

# 粘性抵抗負荷の換気力学的研究

——呼吸タイプの変化に関する一考察——

京都大学結核胸部疾患研究所胸部外科学部（指導：教授 長石忠三・講師 佐川弥之助）

土 肥 佳 郎

## 〔目 次〕

緒 言

第1章 検査対象および検査方法

第1節 検査対象および検査項目

第2節 検査方法および装置

第2章 検査成績

第1節 粘性抵抗負荷にともなう各値の変動

第2節 換気数の増加にともなう各値の変動

第3節 運動負荷にともなう各値の変動

第3章 総括ならびに考按

結 語

## 緒 言

スプリングの両端を持ち左右に引っばると伸びて、形が変わる。変形である。すなわち、伸びとか伸長とかいわれる変形である。つぎに引っばっている手を離すと、もとに戻る。回復である。この、もとにかえる性質を弾性という。

このスプリングをもっと強い力で引っばるとズルズルと伸びてしまつて、離しても、もとの長さにかえられない。このもとにかえられない部分は大体永久にそのままの形であるので、永久変形という。この永久変形は、強く力が加わつたために、針金を構成している原子の相互関係が変つてしまつたことを示している。しかし、この様な変形は実は、流動というべきものである。なぜならば、水や油の様な液体でも酸素のような気体でも、その構成要素粒子の相互関係、位置が外力によって変化していくことを、われわれは流動とよんでいるからである。故に、永久変形を生じたということは、その生ず

る過程において“流動”がおこっていることを意味している。

逆に、流体が、ふつうの固体と同様に弾性を示すことがある。自転車のタイヤに空気を入れるポンプを押していると、まるで中にスプリングが入っているのではないかといった錯覚にとられることがある。これは、急激に圧縮した空気の弾性にほかならない。

このように固体が流動し、流体が弾性変形をすることをあわせ考えるなら、あらゆる物体は弾性変形もすれば、流動変形もするということがわかる。ここで流動の性質をあらわす「粘性」を「弾性」の対句としてとり上げるならば、物体はすべて弾性と粘性とを有しているということになる。換言すれば、あらゆる物体は粘弾性体であるということができる。

そして、これらの関係とその適用とを研究する、粘弾性の理論は、1929年 E.C. Bingham によりレオロジーと名づけられて以来、殊に高分子化学の研究分野において大いなる発展をとげてきた<sup>12)</sup>。

ところで、あらゆる高分子物質と同様に、肺も粘性と弾性とを兼ねそなえた一つの粘弾性体であり、肺の機能を研究するにあたって、粘弾性の理論が問題となるのは当然のことである。

近年、物性論ならびに方法論としてのレオロジーが、肺の幾多の機能のうち、換気機能の研究にも適用され<sup>16)</sup>、肺の換気力学として発展し、換気機能の理論的ならびに臨床的評価に大きな役割を果してきた。このことに疑をはさむもの

はない。

さて、呼吸運動に際して、肺は二つの仕事をすると考えられる。すなわち、呼吸仕事と呼ばれるものは、これをレオロジーの立場から弾性仕事と粘性仕事とに分けることができる。実際上は、呼吸運動に際して、生理的または病的に存在する弾性抵抗及び粘性抵抗のうち勝つたためになされる仕事が、それぞれ弾性仕事、粘性仕事と定義づけられている<sup>1)</sup>。

ところで、肺疾患患者に一定の呼吸抵抗を負荷して、将来予測される弾性抵抗および粘性抵抗の、換気機能におよぼす影響がいかなる形で出現するかを知っておくことは、あらたに加った呼吸抵抗を発見し、それに対処するにあたって必要なことである。

このような呼吸抵抗負荷時の換気力学的研究としてはすでに、E. J. M. Campbell ら<sup>2)</sup> の、弾性抵抗を負荷し、これによる呼吸仕事量の変化をみることにより、負荷された弾性抵抗に対する知覚の域値に関する報告がある。

そこで著者は、粘性抵抗の負荷が呼吸仕事量のうち肺粘性仕事量におよぼす影響をみるとともに、このような抵抗負荷時に、呼吸タイプに

いかなる変化をきたすかを検討し、若干の知見を得たので、ここに報告する次第である。

### 第1章 検査対象および検査方法

#### 第1節 検査対象および検査項目

任意に選んだ肺結核患者8名につき、以下に述べる方法及び装置により、次にあげる各項目につき測定をおこなった。すなわち、

- 1) 1回換気量 (L)
- 2) 分時換気量 (L)
- 3) 1回換気肺粘性仕事量 (kg cm)
- 4) 分時換気肺粘性仕事量 (kg cm)
- 5) 換気1 L 当り肺粘性仕事量 (kgcm/L)

なお、被検者の肺活量、%肺活量、及び1秒率は、表1に記載した通りである。

#### 第2節 検査方法および装置

被検者に坐位をとらせ、鼻孔より食道内圧測定用バルーンを挿入し、これを食道内圧計に連結するとともに、ベネデクト・ロス型呼吸計を用いて、食道内圧曲線と換気曲線とを同時に記録した。

この記録は、安静呼吸時、階段昇降試験直後、3分後、10分後とメトロノームを用いて換気数を10、20、30および40に規定したそれぞれの場合についておこな

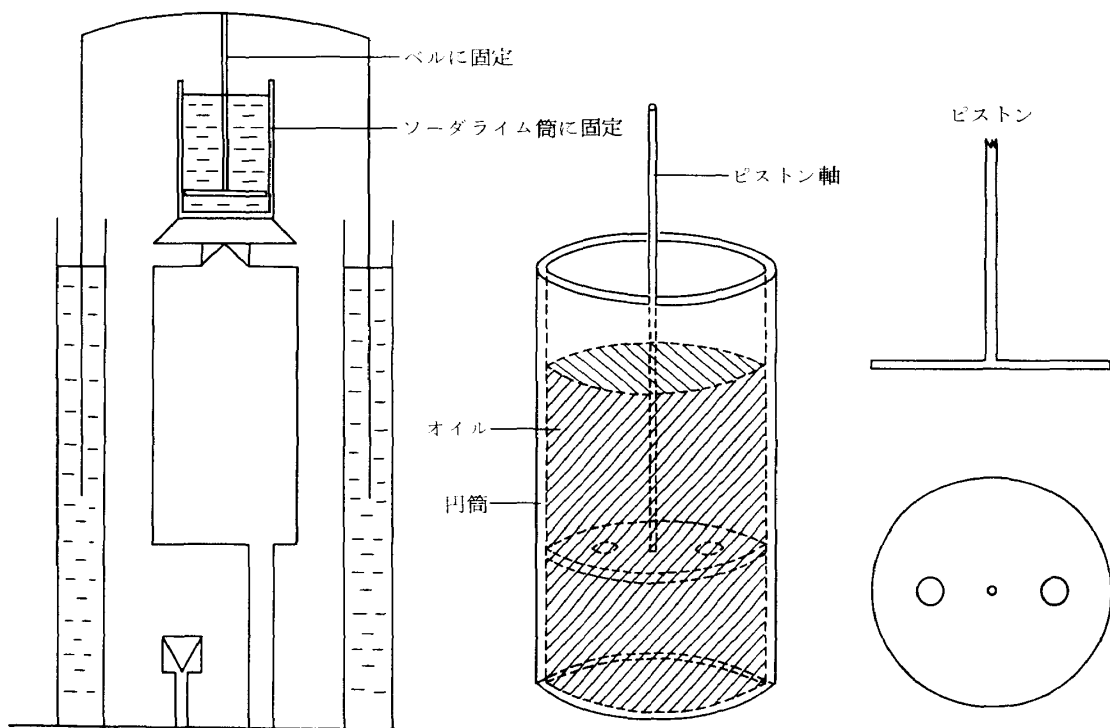


図1 ベネデクトロス型呼吸計内部にとりつけた粘性抵抗

表 1

	年 令	肺活量 (L)	肺活量 (%)	1 秒率
田 ○	26	4.7	109	89
三 ○	52	3.9	101	51
町 ○	30	4.0	96	84
由 ○	58	3.1	90	86
山 ○	43	3.2	82	70
中 ○	65	2.6	78	62
坂 ○	24	4.3	103	88
清 ○	47	2.2	59	41

った。

また、図 1 に示すように呼吸計内部に、できるだけ死腔の変化をきたさぬように考案した粘性抵抗をつけた場合についても、同様の記録をおこなった。

一般に肺粘性仕事量は、換気量を縦軸にとり、食道内圧（胸腔内圧は食道内圧にほぼ等しいとされるので、食道内圧をもって代用される<sup>4,10)</sup>）を横軸にとって、呼吸 1 サイクル中の各時点における換気量と食道内圧(安静呼吸位を原点として測定した相対値) とをプロットして描いた、いわゆる圧量図の面積(註 1)で表わされる。

圧量図の描き方に、XY 軸型ブラウン管オシログラフを用いる方法と、単なる作図法とがあるが、著者は、後者によって得られた圧量図の面積をプランメーターにより測定して、1 回換気肺粘性仕事量を求めた。

また、1 回換気量は換気曲線より求めた。

さらに、分時換気量および分時換気肺粘性仕事量は、1 回換気量および 1 回換気肺粘性仕事量にそれぞれ換気数を乗じて求めた。

換気 I L 当り肺粘性仕事量は、1 回換気肺粘性仕事量を 1 回換気量により除して求めた。

なお、呼吸計としてはアイカ 9 L ベネヂクト・ロス型レスピロメーターを、食道内圧計および記録計としては、日本光電社製エレクトロマンオメーター MP-3A および N.V. Godart 社製 Multi Channel Recorder を用いた。

(註 1)

圧量図の面積の単位は、L·cm H<sub>2</sub>O である。

ここに 1 L=1000cm<sup>3</sup>, 1cmH<sub>2</sub>O = 1 g/cm<sup>2</sup> であるから、

$$1L \cdot cm H_2O = 1000cm^3 \cdot g/cm^2 = 1kgcm$$

となり、「仕事=力×距り」の概念とよく一致する。

(註 2)

本論文においては、昭和37年4月大阪で開かれた肺機能セミナーにおいて定められた統一用語を採用した。

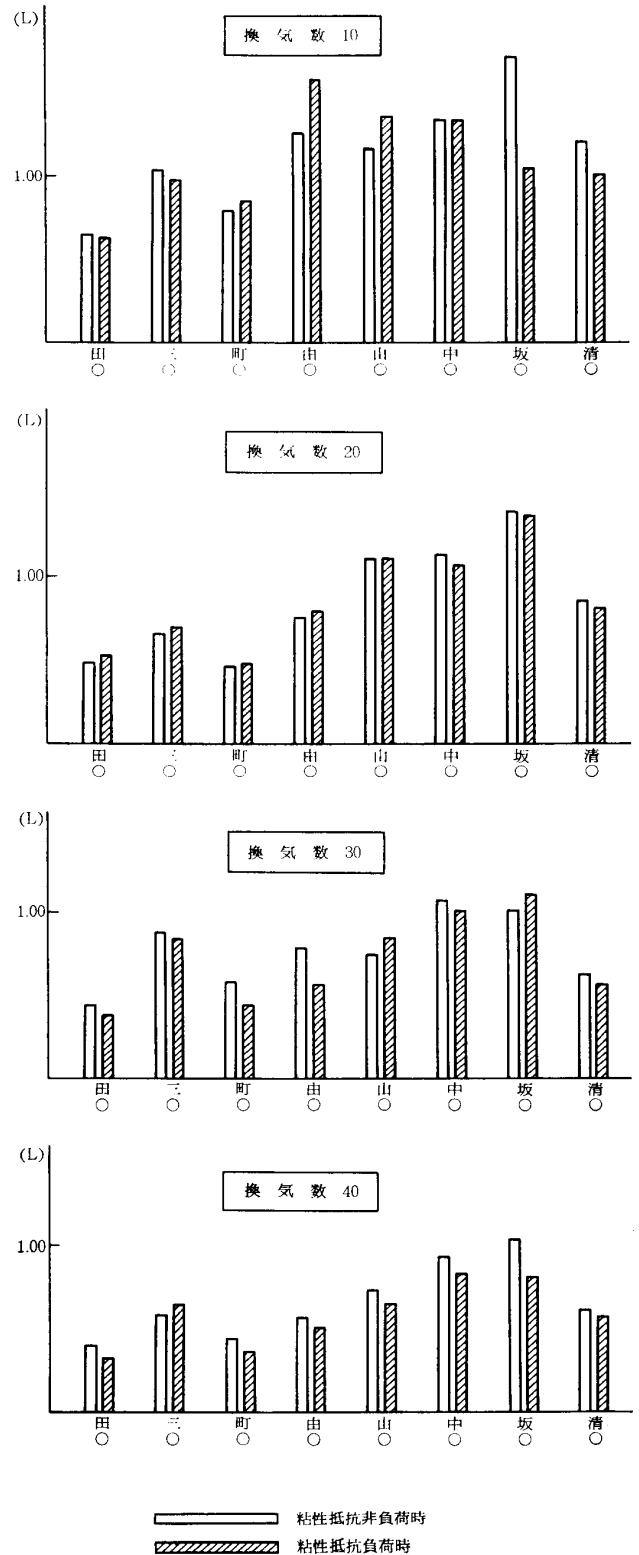


図 2 換気数 10, 20, 30 および 40 の時の粘性抵抗の有無による 1 回換気量の変動

例えば、肺粘性仕事量とは粘性抵抗仕事量のことである。殊に、肺粘性抵抗は従来用いられた気道抵抗と肺組織抵抗とが含まれていることに留意された。

## 第2章 検査成績

### 第1節 粘性抵抗負荷にともなう各値の変動

まず、粘性抵抗の有無による各値の変化について観察した。

#### i) 1回換気量

図2は、1回換気量について粘性抵抗非負荷時と負荷時とを比較したものである。

換気数10の時は、粘性抵抗負荷により1回換気量にかなりの増減をみた例を含め、1回換気量の増加したもの3例、増減のなかったもの1例、減少したもの4例と、それぞれ異った傾向を示している。換気数20の時も、粘性抵抗負荷により1回換気量の増加したもの4例、増減のなかったもの1例、減少したもの3例と、個人によって態度を異にしている。

これに対し、換気数30の時は8例中6例において、また換気数40の時は8例中7例において、粘性抵抗負荷により1回換気量が減少する傾向を認める。

表2は、粘性抵抗負荷による各種換気数における1回換気量の増減率を比較したものであるが、これによれば、安静呼吸時の換気数に近いとみなされる換気数20の時に、全例をつうじて比較的平均した増減率を示すことがわかる。また、換気数30および40の時に比べると、換気数

表2 粘性抵抗負荷による1回換気量の増減率

氏名	換気数10	換気数20	換気数30	換気数40
田 ○	3%減	8%増	14%減	20%減
三 ○	6%減	6%増	14%減	10%増
町 ○	8%増	4%増	10%減	18%減
由 ○	6%増	5%増	28%減	11%減
山 ○	16%増	増減なし	14%増	11%減
中 ○	増減なし	5%減	6%減	27%減
坂 ○	38%減	1%減	10%増	18%減
清 ○	15%減	5%減	7%減	7%減

(註) 3%減とは、粘性抵抗負荷により1回換気量が粘性抵抗非負荷時1回換気量の3%減少したことを示す。

20の時は低い増減率を示している。

#### ii) 1回換気肺粘性仕事量

表3は1回換気肺粘性仕事量について、粘性抵抗非負荷時とを比較したものである。

これによれば、のべ32例中26例において、1回換気量の増減にかかわらず、粘性抵抗負荷により肺粘性仕事量の増大をきたしている。ここに、肺粘性仕事量の減少をきたした4例中3例は、1回換気量も減少している。

粘性抵抗負荷による1回換気肺粘性仕事量の増減率は、同一人においても、また各個人の間にも目立つ傾向は示していない。

#### iii) 換気1L当り肺粘性仕事量

換気1L当り肺粘性仕事量は、換気エネルギーの相対値と考えられる。

これについて粘性抵抗非負荷時と負荷時とを比較すると、表4に示すように、のべ32例中29

表3 粘性抵抗の有無による1回換気肺粘性仕事量 (Kg cm) の変動

		換気数10		換気数20		換気数30		換気数40	
		非負荷時	負荷時	非負荷時	負荷時	非負荷時	負荷時	非負荷時	負荷時
田 ○		0.3	0.7	0.3	0.6	0.9	0.7	0.7	0.9
三 ○		2.3	2.0	2.5	3.3	3.9	5.0	5.2	5.0
町 ○		1.2	1.7	1.7	2.2	1.7	2.0	1.4	1.5
由 ○		2.3	7.0	2.8	4.4	2.9	4.4	2.2	3.3
山 ○		5.5	7.4	7.4	7.4	4.6	6.8	4.6	5.2
中 ○		11.6	12.9	9.3	14.6	8.4	11.6	8.1	11.9
坂 ○		9.1	7.8	8.5	11.6	7.7	12.2	8.0	8.0
清 ○		9.0	11.3	7.3	12.0	5.9	8.0	5.9	9.0

表 4 粘性抵抗の有無による換気当り肺粘性仕事量 (kg cm/L) の変動

		換気数 10		換気数 20		換気数 30		換気数 40	
		非負荷時	負荷時	非負荷時	負荷時	非負荷時	負荷時	非負荷時	負荷時
田	○	0.5	1.1	0.6	1.1	2.0	1.6	1.8	2.9
三	○	2.2	2.0	3.8	4.7	4.4	5.9	8.9	8.1
町	○	1.5	2.0	3.4	3.8	2.9	4.5	3.6	4.2
由	○	1.9	4.5	3.7	5.5	3.7	7.9	3.9	9.6
山	○	4.7	5.5	7.4	7.4	6.8	8.1	6.4	8.1
中	○	8.8	9.8	8.3	13.8	7.9	11.6	8.8	14.5
坂	○	5.4	7.4	8.4	8.5	8.5	8.7	7.6	10.0
清	○	7.5	10.9	8.2	14.5	9.3	13.2	9.8	17.1

例まで粘性抵抗負荷により換気エネルギー価の上昇をきたしている。

この値の粘性抵抗負荷による増減率には、一定の傾向が認められない。

第2節 換気数の増加にともなう各値の変動

つぎに、換気数を増加させていった場合の各値の変化について観察した。

i) 1回換気量ならびに分時換気量

図3および4に示されるように、粘性抵抗非負荷時、負荷時共に換気数の増加にともない、1回換気量は減少するにもかかわらず、分時換

気量は著明に増大している。

ii) 1回換気肺粘性仕事量ならびに分時換気肺粘性仕事量

換気数の変化と1回換気肺粘性仕事量の増減との間に相関関係は認められない。

又、図5は、分時換気肺粘性仕事量と換気数との関係を見たもので、粘性抵抗非負荷時、負荷時ともに換気数を増加させていった場合、ほとんど全例において分時換気肺粘性仕事量の増大をきたすことを示している。

iii) 換気1L当り肺粘性仕事量

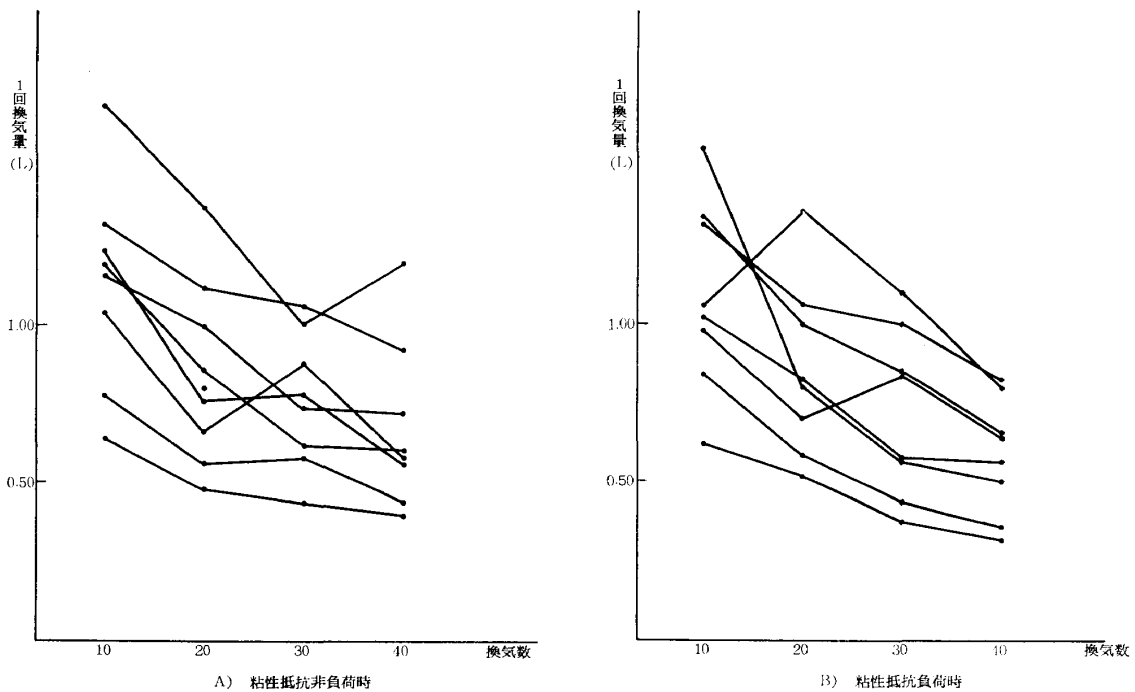


図 3 換気数の増加にともなう1回換気量の変動

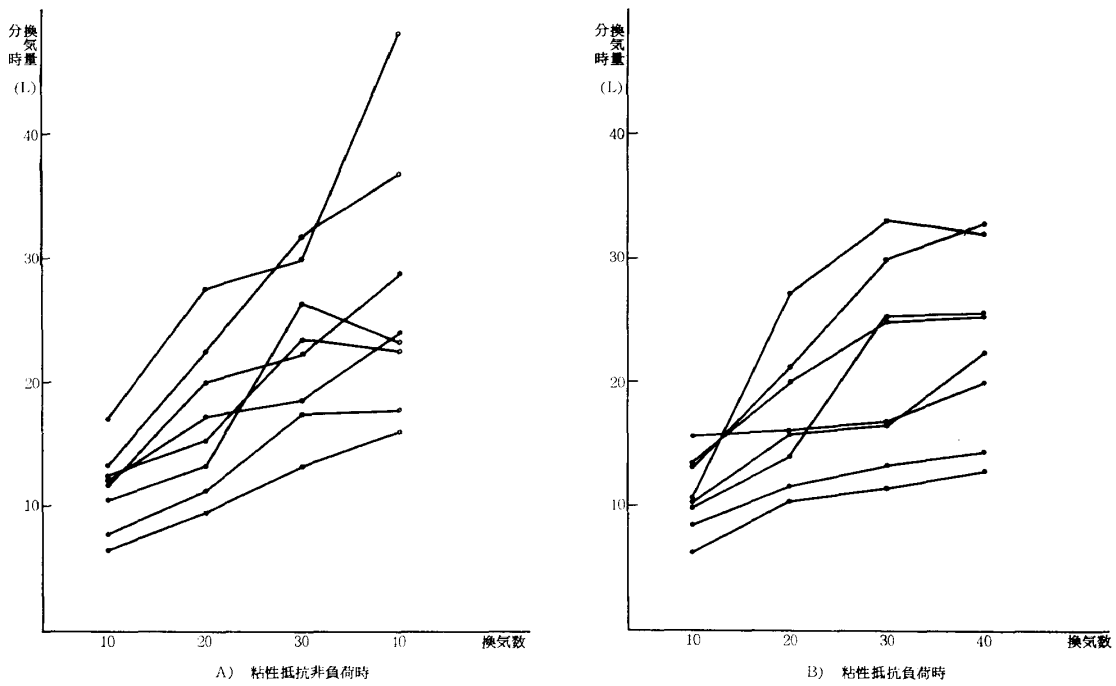


図 4 換気数の増加にともなう分時換気量の変動

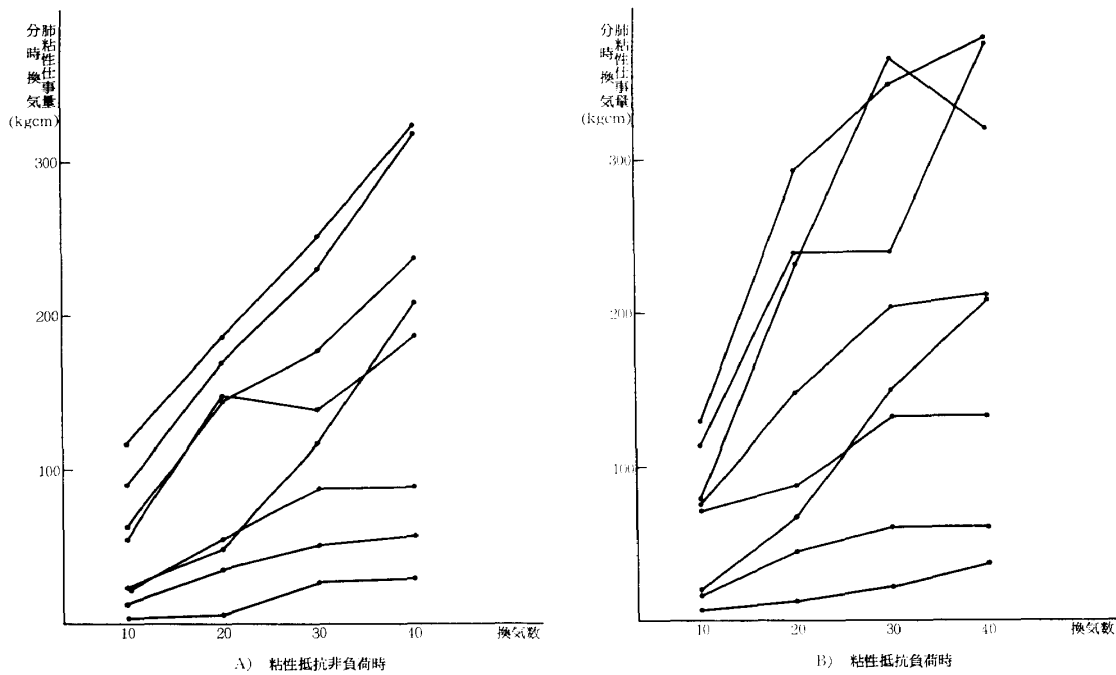


図 5 換気数の増加にともなう分時換気肺粘性仕事量の変動

図 6 は換気 1 L 当り肺粘性仕事量と換気数との関係をみたものである。

換気 1 L 当り肺粘性仕事量は、粘性抵抗非負荷時、負荷時の全例を通じ、1 例を除いて換気

数 10 の時最も低い値をとり、換気数 20 になると増大し、換気数 20 から 40 の間では、増大するもの減少するものなど、各個人により種々の傾向を示している。

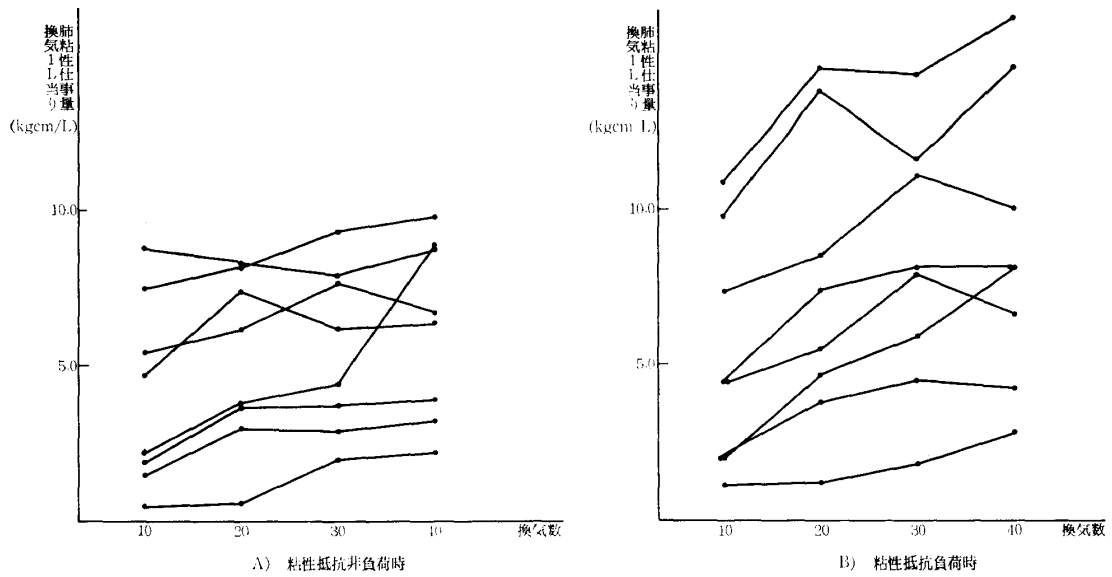


図 6 換気数の増加にともなう換気 1 L 当り肺粘性仕事量の変動

第3節 運動負荷にともなう各値の変動

安静時および、運動負荷として階段昇降試験をおこない、その直後、3分後および10分後における各値の変化について観察した。

i) 1回換気量および分時換気量

図7および8に示されるように、粘性抵抗の

有無にかかわらず運動負荷により、1回換気量および分時換気量は著明な増大をきたし、3分ないし10分後には、安静時の値またはそれ以下にまで減少している。

ii) 1回換気肺粘性仕事量および分時換気肺粘性仕事量

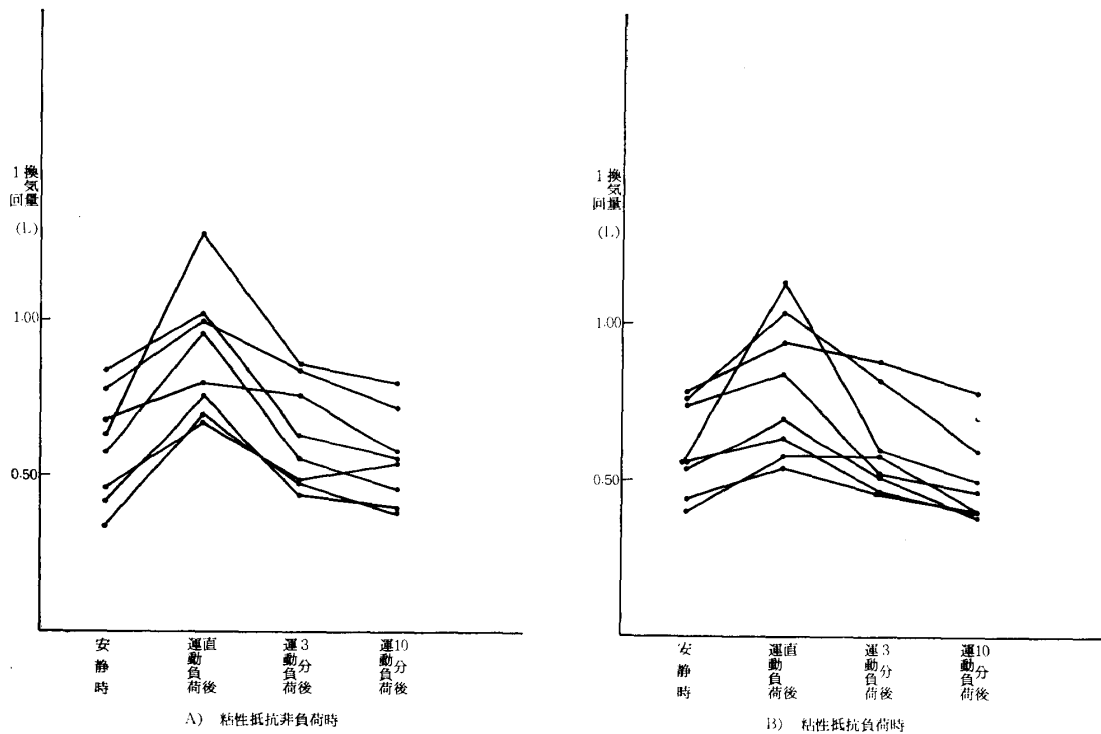


図 7 運動負荷の1回換気量におよぼす影響

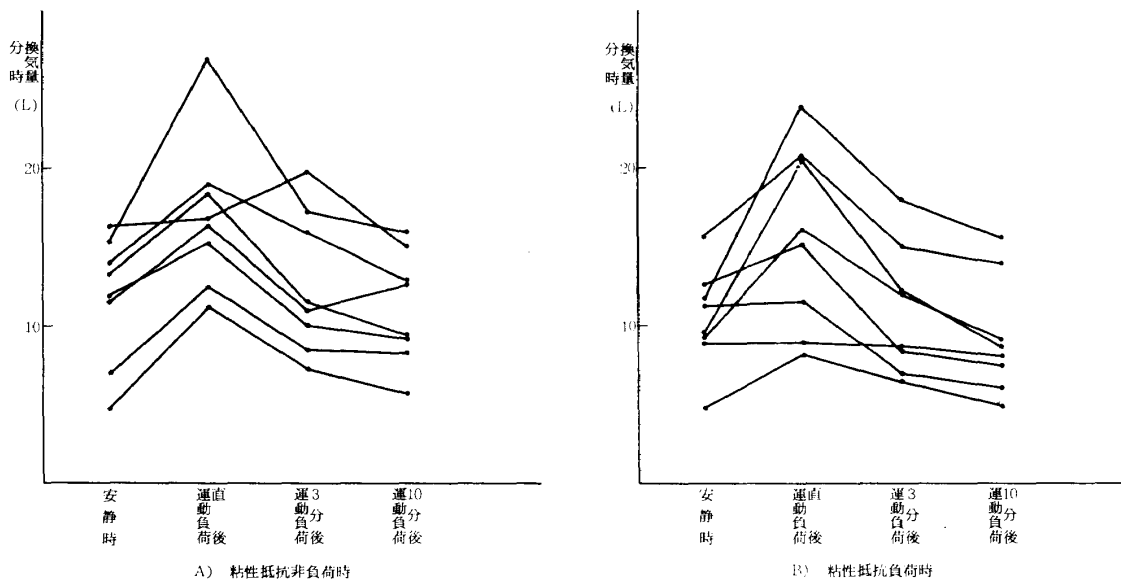


図 8 運動負荷の分時換気量におよぼす影響

図 9 および 10 に示されるように両者とも i) と同様に階段昇降試験直後、著明な増大をきたすとともに、3分から10分後には、安静時の値またはそれ以下にまで減少している。

iii) 換気 1 L 当り肺粘性仕事量

図 11 に示されるように、この値にも i) ii) とほぼ同様の傾向が認められる。

### 第 3 章 総括ならびに考按

我々が道を歩く時、その歩巾と 1 分間の歩数とを無意識のうちに決めて歩いていることがある。そしてこの歩き方は、個人によって異なる

し、同一人においても種々の条件が歩き方を規制する。

呼吸運動も人の歩き方と同様に、条件が同一ならば、その「深度」と「換気数」とはおのずと決ってくるであろう。呼吸のタイプは、この呼吸深度と換気数との二大要素からなりたっている。そしてこの呼吸のタイプが、ある条件のもとに如何なる変化をきたすかを観察することが著者の目的である。

ところで、個人において呼吸のタイプといったものが果して存在するであろうか。ある条件のもとに、無意識のうちに何故そのような呼吸のタイプを選ぶのであろうか。

これに対する一つの答を与えているものに、R.V. Christie らの報告がある。

すなわち、R.V. Christie ら<sup>6,7)</sup> は、健康者の呼吸仕事量に関する研究において、運動時および安静時ともに、一定の肺胞換気を維持するうえに最少の仕事量を示すような、いわば「適換気数」(Optimal rate of breathing) が存在することを指摘した。つまり、個人は呼吸仕事量の観点から最も経済的な呼吸深

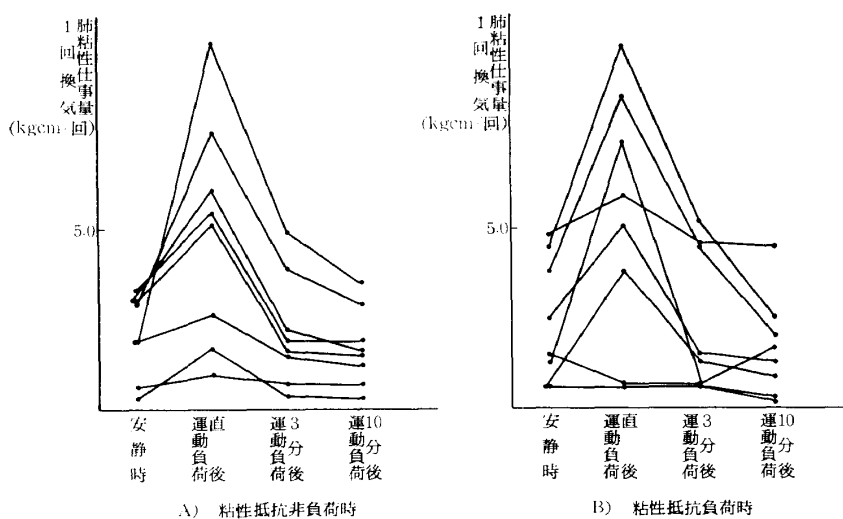


図 9 運動負荷の 1 回換気肺粘性仕事量におよぼす影響



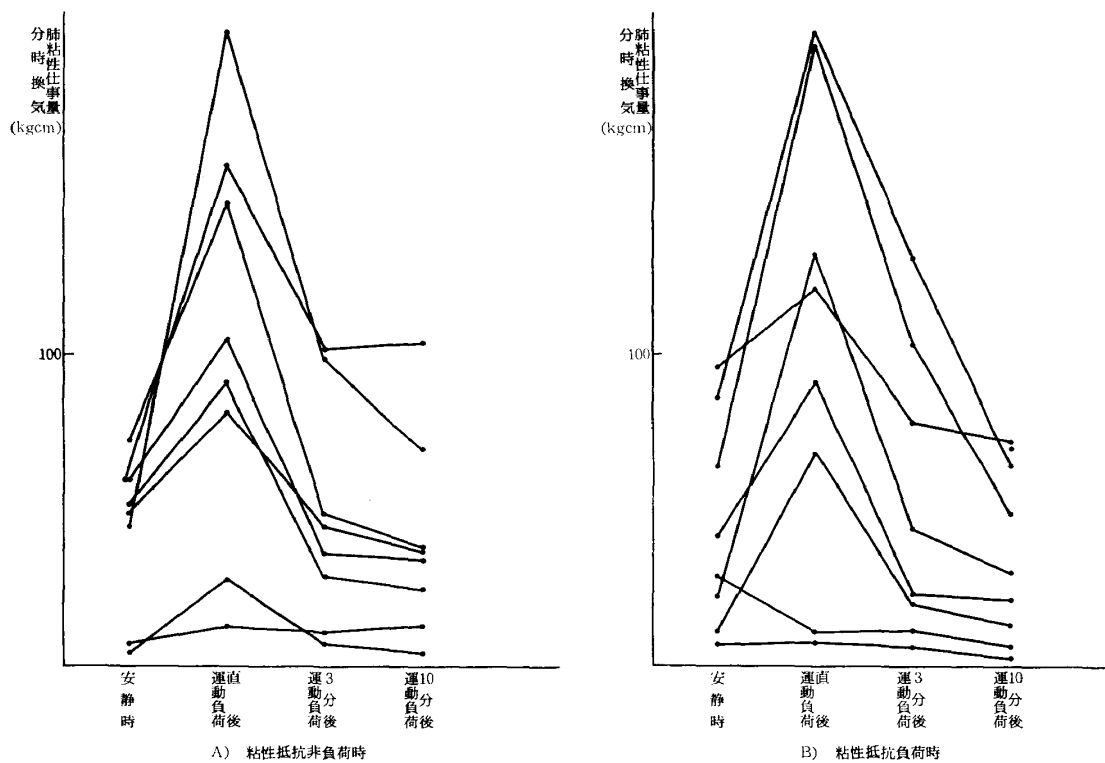


図 10 運動負荷の分時換気肺粘性仕事量におよぼす影響

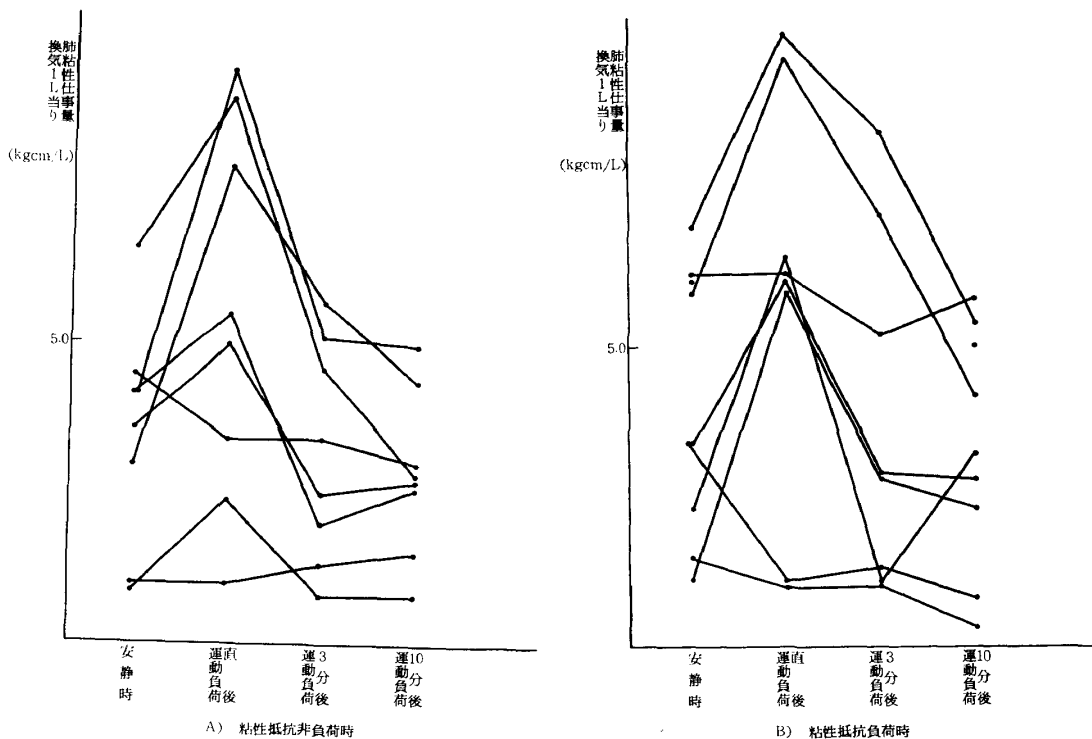


図 11 運動負荷の換気 I L 当り肺粘性仕事量におよぼす影響

度および換気数をもって呼吸するものであることを実証している。

著者は、まずこのように保たれた呼吸のタイプが、粘性抵抗負荷によってどのように変化するかについて検討した。

ここに用いた粘性抵抗は、いうまでもなく気道に出現する種々の粘性抵抗とは異質のものであるが、気流速度に影響を与え、同一被検者において一定の換気量と気流速度を保つためには、より大なる胸腔内圧を要するという点において、気道内に現われる粘性抵抗と同じ効果をもたらすものである。

さて、まず、換気数をメトロノームにより一定に保たせて、このような粘性抵抗の有無による各値の変化をみたのである。

これを1回換気量についてみると、換気数10および20といったかなりゆっくりした呼吸、又は安静呼吸に近いところでは、粘性抵抗負荷による1回換気量の増減は、各個人によりそれぞれ態度を異にしているが、換気数30および40というかなり早い呼吸になると、粘性抵抗負荷は1回換気量を減少せしめる傾向を示している。

又、分時換気量は1回換気量に換気数を乗じたものであるから、分時換気量も亦同時に減少していることになる。これは、早い呼吸をしている状態では、後述するように、もともと1回換気量の小となっていたものが、粘性抵抗負荷により更に浅い呼吸となり、同時に低換気となることを示しているものである。

また、粘性抵抗負荷による1回換気量の増減率が、換気数20の時に換気数30および40の時に比して最も低い値をとったということは、換気数20の時に1回換気量におよぼす粘性抵抗負荷の影響が最も少なく、換気数が増すと、この影響は大となることを意味するものであろう。

次に、1回換気肺粘性仕事量についてみると、粘性抵抗負荷により1回換気量の増減にかかわらず仕事量の増大をきたす傾向がみられたが、これは粘性仕事の観点から、換気のためにより大なるエネルギーが必要となることを意味するものである。

Du Bois らによれば、肺粘性仕事量は気流速

度の函数、肺弾性仕事量は換気量の函数であらわされる<sup>8,9)</sup>。今、1回換気量が増大する時、肺弾性仕事量が増大し、又、換気数が増大する時、肺粘性仕事量が増大するものと考えらば、換気数30および40という早い呼吸の時は、粘性抵抗負荷により肺粘性仕事量は増大するが、1回換気量をへらして全体として呼吸仕事量の増大をはばむ方向への傾向をとるとということが示されたと考える。

しかし、換気数10および20といった、おそい呼吸、または安静呼吸に近い換気数の場合は、粘性抵抗負荷により肺粘性仕事量はやはり増大するが、その時の肺弾性仕事量の方は、増大するものもあり減少するものもあり一定していない。

又、換気1L当り肺粘性仕事量というのは、粘性仕事の観点からみた、1Lの空気を肺に出し入れするのに要するエネルギーである。粘性抵抗負荷時にこの値が高値をとったということは、抵抗がある場合は粘性仕事効率の低い呼吸をするようになることを示すものである。

次に、メトロノームにより換気数を10, 20, 30および40と増加させていった場合について検討してみよう。(この時の各値の変化は、粘性抵抗非負荷時、負荷時共に同じ傾向を示している。)

まず、1回換気量が減少し、分時換気量が増大したということは、換気数の増加にともない呼吸が浅くなるとともに過換気となる傾向を示すものである。

また、換気数の変動と1回換気肺粘性仕事量の増減との間に相関関係がみられなかったが、分時換気肺粘性仕事量が著明な増大をきたしたということは、粘性仕事の観点から、深くゆっくりした呼吸から浅く早い呼吸に進むにつれて、1回換気に要するエネルギーは増大する場合も減少する場合もあるが、単位時間に換気に要するエネルギーは増大することを示すものである。

また、換気数の増加にともなう換気1L当り肺粘性仕事量の変動から粘性仕事効率を推察すると、換気数10の時最も効率が高く、換気数20

になるとほとんど全例において効率の低下をきたし、換気20, 30および40の間では換気数と粘性仕事効率は相関関係を示さず、この間では効率の高い換気数は各個人によって異なるということが考えられる。

最後に、安静時および運動負荷として用いた階段昇降試験の各値におよぼす影響をみてみよう。ここで行なわれた階段昇降試験は、検査対象が入院中の肺結核患者であるため、被検者に低肺機能者が含まれた場合でも同一の検査が施行できるように、Masterの階段昇降試験を軽くし、同じ階段を用い、1分間の昇降数を10とし2分間行ったものである。この運動負荷は、全例を通じて換気数に著明な変化をもたらさなかった。しかし、このように換気数に大きな変化をおよぼさぬ程度の運動負荷が加っても、1回および分時換気量、1回換気および分時換気肺粘性仕事量、換気1L当り肺粘性仕事量の著明な上昇をきたすということは、運動負荷がこの程度のものであっても、過換気状態をきたすとともに、粘性仕事の観点から換気に要するエネルギーが増大しかつ粘性仕事効率の低い呼吸に移行することを示すものである。

以上をまとめると次のように言う。

1) 1回換気量及び分時換気量におよぼす粘性抵抗負荷の影響は、換気数が安静時換気数に近い程小さく、換気数が多い程大である。そして、換気数30, 40といった早い呼吸をしている時には、粘性抵抗負荷により浅い呼吸となるとともに、低換気状態となる。

2) 粘性抵抗が負荷されると、換気量の増減にかかわらず、粘性仕事の観点からみて、換気に要するエネルギーが大となるとともに、効率の低い呼吸をするようになる。

3) 換気数の増加にともない、呼吸は浅くなると同時に過換気状態となる。

4) 換気数の増加にともない、粘性仕事の観点からみて、単位時間に換気に要するエネルギーは大となる。

5) 換気数10, 20, 30および40のうちで、粘性仕事の観点から最も効率の良い呼吸をしているのは換気数10の時である。換気数20, 30およ

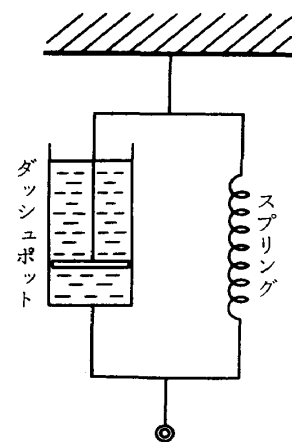
び40の間では粘性仕事効率の高い換気数は各個人により異っている。

6) 換気数にさほど影響をおよぼさぬ程度の軽い運動負荷が加っても、過換気状態となるうえ粘性仕事の観点からみて、換気の為に要するエネルギーは大となり、かつ粘性仕事効率の低い呼吸をするようになる。

ところで、前にものべたように、肺の弾性仕事は容積の函数、粘性仕事は気流速度の函数としてあらわされるとされているが、ここに測定された粘性仕事が、肺の容積の函数と考えられるところの1回換気量ないし分時換気量に影響されていたという仕事は如何に解すべきであろうか。

因に、粘性仕事量の算定に用いる圧量図とは、レオロジーでいう粘弾性体の荷重—伸展曲線(stress-strain curve)が描く履歴の輪(hysteresis loop)にほかならない<sup>15)</sup>。ここでレオロジーでヒステレシスループの成因としてあげる「力学的不均衡」について考えてみたい。

一般に、弾性変形には遅延弾性変形と呼ばれる一つの型がある。そして、あらゆる粘弾性体は遅延弾性変形、つまり時間的におくれた変形を示すものである。ここに、粘弾性体の模型としてよく用いられるものにフォークトの模型がある。図12において下の丸い把手を一定の力で下え引き下げた場合を考えよう。もしこの物体に流動だけがあるならば、つまりピストンだけ



フォークトの模型

図12

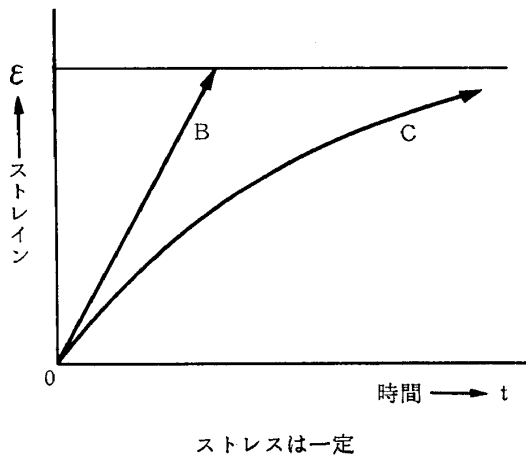


図13

が存在するならば、時間と共に流動変形して行くだけである。つまり0 Bの道をとる(図13)。ところが、弾性つまりスプリングが存在している為に、スプリングとピストンのつり合いの上でのびて行く。しかも変形が大きくなるとスプリングの元に戻ろうとする力が大きくなるので、時間とともに降下し難くなってくる。0 Cの道をたどって行くことになる。時間の変化につれて0 Cの曲線をたどるような弾性変形が遅延弾性変形である。この遅延弾性変形を示す物質、即ち viscoelasticity をもつためあらゆる高分子物質は、加えられたストレスに相当するフックの弾性変形よりも少ない変形が現われる。その上、ストレスが時間とともに増加していくので変形はますます遅れていく許りである。ストレスを減らしていく場合も同様であって、ストレスの変化に応じて直ちに变形できずに、ストレスだけが先に減少して行くわけである。

この関係が即ち力学的不均衡といわれるものであって、ヒステレシスループの成因としてあげられるものである。

要約すると、あらゆる高分子物質は、フォークト模型に示されるような遅延弾性変形を示す為に、荷重をかけていく時は伸びの方がこれに追いつかず、荷重をとり去っていく時は収縮の方がこれに追いつかぬので結局ヒステレシスループをのこしてしまうということである。

肺の伸び縮みの場合も、肺の遅延弾性変形によ

ってヒステレシスループが生じると考えるならば、いわゆる圧量図が肺の粘性仕事のみを表わすという考えには疑問の余地があるものと思はれ、前述の疑問はそのまま、今後の研究課題として残っていくものと考えられる。

## 結 語

粘性抵抗の負荷によって呼吸のタイプに如何なる変化が起るか、又、その時、肺粘性仕事および粘性仕事効率がどのような値をとるかについて検討するとともに、呼吸のタイプを変えた場合に、事実上、肺粘性仕事および粘性仕事効率がどのように変化するかについて観察した。

そして、呼吸のタイプにわずかな変化をきたすのみでも、実際には肺粘性仕事量が増大し、かつ効率の低い呼吸をする場合のあることを知った。

なお、近年、高分子物質について詳細に分析されたヒステレシスループの成因にさかのぼって、換気力学における圧量図の意義を検討することが残された課題のひとつであることをつけくわえたい。

[本論文の要旨は、第6回日本胸部疾患学会総会や京都大学結核研究所紀要第15巻、第2号に発表した]

## 主 要 文 献

- 1) Attinger, E.O.: Atmung und Atmungsarbeit, Dtsche. Med. Wschr., 86: 111, 1961.
- 2) Briscoe, W.A. et al.: The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size, J. Clin. Invest., 37: 1279, 1958.
- 3) Campbell, E.J. et al.: The ability of man to detect added elastic loads to breathing, Clin. Sci., 20: 223, 1961.
- 4) Cherniack, R.M. et al.: A comparison of esophageal and intrapleural pressure in man, J. Appl. Physiol., 8: 203, 1955.

- 5) Cook, C.D. *et al*: Studies of respiratory physiology in the newborn infant. III. Measurements of mechanics of respiration, *J. Clin. Invest.*, 36 : 440, 1957.
- 6) McIlroy, M.B. *et al*: The work of breathing in normal subjects, *Clin. Sc.*, 13 : 127, 1954.
- 7) Christie, R.V.: Dyspnea in relation to the viscoelastic properties of the lung, *Proc. Roy. Soc. Med.*, 46 : 381, 1953.
- 8) Du Bois, A.B. *et al*: Oscillation mechanics of lungs and chest in man, *J. Appl. Physiol.*, 8 : 587, 1956.
- 9) Fenn, W.O.: Mechanics of respiration, *Am. J. Med.*, 10 : 77, 1951.
- 10) Fry D.L. *et al*: The measurement of intraesophageal pressure and its relationship to intrathoracic pressure, *J. Lab. & Clin. Med.*, 40 : 664, 1952.
- 11) Green, M.: The effects of changes in gas viscosity on measurement of gas flow rates and volumes by the pneumotachograph, *J. Physiol.*, 181 (Proceedings) : 19P, 1965.
- 12) 井本立也: 概説レオロジー (上) (下), 現代化学シリーズ, 1963.
- 13) Jaenckner, D. *et al*: Atemmechanik. II. Teil, Methodik und Fehlerquellen, *Z. Tbk.*, 123 : 253, 1965.
- 14) Lungenfunktions-Colloquium in Bochum 10/11, Dezember, 1965. (B) Lungenfunktionsdiagnostische Methoden und deren Anssagekraft, *Beitr. Klin. Tbk.*, 133-4 : 249, 1966.
- 15) Mead, J. *et al*: Surface tension as a factor in pulmonary volume-pressure hysteresis, *J. Appl. Physiol.*, 10 : 191, 1957.
- 16) 中村隆: 肺機能とその臨床, *Rheology の立場から*, 日内会誌, 47 : 1095, 1958.