec$

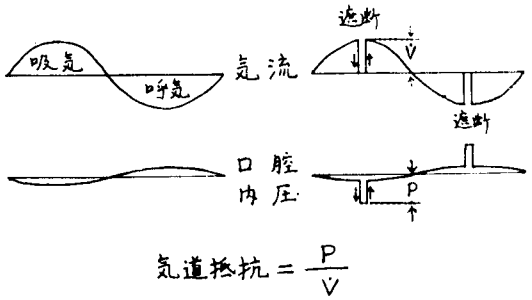
4. 呼吸の仕事

図3の様に，body respirator 中で呼吸をコントロールされている時，呼吸の仕事＝圧×量であり容易に測定できる。肺だけを動かすための仕事量は圧量図から求められる(図6)。ADBC で囲まれた部分が仕事量を表わす。縦縞の部分は吸気時肺の粘性抵抗に打ちかつための仕事量である。呼気に際しては，肺の縮小は通常肺のもつ弾性により行われるので，この間呼吸筋は何の仕事も要しない。同図右下の図で横縞の部分は，肺気腫などでは呼気に際してもなされなければならぬ仕事のあることを示す。

5. 気道抵抗の測定法

気道抵抗だけの求め方には，気流遮断法と body plethysmograph を用いる方法がある。前者は，安静呼吸時一瞬気流を遮断すると，その瞬間肺胞圧は口腔内圧と等しくなる筈であるということを利用したものである（図7）。この方法で得られた値には尚議論があり，正確な気道抵抗は body plethysmopraph 法によらねばならない。

図7　気道抵抗（気流遮断法）



$$気道抵抗 = \frac{P}{\dot{V}}$$

6. 換気力学的障碍の諸因子並びにそれに該当する各種疾患

各種の因子並びに相当する疾患をあげる。

呼吸筋の弱体化
- 筋肉量の一次的喪失（皮膚筋炎）
- 筋収縮力低下（筋ディストロフィー）
- 筋・神経接合部の疾病（筋無力症）
- 神経疾患（脊髄前角炎）

胸郭構造と弾性の障碍
- 胸郭可動性の制限（脊椎側弯後弯症）
- 胸郭支持組織の局所的損耗（胸郭成形術）
- 胸郭外からの圧迫（腹水）

肋膜腔の疾患
- 気胸，胸水
- 肋膜伸展性の減少（肋膜肥厚）

肺内の力学的性質の変化
- 肺の一部の機能廃絶（無気肺，結核，切除）
- 気道並びに組織抵抗増大（気管支喘息，肺水腫）
- 肺弾性減少（肺気腫）
- 伸展性の減少（肺線維症）
- 不均等換気分布（肺気腫）

7. 簡単な肺機能検査から換気力学的変化の推測

1) Spirogram

a) 吸気と呼気の時間：正常では呼気時間は吸気時間の1.2倍である。呼気延長のある時は，閉塞性変化（気道抵抗増加）または肺弾性の低下を疑う。

b) Air trapping：この時まず考えなければならないのは肺気腫であるが，肺胞の過伸展や気道抵抗増加を疑う。

c) 二段肺活量：これが一段肺活量より多い時は，何等かの換気力学的変化のあることを知るべきである。

d) 1秒率：正常値を得ても，強制呼気量全体が減少している線維症などでは評価に注意を要する。

2) 最大換気量

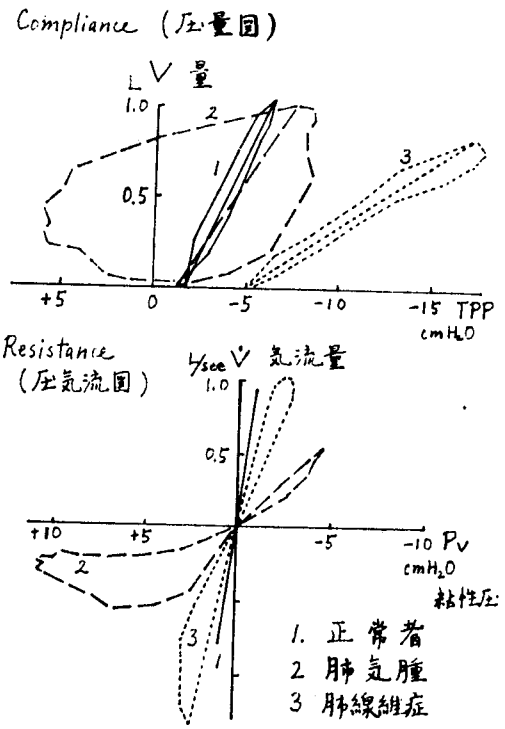
検査中に呼気レベルが上がる様な場合，閉塞性の変化が疑われる。

3) 残気量の増加

呼気気道抵抗の増加，肺の弾性低下，筋力の低下，胸郭運動の制限を考える。

要するに肺機能のスクリーニングテストともいうべきspirogram 検査時，換気力学的な観方を忘れないことが第一歩である。

図 8



肺気腫及び肺線維症の動肺 compliance と肺粘性抵抗

ここで，正常者，肺気腫，肺線維症例の圧量図，圧気流図をあげると，図8の様に肺気腫例の呼気抵抗の著るしい増大，呼気時仕事量の増加が理解できる。

	Compliance ℓ/cmH₂O	吸気抵抗 cmH₂O/ℓ/sec	呼気抵抗 cmH₂O/ℓ/sec
正常者	0.21	1.0	1.2
肺気腫	0.15	9.6	38.8
肺線維症	0.065	2.4	3.3

肺結核症例の動肺 compliance と肺粘性抵抗

肺結核症例の圧量図，圧気流図をあげる。

図9，32才女。右 S_6 切除後4ケ月。動肺 compliance はやや低下，抵抗はやや増。

図 9

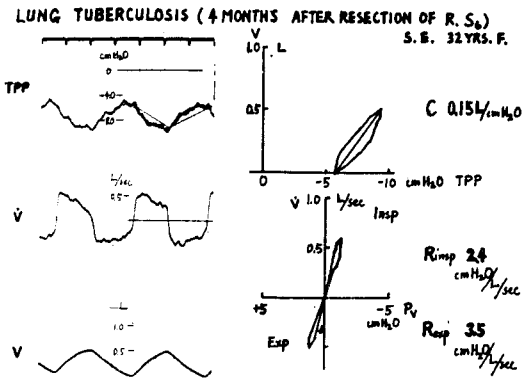
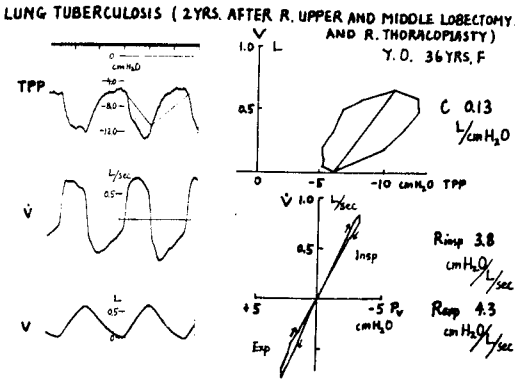


図10，36才女。右上中葉切除後2年，胸郭成形。胸郭の弾性低下，肋膜の癒着，残存肺の過膨張，機能的残

図10



気量の減少等の結果，動肺 compliance の低下，抵抗の

やや増加となつて表われた。

図11，20才男。孤立性小病巣をもつ例では，他の肺機能と同様，換気力学的検査でも変化はない。

図11

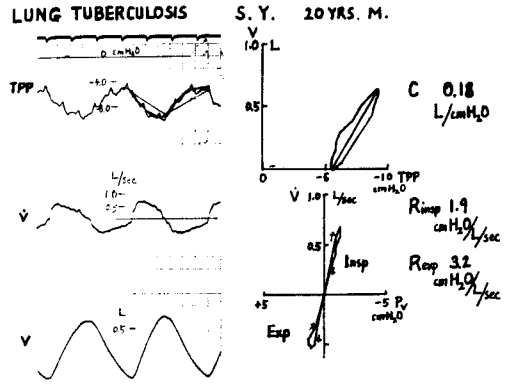


図12，30才男。左肺上野の結核。動肺 compliance，抵抗に若干の変化を来している。

図12

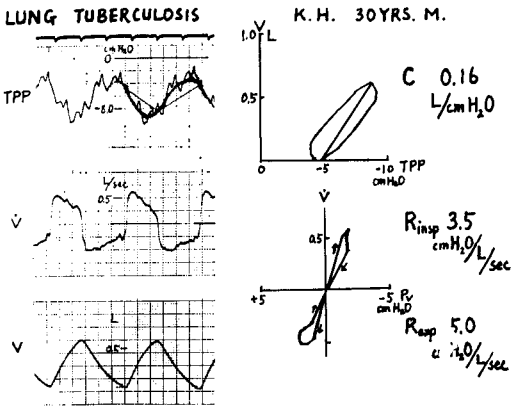


図13

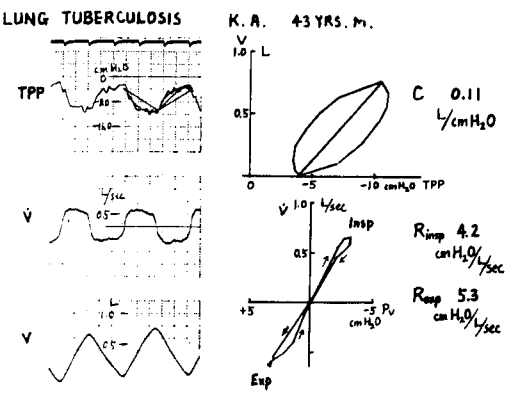


図13，43才男。十数年間に数回入院を繰返している患者で，続発性線維症による変化が主であると解される。

図14，54才男。続発性肺線維症に閉塞性障碍の加わって来た例と思われる。

図15，37才男。閉塞性変化が前面に押し出されて，肺気腫様変化を示し，呼気ことに後半の抵抗の増加，また呼吸の仕事量の増大が窺われる。

図14

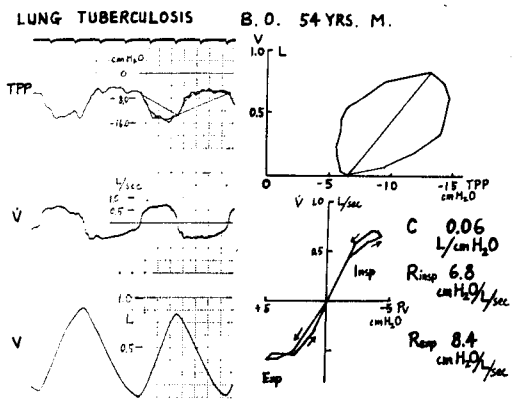
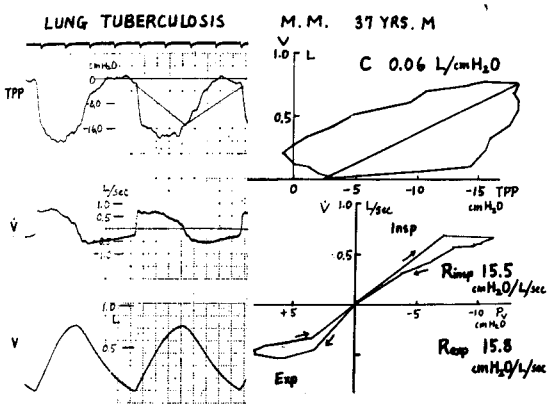


図15



考　　按

肺結核では，小病巣のみを有する例は，他の孤立性肺疾患と同様，肺機能に大きな変化をみないことは，容易に理解される。換気力学的検査においても同様である。病巣の拡大に伴ない，機能的残気量の減少，浸潤による組織弾性の低下，肋膜癒着にもとずく運動制限等が，肺及び胸郭の機械的性質に変化を与えるが，治癒過程をたどるうちに，病巣及び周辺の線維化が進み，部分的線維症

が肺の弾性の低下，伸展性の減少を促がし，肺 compliance は減少し，肺粘性抵抗は増加する。手術後には，肋膜肼胝形成並びに胸郭の運動制限が加わり，主として拘束性の変化，即ち線維症様の変化を来たす。処が，これらの中には最後の症例の様に，肺気腫様の呼気抵抗増加を示すものがあり，spirometry では閉塞性変化を示し，しかも年を追って進行している。この様に長期療養者の中には，肺結核治癒に伴なって肺気腫様の閉塞性換気障碍を示す例が増して来つつある。

Martin 等[20]は710例の継続療養者のうち34%に閉塞性変化を認め，Hallet 等[21]も気道閉塞性変化は far advanced の患者に多く，しかもそれは病巣の拡がりから予想される率をこえていると述べている。Martin 等[23]はまた難治結核の45例中91%に閉塞性の肺機能所見を認めている。Vargha 等[23]は，閉塞性障碍を示す例は，1年以上空洞の閉鎖しない例に多く，これは空洞からの分泌物が気道を刺激して慢性気管支炎症状を呈し，その結果次第に肺気腫様症状を表わす様になり，そして，このことが逆に空洞の閉鎖を妨げるものと推論している。閉塞性の所見がすべて肺気腫につながるものでないにしても，結核患者の予後に関して大きな問題を提起するものである。更に Lancaster 等[24]は，386例の患者の中58.6%に閉塞性換気障碍を認め，その程度は肺結核の症状並びに罹患期間に関係すると述べている。わが国でも横尾[25]，中村[26]，長石等[27]は肺結核の合併肺気腫について論じている。最近 Katz 等[28]は New York 州の upstate での調査から，近年の抗結核剤の発達と共に，肺結核の死亡率が減少し，一方肺気腫による死亡率が増加して来たことに注目している。肺気腫による死亡率は1949年迄殆んど不変で，1952年頃から急激に増加して来たが，丁度現在の抗結核剤の併用療法が普及し始めた時期と一致する。この頃から結核の死亡率は逐年減少して来た。1961年度，死亡主因が肺結核の場合は13.5%に肺気腫を合併したが，1945年には1.2%であった。1951年と1961年の死亡率を比較すると，全呼吸器疾患ではこの間50%増加しているのに，肺気腫を死亡主因とするものは6倍に増加し，しかも結核の合併率は0から4.9%に急増した。化学療法の発展により，肺結核患者は肺実質の破壊後，肺気腫が発達する迄生存できる様になったため，肺気腫による死亡率が上昇し，両者の合併率も増加したものとしている。

上記の様に，難治結核患者の延命，化学療法による治癒患者の増加は，将来，呼吸不全，肺性心という経路をたどるものの増加を予測させ，肺結核患者及び治癒者の管理上常に心を致すべき問題である。

結　　語

肺・胸郭の力学的検査について，その基本的な考え方及び検査の実際について簡単に述べ，肺の機械的性質の変化を来す代表的疾患の圧量図及び圧気流図を挙げ，動肺 compliance 及び肺粘性抵抗の値を示した。

肺結核については，種々な症例の圧量図，圧気流図を示し，動肺 compliance，肺粘性抵抗の実測値を記した。

肺結核の場合，病巣の拡がり，肋膜の癒着，また線維症の程度に従い，種々な程度に肺 compliance の減少，肺粘性抵抗の増加を示すが，長期療養者の中には，肺結核病変は改善乃至は治癒しても，合併肺気腫を漸次強くする例がみられ，肺粘性抵抗が更に増加し，閉塞性障碍を示す例がある。かかる例の増加は，長期療養肺結核患者の管理上重大な問題となろう。

本論文は日本結核病学会北海道地方会，第11回結核談話会講演の要旨である。

稿を終えるにあたり，恩師山田豊治教授の御校閲を深謝する。

尚又，今回の機会を与えて下さった日本結核病学会北海道地方会々長 高橋養夫教授，座長 長浜文雄助教授に深謝する。

文　　献

1) Neergaard, v. K.,und Wirz, K.: Z. Klin. Med. **105**, 35, 1927.
2) Neergaard, v. K., und Wirz, : Z. Klin. Med. **105**, 51, 1927.
3) Rahn, H., Otis, A. B., Chadwick, L. E., and Fenn, W. O.: Am. J. Physiol. **146**, 161, 1946.
4) Otis, A. B., Fenn, W. O., and Rahn, H. : J. Appl. Physiol. **2**, 592, 1950.
5) Fenn, W. O. : Am. J. Med. **10**, 77, 1951.
6) Mead, J., and Whittenberger, J. L. : J. Appl. physiol. **5**, 779, 1953.
7) McIlroy, M. D., Marshall, R., and Christie, R. V. : Clin. Sci. **13**, 127, 1954.
8) Bartlett, R. G. Jr., Brubach, H. F., Trimble, R. C., and Specht, H. : J. Appl. Physiol. **14**, 89, 1959.
9) Attinger, E. O., and Segal, M. S. : Am. Rev. Resp. Dis. **80**, 381, 1959.

10) Fry, D. L., and Hyatt, R. E.: Am. J. Med. **29**, 672, 1960.
11) Mead, J. : Physiol. Rev. **41**, 281, 1961.
12) Miller, W. F., Johnson, R. L. Jr., and Cushing, I. E. : Clinical cardiopulmonary physiology. Second Edition. p. 568, Grune & Stratton, New York & London, 1960.
13) Comroe, J. H. Jr., Forster, R. E.II., Du Bois, A. B., Briscoe, W. A., and Carlsen, E : The lung. Year Book Medical Publischers, Inc., Chicago. 1963.
14) 中村隆・滝島任： 肺機能とその臨床，文光堂，東京，1960.
15) 横山哲郎： 医学の動向，**28**，金原出版社，東京，1961.
16) 滝島 任： 呼吸と循環，**11**，945，1963.
17) 関原敏郎・松浦健雄： 呼吸と循環，**12**，113，1964.
18) 大和庸次： 呼吸と循環，**12**，191，1964.
19) 外村舜治・一之沢昭夫・山林 一・藤本淳： 呼吸と循環，**12**，743，1964.
20) Martin, C. J., and Hallet, W. Y. : Ann. Int. Med. **54**, 1156, 1961.
21) Hallet, W. Y., and Martin, C. J. : Ann. Int. Med. **54**, 1146, 1961.
22) Martin, C. G., and Hallet, W. Y. : Am. Rev. Resp. Dis. **86**, 898, 1962.
23) Vargha, G., and Bruckner, P. : Ibid, **89**, 830, 1964.
24) Lancaster, J. F., and Tomashefski, J. F.: Am. Rev. Resp. Dis. **87**, 435, 1963.
25) 横尾正秀： 長崎医学会雑誌，**34**，1438，1959.
26) 中村 隆： 結核，**37**，363，1962.
27) 長石忠三・佐川弥之助・久野健志・田中歳郎： 肺疾患研究の進歩，**36**，45，1964.
28) Katz, J., and Kunofsky, S. : Am. Rev. Resp. Dis. **89**, 673, 1964.