K. HASHIMOTO, M.D.: THE BRONCHOSCOPIC MEASUREMENT AND RHEOLOGICAL OBSERVATIONS ON THE LARYNX, TRACHEA AND BRONCHUS

喉頭・気管・気管支の内視鏡的計測ならびに 流体力学的観察

第2編 生理篇 喉頭 気管 気管支・肺の流体力学的研究

岩手医科大学耳鼻咽喉科学教室 (主任 金野巖教授)

橋 本 謙 男
ハシモト カネオ

目 次

第1章 序 言

第2章 気道における分流・合流に関する実験的

研究(その1)

第1節 ま え が き

第2節 実験の方針

第3節 実験方法

第4節 実験成績

第5節 数学的検討

第6節 喉頭・気管内の流線

第7節 考 按

第8節 小 括

第3章 気道における分流・合流に関する実験的

研究(その2)

第1節 ま え が き

第2節 実験材料ならびに方法

第3節 実験成績

第4節 考 按

第5節 小 括

第4章 肺の拡張率について

第1節 ま え が き

第2節 研究材料ならびに方法

第3節 豚の肺の解剖ならびに人の肺との比較

第4節 研究成績

第1項 支配気管・支核と拡張率

第2項 拡張方向

(a) 豚の場合

(b) 人の場合

① 右 側

② 左 側

③ 病 巣 肺

(c) 両者の比較

第3項 拡張率

(a) 豚の場合

(b) 人の場合

① 右 側

② 左 側

③ 病 巣

(c) 肺両者の比較

第5節 考 按

第6節 小 括

第5章 総 括

第6章 結 論

第1章 序 言

我々の胸腔は、上と周囲は胸郭で囲まれ、下は横膈膜で開かれておる。胸郭は背柱、肋骨、胸骨で組立てられており、その間の肋間腔には肋間筋が張られておる。このような囲いによつて胸腔内部は大気から遮断されておる。大気とは、気道の一路によつて交通があるだけである。

胸腔の内面を被う胸膜は、一は肺胸膜として肺の表面を被い、他は肺門のところで肺から離れ、壁側胸膜にして胸壁内面、横膈膜上面、縦隔障等を被うている。さて、内外二葉の肋膜の間を胸膜腔というが、両膜は相接していて不断は別に空間を認めない。たゞそこに極めて少量の漿液があり、肺が滑かに胸膜腔で動くことができるようになっている。

肺は通常、胸腔内ではある程度膨脹しており、又肺組織のもつ弾性によつて常に縮もうとしている。かく胸腔が広くなり、狭くなるにつれて、肺は拡がったり縮んだりして空気が気道を通つて肺に入つたり出たりする。つまり呼吸運動によつて呼吸が行われるのである。

呼吸運動は、横膈膜と肋骨の運動によつて行われるが、この運動によつて安静な呼吸のときは、胸腔内圧は

15～10mmHg の陰圧を呈する。この能腔内の陰圧によつて空気は、外界に通ずる唯一の通路である気道を通つて肺内に吸入されてくる。

我々の生命を維持する上に最も重要な気道のかゝる生理に就いて、先人は現在まで幾多の業績を残しておるが、いずれもその個々の部分について検討しているものだけで、鼻腔から始まり、喉頭・気管・気管支・肺と、一種の気道に生理について流体力学的に検討しておるのは、ほとんど認められない状態である。

私は、喉頭・気管・気管支を一連とした分流、合流、流線に就き実験を行い、数学的検討を加え、更に肺自体の弾性に就いても、動物ならびに人体の肺を用いて表面の拡張率を土台として検討し、いさゝか知見を得たと思うので、こゝに発表して一方諸賢の御教示を得たいと思う。

第2章 気道における分流・合流に関する実験的研究（その1）

第1節 まえがき

我々が呼吸をする際に、肺臓内へ空気が、その通路である気道を、いかなる状態で流れるかということを研究することは、非常に興味のあることである。

人間の鼻腔内通気については、既に研究され、報告されておるが、喉頭・気管・気管支のそれについては、未だ文献に接していない。

私は、今回その手初めとして、人屍から摘出した喉頭・気管・気管支の一連の標本ならびに、これから作成した石膏標本を土台として、水を用いて流体力学的観察を行つたので、その結果を報告する。

第2節 実験の方針

実際呼吸をする際は、気臓内は大気圧より陰圧であるが、直ちにこの条件のもとに実験を行うことは至難であるので、都合上、肺臓内の圧力を大気圧にし、一定の圧力を加えた陽圧の状態において実験を試みた。

但し、一般に気体においては、陰圧の場合と陽圧の場合とはその密度が変化するものであるが、こゝには密度の一定なる水を用いた。

実験に当つては、左右の肺臓は、同じ強さの陰圧で引かれるものと仮定し、管内に水を入れた場合には、管内すべての部分にわたつて空気が入らないように注意した。

第3節 実験方法

当年、満22才の女屍から、舌・咽頭・喉頭・気管・気管支を一連として適出し、気管ならびに喉頭の縦軸を

垂直にし、一定圧のもとに水を誘導し、喉頭部以下においては常に水が充満するように水量を調節し、かつ、気管ならびに気管支の経過中に、水泡が生ぜぬように注意した。

実験に当つては、鼻腔からの空気が頭の位置、頸の傾き、鼻腔ならびに口腔の形態的差違、鼻呼吸と口呼吸の場合等により、喉頭ならびに気管にどのような流れを作つて入り、左右の肺にどのような割合で分れてゆくか、すなわち喉頭に入る空気の態度によつて、左右の肺に入る空気に果して差があるかどうかと言うことを先づ検討するために、次の4群の場合について実験し、次のような結果を得た。

即ち、第1表の如く、水柱を注いだ部分ならびに気管の状態によつて、

第1群： 喉頭蓋軟骨上面にあてた場合

第2群： 咽頭後壁にあてた場合

第3群： 声帶上部にあてた場合

第4群： 気管を屈曲せしめた場合

に分類した。

第1表 注水実験成績（その1）

群別 注水部位	群別					総計
	第一群 喉頭蓋軟骨	第二群 咽頭後壁	第三群 声帶上部	第四群 気管屈曲	気管屈曲 51.4cm以上	
左気管支	計	5701	4503	2119	4392	12406
	平均	248.000	229.150	141.114	274.500	213.896
右気管支	計	8945	8302	7801	5940	25128
	平均	388.913	419.100	520.066	371.250	419.837
注水総量	計	14644	12905	9920	10332	37534
	平均	636.913	648.250	661.333	645.750	647.137
左右肺臓の差	計	3241	3099	5682		12722
	平均	140.903	189.950	378.800		219.344
回 数	23	20	15	16	58	74

第4節 実験成績

総合的にみると、第1群、第2群、第3群においては、この順序にいずれも右側気管支は左側気管支より排水量が多く、それぞれ、右側は左側の1.568倍、1.829倍、3.685倍となつておる。

即ち、喉頭蓋軟骨上面に水柱をあてた場合は、最も左右の差が少く、声帶上部にあてた場合は、最も多く、その比率は後者が前者の2倍強となつておる。

第4群は、気管を左又は右に屈曲せしめた場合で、その詳細は後に述べる。更に、各群に就いて詳細なる検討をすると、第2表において明かなる通り、第1群にお

いては、左右の差は、喉頭蓋軟骨の左側にあてた場合(No. 2)が最も少く、右側は左側の1.479倍で、喉頭蓋軟骨中央にあてた場合(No. 1)が最も多く、その比率は1.722倍で喉頭蓋軟骨の右側にあてた場合(No. 3)は、その中間に位し、比率は1.503倍となつておる。

第2表 注水実験成績(その2)

注水部 位置 No. 1 No. 2 No. 3 No. 4 No. 5 No. 6 No. 7 No. 8 No. 9 No. 10	第一群			第二群			第三群		第四群		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	
	喉頭蓋軟骨 中央	喉頭蓋軟骨 左側	喉頭蓋軟骨 右側	喉頭蓋軟骨 中央	喉頭蓋軟骨 左側	喉頭蓋軟骨 右側	声帯上部 (後上2/3)	声帯上部 (前上2/3)	気管支曲 (左側)	気管支曲 (右側)	
注水量	最大	293	300	297	287	267	240	178	230	151	438
	最小	192	209	229	184	167	173	81	100	95	408
	平均	235.1	251.0	258.3	246.3	226.6	217.0	123.4	161.7	128.9	420.1
注水速度	最大	480	418	425	500	567	458	587	535	555	235
	最小	354	328	362	364	364	395	518	425	275	214
	平均	405.0	371.3	388.3	437.5	467.6	414.9	542.3	474.7	520.5	222.0
排水量	最大	1.722	1.479	1.503	1.776	1.778	1.911	1.376	3.053	4.038	1.892
	最小	686	638	667	719	656	658	716	668	677	653
	平均	605	599	625	651	610	600	636	635	626	623
注水時間	最大	640.1	622.3	646.5	683.8	636.1	631.9	665.6	671.4	69.94	642.1
	最小	274	209	196	286	318	283	506	475	420	223
	平均	61	33	73	77	115	130	360	175	321	179
注水圧 量0差	最大	1679	120.3	1300	1912	1810	1764	4188	3230	3716	1334
	最小	8	7	8	6	7	7	6	7	6	6
	平均	8	7	8	6	7	7	6	7	6	6

第2群においては、左右の差は、咽頭後壁中央部にあてた場合(No. 4)が最も少く、右側は左側の1.776倍で、咽頭後壁右側にあてた場合(No. 6)が最も多く、右側は左側の1.911倍となり、咽頭後壁左側にあてた場合(No. 5)には、その中間に位し、比率は1.798倍を示しておる。

以上の数値から、咽頭後壁中央にあてた場合(No. 4)と、左側にあてた場合(No. 5)とは、近似値をとつておることが分る。

第3群の、水柱を声帯上部にあてた場合には、水流を前上方から前上方に誘導し、そのまゝ真直にあてた場合(No. 7)と、水流を前上方から自然気道の方に誘導し、半回転して声帯上部にあてた場合(No. 8)とに分けた。前者の場合は、右側が左側の4.396倍で、前者の3.053倍よりは、はるかに多くなつておる。

第4群においては、気管軸を左側に約30度曲げた場合(No. 9)は、右側が左側の4.038倍で圧倒的に多く、右側に約30度曲げた場合(No. 10)は、逆に左側が右側の1.892倍となつておるが、総ての場合を通じて、左気管支の排水量が、右気管支の排水量より多くなつたのは、この場合だけで流体力学的にもこの事実は、重力の

差からきたことが明かに証明される。

以上の4群を見ると、水柱をあてる部位によつて、割合に移動が少いのは第2群の咽頭後壁にあてた場合で、最も変動の多かつたのは、第4群の気管を曲げた場合、殊に右側に曲げた場合には、逆に、左側気管支の排水量が右側より多くなつておる。

第5節 数学的検討

以上の実験に基いて、左右気管支の分岐状態を確かめ、数学的に検討するために、該材料に石膏を注入し、その模型をとり、これから左右気管支の曲率半径(ρ)、曲りの角度(θ)、管の直径(d)ならびにその断面積(A)、曲りの長さ(l)を計算し、管内の細かい凹凸を無視して、単なる橢円管であると仮定して計算した。

今、管Tから、管 T_1 、 T_2 に水が流れる場合に、

Q 単位時間における管Tの水流量

Q_1 単位時間における管 T_1 の水流量

Q_2 単位時間における管 T_2 の水流量

d_1 管 T_1 の横断面の直径

d_2 管 T_2 の横断面の直径

とすると、

$$Q = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \dots\dots\dots (2)$$

が成立する。よつて(1)、(2)より、

$$Q_1 = \frac{Q \cdot d_1^2}{d_1^2 + d_2^2}$$

$$Q_2 = \frac{Q \cdot d_2^2}{d_1^2 + d_2^2}$$

となるが、これは理論水量である。

そこで、今実際水量を Q_1' 、 Q_2' とすると、

管壁による摩擦の影響で

$$Q_1' = C \cdot \frac{Q \cdot d_1^2}{d_1^2 + d_2^2}$$

$$Q_2' = C \cdot \frac{Q \cdot d_2^2}{d_1^2 + d_2^2} \dots\dots\dots \text{となる。}$$

ここに C は、摩擦係数で0.63(水)~0.67(空気)の範囲である。

さて、管が曲ると水流量が減少することはもちろんであり、曲りによる損失頭を H_b とすると、

$$H_b = \left(f_{11} + \lambda \frac{l}{d} \right) \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

λ : 曲管内を流れる摩擦損失係数

l : 曲管の軸にそう長さ

g : 9.8dyne

V : 流速 (m/sec)

しかるに, Weisbach により

$$f_{14} = \left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{r}{\rho} \right)^{3.5} \right\} \frac{\theta}{90} \dots\dots\dots (4)$$

ここに

ρ : 曲管の曲率半径

θ : 曲りの角度

$r = \frac{d}{2}$: 管の半径

又, 曲管内を流れる水の, 摩擦損失係数 λ は Darcy の式により

$$\lambda = 0.0199 + \frac{0.000508}{d} = \frac{1}{1000} \left(20 + \frac{1}{2d} \right) \dots\dots\dots (5)$$

従つて, 曲りによる水量の減少を今, Q_w とすると,

$$Q_w = A \cdot v \sqrt{2g \cdot H_b} \dots\dots\dots (6)$$

但し, A は管の断面積とする.

(3), (4), (5), (6) より

$$Q_w = \frac{\pi}{4} d^3 V \sqrt{\left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{d}{2\rho} \right)^{3.5} \right\} \frac{\theta}{90} + \frac{1}{1000} \left(20 + \frac{1}{2d} \right) \frac{l}{d}} \dots\dots\dots (7)$$

しかして, 流速 V は,

$$V_1 = \frac{Q \cdot \frac{d_1^2}{d_1^2 + d_2^2}}{A} = \frac{Q \cdot \frac{d_1^2}{d_1^2 + d_2^2}}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \dots\dots\dots (8)$$

$$V_2 = \frac{Q \cdot \frac{d_2^2}{d_1^2 + d_2^2}}{A} = \frac{Q \cdot \frac{d_2^2}{d_1^2 + d_2^2}}{\frac{\pi}{4} d_2^2} \dots\dots\dots (9)$$

今, 曲管における実際の水流量を Q_s とすると,

$$Q_s = C(Q - Q_w) \dots\dots\dots (10)$$

(7), (8), (9), (10) より, 次の左右気管支の流水量が得られる. 即ち,

Q_1左気管支の流水量

Q_2右気管支の流水量

$$Q_1 = C \cdot \frac{Q \cdot d_1^2}{d_1^2 + d_2^2} \left\{ 1 - \sqrt{\left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{d_1}{2\rho_1} \right)^{3.5} \right\} \frac{\theta_1}{90} + \frac{1}{1000} \left(20 + \frac{1}{2d_1} \right) \frac{l_1}{d_1}} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_2 = C \cdot \frac{Q \cdot d_2^2}{d_1^2 + d_2^2} \left\{ 1 - \sqrt{\left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{d_2}{2\rho_2} \right)^{3.5} \right\} \frac{\theta_2}{90} + \frac{1}{1000} \left(20 + \frac{1}{2d_2} \right) \frac{l_2}{d_2}} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

但し, 断面積 A は, 実際は円であることは少いので, 楕円として長径 d_L , 短径 d_K を求めて $d_{1or2} = \sqrt{d_L \cdot d_K}$ を代入した.

さて, 石膏の型をもとにして, それぞれの数値を求めると,

左気管支側では

d_L0.885cm

d_K0.880cm

$d_1 = \sqrt{d_L \cdot d_K} = \sqrt{0.885 \times 0.880} = 0.882\text{cm}$

d_1^20.778cm²

θ_131°

ρ_16.7cm

l_13.1cm

右気管支側では

d_L1.175cm

d_K1.015cm

$d_2 = \sqrt{d_L \cdot d_K} = \sqrt{1.175 \times 1.015} = 1.087\text{cm}$

d_2^21.182cm²

θ_249°

ρ_24.0cm

l_23.5cm

となる. よつて (11), (12) から

左右気管支の流水量 Q_1 , Q_2 はそれぞれ

$$Q_1 = 0.1575 \cdot CQ$$

$$Q_2 = 0.2813 \cdot CQ$$

となる. これより, 右気管支の単位時間における流水量 Q_2 は, 左気管支の単位時間における流水量 Q_1 の 1.786 倍であるという理論値が得られる.

この理論値に, 最も近いのは, 第2群の咽頭後壁中央に水柱をあてた場合 (No. 4) の 1.776 倍, ついで咽頭後壁左側にあてた場合 (No. 5) の 1.798 倍で, 次が第1群の喉頭蓋軟骨上面中央にあてた場合 (No. 1) の 1.722 倍である.

群別にみた場合には, 平均してやはり第2群が理論値に最も近い値を示しておる.

第1群, ならびに第2群におられる微かの差は, 管内の細かい凹凸, ならびに, 粘膜と水との間に粘性を無視したために生じたものと思われ, 第3群にみられる大きな数値の開きは, 声带上部に直接水柱をあてた場合に, 流水の圧が直接作用するため, 種々の渦流ならびに渦乱流が生じ, その影響が大きく作用したために生じたものと考えられる.

第6節 咽頭・気管内の流線

以上の理論値と、実験値との間の誤差は、流体の渦流ならびに渦乱流の影響を相当に受けるからであろうと想像されたので、喉頭ならびに気管内の流線について検討してみた。

本実験を、立体的に観察することは至難であるので、該標本から寒天で型を作り、これを正中面で縦断し、更にこれに平行な面を外側に二つとり、順次に、第1型、第2型、第3型とした。更にこれ等をもとにして、拡大した木製の型を作り、保合を約2度の角度に保ち、これに平行な幅の水路を作り、水の表面波の影響を十分なくして、一定の圧力のもとにゆるやかに水を流し、吸気と呼気の場合の流線ならびに渦流、渦乱流の状態を観察した。

第1図

呼気時

第2図

吸気時

第3図

吸気時

第4図

呼気時

第1型、即ち、第1図ならびに第2図においては、主流は呼気と吸気では大差がないが、呼気の場合は吸気に

比して幾分曲りが減少し、流速はいずれも管が細くなつておる部分程速くなつておる。吸気の場合は、喉頭蓋軟骨上部ならびに後連合上部の凹部において渦流を生じ、後連合の下部では渦乱流を生じ、喉頭蓋軟骨下面と、声带上部の凹部では渦流ならびに渦乱流が生じてあるが、呼気の場合には、逆に、声带上部と喉頭蓋軟骨下面の間の凹部、ならびに、後連合下面の凹部では渦流を生じ、後連合上部ならびに会厭軟骨上部の凹部では、渦乱流を生じて来る。

なお、喉頭蓋軟骨上部の吸気時における渦流は、実際は三次元に逃げるために生じないで、主流は、より前方に曲るものと想像される。

第2型、即ち、第3図ならびに第4図、第3型、即ち、第5図ならびに第6図に関しては、参考までに行つたのであつて、図に示すような主流、流線、渦流、渦乱流が生じておるが、第三次元の影響が第1型よりははるかに大となつておる。

第5図

呼気時

第6図

吸気時

第7図

吸気時

第7図はカリナの部分における主流ならびに流線の方向から、ほぼ直角に分岐しておる。右上葉枝に、円滑な流線が示されておらないのは、この実験が水を用いて行われたためで、実際空気の場合には、は容易に入り得るものと予想される。

なお、この実験は、屍体をもとにして取つた模型を土台として行つたものであるから、喉頭蓋軟骨と声帯の位置の移動によつて、どのように主流、渦流、渦乱流が変動するか、更に、境界層に対する流水の反作用等の問題

は、別に考慮する必要がある。

第7節 考 按

私は、喉頭、気管、気管支と複雑な経過をとつて流体が吸入され、また呼出される場合に、いかなる状態がみられるかということを、実際に人屍から摘出した一連の標本ならびに、これをもとにして得た石膏標本を用いて検討した。

私は、前述のように実験を行うにあつて、空気の代りに水を用いた。一体水は空気と同じように流体であるが、空気のように圧力によつてその密度を変えない。つまり密度が一定である。この点、むしろ私の実験には都合がよい。しかし実験にあつて陰圧の状態のもとに水を気管支の方に引くことは技術的に困難であるので、肺内圧を大気圧と同一にし、喉頭に注入する水を一定の陽圧として注ぎ込み、陽圧のもとにおける観察を行った。この際、標本内腔の全経過にわたつて、気泡により流れの抵抗が変化することを考慮して、気泡が入らないように注意した。

さて、この実験を実施するにあつて、一応考慮しておかなければならないのは、喉頭ならびに気管・気管支の運動状態と、頭部の運動とである。

喉頭の運動には、喉頭全体としての運動と、喉頭局部の運動と喉頭蓋の運動とがあげられる。

喉頭は全体として呼吸、発声、嚥下運動に際して上下に動く、また局部の運動として特筆すべきは、声帯自身の特有の発声に際してみられる運動である。更に喉頭蓋は嚥下時に適当に運動すると思われる。

また気管および気管支の運動には受動と能動との二つがある。前者は更に呼吸性運動と脈搏性運動とにわけられる。

以上述べた通り、喉頭、気管、気管支には各種の運動があり、これに頭部の運動が加わつて、流体力学的検査は色々の影響を受けることはわかるが、一応喉頭蓋と声門裂は屍位をとり、気管、気管支のあらゆる運動を除外して実験成績を検討することにした。

実験の性質上、私は前述の通り4群の場合に就いて検索したが、第1表において明かな通り、第1群の喉頭蓋軟骨上面に水柱をあてた場合、最も左右の差が少いのは、喉頭上部から陽圧で送られた水の圧力が、直接喉頭腔ならびに気管に及ぼす力が少いためで、第3群の声帯上部に当てられた場合、最も左右の差が大きいのは、水の圧力が直接気管にまで及んだために生じたものと思われる。第3群の咽頭後壁に当てた場合は、その中間値を

占めておる。しかし、どちらかといえば、第3群よりも第1群に近い値を示しておつた。

次に、第2表に示すとおり、水柱をあてる部位または方向によつて、左、右ならびに中央部、前上方、後上方等の場合を分けると、左右の差は、第1群において因頭蓋軟骨中央部にあてた場合が最も多く、左側にあてた場合が最も少くなつておる。

また、第2群においては、右寄りの咽頭後壁にあてた場合が最も多く、中央部にあてた場合が最も少くなつておる。しかして、左側にあてた場合は中央部にあてた場合に近い値を示しておる。

第3群においては、自然気道の流水の方向に、前上方から声帯上部にあてた場合が無理して後上方からあてた場合よりも左右の差が少くなつておる。これ等の差は、気管の前後径と一致して直接流水の圧力が加わつたために起つたものと考えられる。

第4群においては、頭部が左側または右側に傾斜した場合を考えたのであるが、明かに水の重量による影響が生じてきて、気管支の太さのいかに拘らず傾斜と反対側に常に多くみられておる。この成績の結果を直ちに空気を吸入した場合に置き変えて考えることは無理であるが、たゞ参考までに数値を示しておいた。

以上、4群を通覧すると、第4群はさておいて、水柱をあてる部位によつて変動が割合に少いのは咽頭後壁にあてた場合で、これらが最も自然の流れにそうて吸入される方向を示しておるからと考えられる。

一体、吸気が左右気管支の末端で、左右平等の陰圧で引かれたために生じたものと仮定した場合に、その吸入される空気の量は、左右気管支の太さや曲りの角度、曲率半径等によつて左右されるであろうことは容易に考えられる。そこで以上の実験値を裏付けるために、該材料から取つた石膏標本をもとにして、気管、気管支各部の距離ならびに角度に関する精密な計測を行い、これをもとにして数学的検討を加え、理論値を求めたところ、単位時間における流水量は右側は左側の1.786倍という値が得られた。この値は、さきの実験中、第2群の咽頭後壁中央部に水柱をあてた場合にほとんど一致する。

つまり、流体が咽頭後壁中央部を経て吸入された場合、最も自然の経過をとつて、力学的に無理なく、左右気管支にそれ相当の割合に分割され、吸入されることが分つた。

次に、第3群にみられるような大きな数値の開きはもとより、第1群、第2群の間にみられる微かの差は管内

の細かい凹凸ならびに粘膜と水との間の粘性を無視したためのみならず、流水の圧が直接気管に及ぶために、種々の渦流、渦乱流が生じ、その影響がより多く作用したために生じたものと考えられる。そこで、喉頭ならびに気管内の流線について検討した。その結果、主流は呼吸の場合は吸気に比して幾分曲りが減少しており、いずれも喉頭蓋軟骨、前・後連合部の上下にできる凹部において、流れに相当した渦流ならびに渦乱流がみとめられるが、これらの流線の方向は、正中面ならびにこれに平行な面だけで観察しておるので、実際立体的な場合には、渦流ならびに渦乱流の一部は、第三次元に逃げるために消失し、主流も多少歪を生ずるであろうことは想像される。生体においては、前述の喉頭、殊に声帯ならびに喉頭蓋の運動と位置、気管・気管支の受動ならびに能動運動などによつて、更に大きく移動するであろうことは想像に難くない。殊に、急激なる呼吸運動に際しては、なおのことである。

第8節 小 括

1) 今回、人屍から摘出した舌・喉頭・気管・気管支の一連の標本により、水を用いて流体力学的観察を行い、その結果を発表した。

2) まず、該標本を垂直に保ち、上から種々の条件のもとに水を注いで、左右気管支における排水量の割合を比較検討した。

3) 右気管支の、左気管支に対する排水量の比は、喉頭蓋軟骨上面に水柱をあてた場合が最も少く、次が咽頭後壁にあてた場合で、声帯上部にあてた場合が最も大きくなっていた。

4) 次に、水柱をあてる部位ならびに方向によつて、更に詳細な実験を行うと、条件をかえても割合に変動の少いのは、咽頭後壁にあてた群であつた。

5) 気管を傾斜せしめた場合は、気管支の太さに関係なく、傾斜と反対側の気管支の排水量が、常に増大していた。これは水の重量による影響であると考えられる。

6) この標本を用いて数学的に理論値を求めたところ、単位時間における流量は、右気管支が左気管支の1.786倍で、咽頭後壁に水柱をあてた場合が最もこれに近く、中でも咽頭後壁中央にあてた場合の1.776倍が、一番近似値をとつていた。

7) 理論値と実験値との誤差を解く一つの手段として、水を用いて喉頭・気管・気管支内の流線、主流、渦流、渦乱流の状態を、呼吸ならびに吸気時について検討した。

8) 主流は、吸気より呼気の場合の方が曲りが減少しており、吸気、呼気とも、喉頭蓋軟骨、前連合部、後連合部の上下にある凹部で、流水方向と流水速度に相当した渦流ならびに渦乱流が生ずることを確かめた。

9) 理論値と実験値との間のわずかな誤差は主にこれ等の渦流ならびに渦乱流によつて生ずるものと考えられる。

第3章 気道における分流・合流に関する実験的研究（その2）

第1節 ま え が き

私は、前項において咽頭後壁に水柱をあてた場合の実験値が、その他のものより変動が少く、かつ咽頭後壁中央部を経て注入された水が、最も自然の経過をとつて左右気管支に、それ相当の割合で分割されてゆくことを証明したが、しからは右の鼻孔から入つた流体は、右後鼻孔から咽頭壁右側にそつて進み、声門裂の右半分を経て気管に至り、気管の右壁にそつて更に下降して右肺に到達し、同様にして左の鼻孔から入つた流体は左肺に到達するものであろうか？それとも喉頭蓋、前連合部、後連合部の上下に生ずる渦流ならびに渦乱流によつて、左右のものは混合し、混然一体となつて気管を下行し、両豆に平等の混合体として注がれるものであろうか？

以上の点を究明することは、甚だ興味深く、かつ臨床的にも極めて重要であると思う。

第2節 実験材料ならびに方法

実験材料としては、喉頭狭窄部が他の動物に比べて、比較的人間に似ていると云われる犬を用いた。第8図ならびに第9図に示す通り、全麻のもとに試験動物を固定し、両側鼻孔にできるだけ大目のホラトン氏カテーテル(No. 7～No. 9)を挿入し、他端を完全に分離された2個の気密室内に、左右各1個宛別々に開口させ、気密室内には右側にアルミニウム粉末、左側に炭末を入れ、室の外下隅に管を取付け、これをゴム管でエアー・コンプレッサーまたは二連ゴム管に連結し、軽く送気することによつて、常に各室の粉末がそれぞれの気密室内に浮游充満するように送気量を調節した。

かくして、毎日2～3時間宛7～10日間連続吸入せしめ、人口的塵肺を作らせた後、該動物を剖見して、各葉につきそれぞれ各部分のアルミニウム末ならびに炭末の沈着状態を比較検討した。

次に第10図に示すとおり、犬の頭部(鼻腔を含む)ならびに、喉頭、気管、気管支を一連として摘出し、気管が垂直になるように頭部で固定懸垂し、両側鼻孔から左

第8図 人工的嚔肺実験

第9図 人工的嚔肺実験(大)

第10図
鼻孔注水実験(犬)

右平行に又は交叉性に入を注入せしめ、左右気管支の断端から排泄される液の量を測定し、注入量と比較検討した。また、一側の鼻孔から注入する液に赤血球を浮遊せしめ、他側からは赤血球を含まない清浄な液を注入し、下端の両側気管支から排泄される液中の赤血球の数を計ることによつて、左右別々に注入した液が、気管支断端までの経過中混合した割合を測定した。

更に、左右の鼻腔から別々に吸入された空気は、何所で混合するかを検討するために次の実験を行った。

即ち、全麻のもとに犬を仰向けに固定し、前と同様に両側鼻孔からネラトン氏カテ

テルを用いて、別々にアルミニウム末を吸入せしめるよう

第11図 右左平行に注入した場合

第12図 交叉性に注入した場合

のような二個のビニール製の管を犬の上部気管の一部を切断し、第14図のように断端縫合により装填した。ビニール管は気管と全く同じ太さのものを選び、主側は単なる円筒の管であるが、尾側の二又の管は吸気だけが一方的に入るように逆止め弁を二個持っており、一つは管内に、一つは管外に取付けられておる。さて、この首側と尾側の二つの管腔の間にデツキグラスを両側から挿入し、ガラス面に附着したアルミニウム末粒子の数を計算した。

吸気は、唯一回の場合はもちろん、数回繰返して後、比較した。

第13図 人工気管

第14図 人工気管の見取図

第3節 実験成績

粉末を吸入せしめた動物を剖見してみると、全体として肺表面ならびに剖面の色が、明かに変る程の変化はいずれにも認められなかつた。唯、アルミニウム末は、剖面においては輝いて見えるので、その存在の多寡は明瞭に知ることができた。

私は、第3表にみられるように3群に分けて検討した。即ち、

第1群は、右鼻孔からアルミニウム末、左鼻孔からは炭末を吸入せしめた場合、

第2群は、右鼻孔からアルミニウム末左鼻孔から塵粉

第3表 肺における粉末沈着状態

部位	吸入材料	第一群		第二群		第三群	
		右---Al末 左---C末	右---Al末 左---C末	右---Al末 左---空変	右---Al末 左---空変	右---Al末 左---閉塞	右---Al末 左---閉塞
右肺葉	尖葉上端	++	++	++	++	++	++
	尖葉	+	+	+	+	+	+
	心葉	+	+	+	+	+	+
	横隔膜葉	++	++	++	++	++	++
	横隔膜葉下端	++	++	++	++	++	++
	中間葉	++	++	++	++	++	++
左肺葉	尖葉上端	+	++	+	+	+	+
	尖葉	+	+	+	+	+	+
	心葉	+	+	+	+	+	+
	横隔膜葉	++	++	++	++	++	++
	横隔膜葉下端	++	++	++	++	++	++
	中間葉	++	++	++	++	++	++

を含まない清浄な空気のみを吸入せしめた場合、

第3群は、右鼻孔からアルミニウム末を吸入せしめただけで、左側は閉塞せしめた場合である。

第1群においては左右各葉ともアルミニウム末と炭末の分布状態は大体平等である。両粉末の絶対数は、右横隔膜葉（下葉）、次にその尖端、左横隔膜葉、中間葉、右尖葉（上葉）の肺尖部に多く、他は少い。又、各葉とも外側縁に近い部分に多かつた。

第2群においては、前者と同様、左右肺尖部、左右横隔膜葉、同葉尖端に多く、各葉とも辺縁に多かつた。

第3群においては、左側が右側に比べ全般的に少く、殊に左肺尖、左尖葉が稀薄であつた。

しかして、第2群、第3群共に第1群よりは粉末の沈着状態は少く思われた。

次の実験においては、果して左右の鼻孔から吸入された空気は平等に混合するものであるかどうかを検討した。

実験を認めるに当つて、流線の変化に伴う量的な観察が必要であると考えたので、第11図にみられるように左右鼻道に平行して両側同時に水を注入すると、右側は左側よりわずかに多い。又右側からだけ注入した場合も同様である。しかるに、左側からだけ注入した場合は、左側が右側より多く、その値は、最初の左右差の絶対値の約2倍である。

更に、流線を複雑にするために第12図の如く、左右鼻道に交叉性に水を導入してみると、右側が圧倒的に多く、左右差の最大の最大値を有し、前記の平行に注入した場合の約2.4倍の差を示してゐる。又、交叉性に左側からだけ注入した場合は、前回とは全く逆に、むしろ右側がわずかに多くなつており、右側からだけ注入した場合はやはり右が多くなるが、前回の約3倍の差が生じて

来る。

以上の量的差は、気管内において両方の注入液が、何等かの喉頭上端から気管分岐部に至る過程において、混合するであろうことが想像できる。もちろんこれは流体力学的に、喉頭部の通過に当り渦流ならびに渦乱流が同じ、流線が変るために流量に変化を来して起るものと考えられる。

次に、第10図の如く鼻孔からの注入液の一方にだけ赤血球を浮遊せしめ、前回と同様に水を注入し、左右気管支から別々に採取した液に就いて、その血球数を数えたところ、左右の間に有意の差は認められなかつた。このことは、平行に注入した場合も、交叉性に注入した場合も全く同様であつた。

次の実験において、一側鼻孔からアルミニウム末を含んだ空気を、他側からは清浄な空気を生じ条件のもとに吸入せしめた場合、第16図の如く安静呼吸の際は、吸入回数のいかに拘らず、左右に有意の差は全く認められなかつた。この際、

第15図にみられる通りアルミニウム末は管の中心部に近いほど粒子の絶対数が多く、かつ大粒のものが多い

第15図 AI 末沈着状態

第16図 安静呼吸

が、辺縁部程絶対数が少く、かつ比較的小粒のものが多くなっている。これは、中心部が最も流速が速く、比較的大粒の粒子が単位時間内に大量に通過するからである。

第17図 努力呼吸

第18図 右閉塞安静呼吸

第19図 首を45°傾斜した場合

次に、第17図の如く急激な強い努力呼吸の場合には、アルミウム末を吸入せしめた側の吸気に圧倒的に多く認められ、対側約2倍の値を示しておつた。

また、第18図の如く一側鼻孔を閉鎖して、他側からだけ吸入せしめた場合にも、安静呼吸時には、左右に有意の差は認められなかつた。

第19図の如く首だけを45度傾斜せしめた場合は、傾斜せしめた側に圧倒的に多くなり、他側の約3倍の値を示しておつた。

第4節 考 按

酒井は、1925年“呼吸器内における気流の研究”と題して、左右両側の鼻孔から吸入された空気は、気管内に入つても決して両側のものと相互に混合することなく、両側に分れて独立の気流を作り、各々同側の肺臓に達することを証明し、かつ左右鼻腔の広狭が、呼吸器内を流動する空気の運動に大なる影響を及ぼすために、左右両肺の罹病率に相違を来す一因となる旨報告した。

これに対し、橋本(泰)は、1952年模型ならびに動物実験に基きこの問題を検討し、一側鼻孔から吸入した空気は、同側の肺だけに到着するものではなく、左右両肺に平等に到着するものであると述べ、かつ、一側鼻閉と他側肺疾患との関連性を云々することはできないと報告した。

私は、私の研究の一環として、この両者の意見のいずれが正しいかを、両者と異なつた角度から検討し、その結果を述べたが、詳細は前述の通りである。

即ち、最初の実験動物の剖見の結果、もちろん研究目的が違ふからかも知れないが、橋本(泰)の結果との間に差が認められる。即ち、橋本(泰)によると左右上葉には全く炭末を認めないが、しかし私の場合は第3表の如く下葉はもとより上葉にも炭末が必ず認められ、しかも肺尖部に多い。もちろん、アルミウム末と炭末との比重の差、炭末粒子の大きさの差、吸入する単位時間、および継続時間等に大いに関係すると考えられるが、最も重要な要素は、吸入せしむる場合の各種条件が異なつておつたからだと考えられる。即ち、橋本(泰)の場合は炭末箱からビニール管を通して濃厚なる炭末を直接吸引するのに反し、私の場合は、恰度塵埃の多数浮遊しておる室内で呼吸をする場合のように、常に空中に浮遊する粉末を吸気と同時に吸引したため、このような異つた結果が生じたものと思われる。

又、犬の頭部、気管・気管支を一連として摘出した標本に対し、水を用いた。鼻孔から気管支に至る経過の流

体力学的観察においてはすでに述べたように左右気管支断端から排泄される量の変動から考えても、どうしても左右別々に注入された水は、どこかで混合されてるようには考えられる。たゞ交叉性に注入した場合は、平等に注入した場合よりも流線の変化がより複雑となつてくるので、両液の混合度は平等に注入した場合よりもより強く行われると考えられる。従つて、平等に注入した場合に混合するとすれば、交叉した場合はもちろん、より完全に混合されるものとみなしうる。

更に、次の実験に、おいて、第16図の如く安静呼吸を行つた場合は、一側鼻孔から吸入された空気は、他側鼻孔から吸入された空気と、気管上部においてすでに完全に混合しており、第18図の如くたとえ他側鼻孔を閉鎖して一側鼻孔からだけ吸入した場合でもやはり同様に混合しておる。

Ewardは新しく進入して来た空気は、気管支の中で前からあつた空気とよく混和するもので、これには拡散ばかりでなく、気流も重要な影響を及ぼすものであると説いている。

更に、第17図の如く急激なる強い努力呼吸を行つた場合には、速度が速いので気管上部においては、吸入側の空気は同側の気管壁にそうて吸入されて行くように考えられる。努力呼吸の際、喉頭は全体として下降し、声門裂は最大に開かれ、気管の横径は拡大し、その長さを増すものであるが、これらの器官の運動の変化と流速の変化によつて流線、渦流、渦乱流が変化して、流量が変つたゆゑに見られた変化であると思われる。

第19図の如く首を傾斜せしめた場合には、流線は更に歪み、傾斜した側に圧倒的にかたよる。即ち、不規則な異常呼吸運動や異常姿勢をとらない限り、一側鼻孔から吸入された空気は、少くとも気管上部において、すでに他側鼻孔から吸入された空気と完全に混合されることになる。

異常呼吸運動を行つたり、異常姿勢をとつた場合は、主として喉頭部を通過する際の流線の曲率半径に変化をきたすため、気管上部においてはまだ左右鼻孔から吸入された空気が混合しきれないものと考えられる。

第5節 小 括

1) 左右両側鼻孔から吸入された空気が、左右両肺に別々に吸入されるか、又は混合して左右の肺に平均に吸入されるかという問題を検討するために、次の3つの実験を行つた。

2) 第一に、左右鼻孔から別々に浮遊する粉末を吸入

せしめて後、これを剖見し、各葉の粉末の沈着状態を確かめた。

3) この際、吸入条件により前記3群を分けた。

4) その結果、左右別々に吸入された粉末は吸入条件のいかに拘わらず、気道のどこかで混合し、左右各葉にほとんど平等に吸引されておつた。

5) 第二に、鼻腔を含めた喉頭・気管・気管支の一連の標本を用いて、注水実験を行つた。

6) その結果、左右鼻孔から別々に注入された液体を量的に又質的に検討し、咽頭から気管分岐部までの過程中に左右のものは混合することが明かとなつた。

7) 第三に、人工気管を設置して、その内腔を通過する粉末粉子の数を検討した。

8) その結果、一側鼻孔からの吸気は、すでに気管上部で他側のものと混合し、それは反対側の鼻孔の開閉には全く関係がないことが明かとなつた。

9) 努力呼吸ならびに、首を傾斜せしめた場合は、それぞれ吸入側ならびに傾斜側の気管壁に沿うて吸入される。

10) 両側鼻孔からの吸気の混行は、喉頭部を通過する際の渦流ならびに渦乱流によつて行われるものと考えられる。

第4章 肺の拡張率に就いて

第1節 まえがき

喉頭・気管・気管支の生理を論ずる場合に、その終末に位する肺の生理を度外視しては全く解決が見出されないことは云うまでもない。

肺は、外から直接筋肉がついているものでなく、肺自身の中にも気管支等を取りまく滑平筋しかないから、肺自身が直接筋肉の働きで拡がつたり縮んだりすることはできない。肺は肺内外の圧の差で拡げられるが、その差が減じ、あるいは無くなつたりすれば肺組織はその弾性で縮むだけである。

又、呼吸をする場合に胸腔が広くなると胸腔内圧は下る。即ち、陰圧が増し肺は広がるので肺の縮もうとする力、即ち肺の収縮力が殖え、この陰圧が保たれる。胸腔の拡がり方、即ち吸息運動が大きい程、胸腔内陰圧はその値を増し、肺がそれだけ強く拡がり、肺の縮もうとする力がそれだけ殖えることになる。

現在までこの肺の拡がり方、拡がりの割合をみるためには、呼吸気量、肺活量、胸腔内圧 **Bronchspirometry** による規定、あるいは造影剤を注入してレ線で検索するなど、種々の研究が行われてきたが、いずれも呼

吸運動を介して間接的に行つておるのであつて、肺組織自体の有する弾性について直接これを取り出して検討しておる文献はほとんど見受けられない。

私はこのたび、豚ならびに人の摘出肺を用いて、肺自身の有する弾性ならびに弾性と支配気管枝の太さとの関係につき検討を加え、一応の結果を得たので報告する。

第2節 研究材料ならびに方法

材料は、新鮮な豚ならびに人屍の喉頭・気管・気管支・肺を一連として摘出した。

実験方法は、まず豚と肺を用いて、満水した一定の容器に虚脱状態のまま各葉別に鉗をつけて沈め、その排水量から各葉の容積を測定し、次に送気して肺を拡張せしめた状態のもとで、同様にしてその容積を測定し、後者の値から前者の値を差引いた差をもとにして、体積から拡張率を求めた。

又、以上の材料に石膏を注射し、各葉の支配気管支ならびに気管枝の太さを測定し、支配気管枝と拡張率との関係を検討した。

次に豚ならびに人の材料について、喉頭から 20~23 cm 水柱圧の陽圧で送気を行い、表在性の肺泡が全部拡張した瞬間から、常にそのまゝの状態を維持するように送気量を調節し、一定の大きいサイズの円型のゴム印（外径 32mm）を、肺の全表面にほぼ一定の間隔をおいて捺印し、終つて全部脱気し、ゴム印の型の長径と短径の方向

第20図 人肺の拡張状態（正面）

ならびにその距離を測定し、拡張の方向と拡張の割合とを求めた。

なお、拡張した肺の状態は、第20図ならびに第21図に示すとおりである。

第21図 人肺の拡張状態(右側面)

第22図 豚の摘出肺

第3節 豚の肺の解剖ならびに人の肺との比較

第22図、第23図、第24図、第25図において示してあるとおり、豚においては反刍類、食肉類と同様、両肺とも前後の二つの葉間切痕によつて尖葉、心葉、横隔膜葉に分たれ、さらに中間葉が存在し、これが右肺と結合して縦隔胸膜と空静脈との間の空所を占めている。それ故左肺は3葉、右肺は4葉からなる。

第23図 豚の肺背側面(肋面)

第24図 豚の摘出肺

第25図 豚の肺，腹側面（横隔面）

第26図 豚の気管支分岐

第27図 内視鏡像による比較

括弧内はカリナからの距離を表わす

(-) はカリナの上方を意味する

第27図において左側の内視鏡像は両者がやや一致しておるが、右側においては大部異なってくる。即ち、人間の上幹分岐堤に相当する豚の尖葉分岐堤は、その方向が近似しておるが、カリナのはるか上方に存在し、また、人間の内側肺底枝分岐堤に相当する豚の中間葉枝分岐堤は、人間より90°も変位し、あたかも中枝分岐堤の像を現わしめるものがある。人間の下葉気管枝分岐堤は、豚の横隔膜葉気管枝分岐堤ともに変化にとむ。

以上の解剖学的関係が判然としておると、以下に述べる実験成績も、ある程度人間の場合に置換えて推量もできるし、今後の人間の肺の成績と比較できる点興味深いと思う。

第4節 研究成績

第1項 支配気管支・枝と拡張率

まず各葉の拡張率は、その支配気管支・枝の直径に比例するのではないがと云う予想のもとに、次のような実験を行った。

拡張率を面積から求めて、その支配気管枝を決定する事は至難であるので、体積から求める事にした。

体積の拡張率を求めるには、最初に虚脱状態のまゝ各葉の容積を求めねばならない。そのためにまず各葉に十分ゆとりのある網の袋を用意してこれで包み、予め用意

又、人間と異なり、豚ならびに反嚙類においては、第26図に示すとおり、気管分岐の前に気管から右外方に尖葉に向ける側枝を1本分けておる。これを動脈上気道枝と云う。右気管支は心管に側枝を出した後、さらに中間葉に1本の気管枝を分け、下幹は横隔膜葉に行く。左気管支はまず1本の側枝を分ち、これがさらに分れて1本は尖葉に、他の1本は心葉に至る。ついで下幹は多くの枝に分れて左横隔膜葉に分布する。

以上の解剖学的関係を人間の場合に比較すると、豚の右尖葉、心葉、横隔膜葉はそれぞれ人間の右上葉、中葉、下葉に相当し、豚の右中間葉は人間の右下葉に包含される。

また、左尖葉ならびに心葉はそれぞれ人間の前上部ならびに舌部に相当し、共に左上葉に包含され、左横隔膜葉はそのまゝ左下葉に相当する。

さらに、内視鏡像に豚と人間とを比較すると一層その関係が明らかとなる。

した一定の容器に水を満たし、鍾をつけて各葉別に次々に沈め、その排水量を測定して各葉別の容積を求めた。次に咽頭から送気し、肺を一定の条件まで拡張せしめた状態で再び前回と同様、各葉別の容積を測定した。後者の値から前者の値を差引いた差は、各葉が一定の条件のもとで膨張した容積になるので、これをもとにして各葉別の拡張率を求めると第4表のようになる。

第4表 支配気管支・枝と拡張率との関係

部位	拡張率 % (虚脱肺)	虚脱容積 (cc)	膨張容積 (cc)	差 (cc)	拡張率 (%)	管の直径 (mm)
右肺葉						
尖葉		39	404	354	1881	9.41
心葉		45	350	305	1746	8.62
中間葉		40	200	160	1264	5.34
横隔膜葉		244	1286	1042	3228	12.53
全葉		368	2240	1872	4326	—
左肺葉						
尖心葉		80	284	204	1428	10.54
横隔膜葉		258	1661	1403	3745	13.36
全葉		338	1945	1607	4009	14.78

次にこの材料に石膏を注入し、各葉の支配気管支・枝の模型を作り、これをもとにして前後径と左右径を求め、両者の積の平方根を求めて代表の直径とした。

虚脱肺の各葉別の容積を比較すると、右尖葉、心葉、中間葉の三葉はいずれもほとんど同じ位であるが、横隔膜葉は右側が左側よりわずかに小さく、全葉としてみた場合は右側が大きい。

拡張した肺の各葉別容積を比較するに、右側の三葉の肺葉は明らかに差を同じ、尖葉、心葉、中間葉とほとんど同じ割合で拡張し、心葉、尖葉はこれ等より強く拡張したことになる。横隔膜葉は左側が大きい、全葉としては右側が大きい。

拡張した肺の容積から虚脱肺の容積を差引いた値は中間葉が最も少く、右尖葉はその2倍以上で、最も多い右全葉は11.7倍である。これより拡張率を求め、さきに求めた支配気管枝の直径と比較すると、第28図のような「グラフ」になる。即ち、右尖葉、心葉、中間葉等の小さな肺葉は、支配気管枝の直径と拡張率がよく比例するようにみえるが、大きな左右の横隔膜葉とか全葉とになると、歪が大となることが分つた。

今、肺の膨張容積から虚脱容積を差引いた差、つまり容積からみた拡張率が、全般的にみて支配気管枝の面積といかなる相関々係にあるかを、推計学的に検討してみたところ、相関々係数 $r=0.497$ となり、危険率は20～30%であると言う結果が得られた。これをみて容積に

よる拡張率は、支配気管枝の太さ（面積）と相関する傾向があると考えられる。

第2項 拡張方向

肺は周知の通り弾性臓器であるため、これを気管分枝部の部分で空間に固定した場合と、水平な台の上に安置した場合とでは、表面に捺印されたゴム印の型に多少の差がみられる。この点、印型の計測を行う場合に極めて不便であるが、私は両者の場合の計測値を比較検討して、次のような結果を得た。

(a) 豚の場合

第29図に示すとおり、背側面においては、両側とも

第28図 気管枝の太さと拡張率

第29図 豚の肺の拡張方向（背側面）

第30図 豚の肺の拡張方向(腹側面)

一般に縦の拡張よりも横の拡張の方が強く、従つて全体としては外側前方に強く拡張が現われた。

右尖葉では肺尖部が外側前上方に、又、右心葉では上部がやや外側下方に拡張する他は外側前方に拡張し、

右横隔膜葉では、全体として外側前方に拡張するが、鋭縁で上部程上方に拡張した。

左尖葉はほぼ同じような拡張方向を示すが、

左心葉は上部が前上方に、下部が前下方に、中央部が外側前方に強く拡張し、又、左横隔膜葉は、右側とほとんど同じ方向を示した。

中間葉はその中央部を中心として左右に拡張し、

縦隔面は左右とも鋭縁を基点として内側前方に拡張した。

第30図に示すとおり腹側面においては、左右とも尖葉ならびに心葉は周囲に均等に拡張し、

右中間葉は左廻りに周囲に向つて拡張した。

右横隔膜葉は外側前方に拡張が強く、印縁は一般に前上方に向い、殊に上部程その度が強かつた。

左横隔膜葉は、上部ならびに中部にお

いては、一度前下方に強く拡張するが、鋭縁に近づくにつれても右側よりも強く外側前上方に拡張していた。以上のことは心臓の存在部位とも併せて考えて興味がある。

(d) 人の場合

① 右 側

健全な肺においては第31図に示すとおり、前外側面では中葉は肺尖部において急角度に前上方に、それより下方に下るにつれて漸次その角度を減少する。後面からの移行部ではむしろ下方に行う。

下葉では、第二葉間切痕(副切痕)に接する部分では、後方ではやや強く前上方に向うが、前方に進むにつれてその角度を減ずる。葉間切痕に接する部分では、その経過にそつて前下方に拡張する。

下葉では葉間切痕に接する部分では極めて浅い角度で

第31図 正常肺の拡張方向(右肺)

第32図 正常肺の拡張方向(左肺)

前上方に行くが、後方では後上方から前外下方に下つた方向に拡張する。後面においては、肺尖に行く部分は上方に、上葉の下半分はそれぞれ外面と内面に向つて前下方に拡張する。

下葉では中央部は常に下方に向い、内外両面においてはそれぞれ前方に拡張する。

内側面においては、肺門部を中心として周囲に放線状に拡張するが、下葉においては後方はやゝ後下方に、前方においてはやゝ前上方に拡張する。

横隔面においては、その中心部より周囲に放線状に拡張する。

② 左 側

前外側面では、第32図に示すとおり上葉は後部では肺尖部に向い、真直上方に行くが、前上部では、横S字型の経過をとつて前上方に拡張し、舌葉部では、葉間切痕に接する一部では前下方に、それ以外の部分では前方に拡張する。下葉では前方の大部分はほぼ水平で前方に、後下方では下方に拡張する。

後面においては、中央部では上葉は肺尖部に向つて上方に、その両側では前上方に、下葉では中央部が下方に、それから外側、内側に向つてほとんど水平に前方に向う。

内側面では、肺門を中心として放線状に周囲に向つて拡張するが、下葉、肺門部の前下方では、特に下方に向つて拡張する率が大である。

横隔面ではやはりその中心部を中心として周囲に向つて拡張するが、特に内後縁が後内方へ拡張する率が少いのは、心臓の存在が考慮される。

③ 病 巣 肺

病巣肺の場合は、病巣のある肺葉毎に、正常に比しやゝ複雑な拡張方向を示しておる。その複雑さは病巣の位置、大きさ、表面にあるか深部にあるか、又、病巣自体の性質等によつてその度合が異なつてくる。そしてその度合は、病巣が大きい程、又病巣が表在性であるほど強く現われる。

1,2の例を示すと、第33図は、右肺の深部に、小指頭大から鳩卵大の多くの

結核結節ならびに空洞を有する病巣肺の拡張方向を現わしたものであるが、拡張方向が局所、局所によつて非常に多岐にわたつておるのが目につく。

第34図の左肺は、葉間切痕を挟んで、上下二葉にまたがつて病巣が存在しておつた例で、病巣は表在性で硬く、かつ変色しておる。病巣部の拡張方向は限局性で、小さく多岐にわたつておる。病巣から離れた部分の拡張方向は、正常に近い成績を示しておる。

(c) 両者の比較

各葉とも、豚よりも人の肺が拡張方向が複雑である。殊に横隔面の拡張方向が、人の場合は放線状に周囲に向つておるのに、豚は、単に外方に拡張し、たゞ辺縁では前上方に拡張する。背面においても人の場合は上方ならびに下方への拡張が著明である。内側面において、肺門

第33図 病巣肺の拡張方向（右肺）

第34図 病巣肺の拡張方向（左肺）

を中心としての周囲への拡張は、豚の場合は余り著明ではない。

第3項 拡張率

(a) 豚の場合

一般に背側面は腹側面よりも拡張率が大である。

第35図の背側面、即ち肋面ならびに縦隔面においては、全体としてみると拡張率の大なる部分は、左右の肋面中央部と右尖葉中央部で、左側は右側よりやや広い部分を占めている。

最も拡張率の大なる部分は、右尖葉の中央下部で5.41倍を示し、次が左横隔膜葉中央上部ならびに中心葉中央下部で、それぞれ5.36倍、5.25倍となつておる。

逆に、拡張率の低い部分は、左右とも肺門部ならびに、それより下の鈍縁から縦隔面にわたる部分で、さら

に左右の尖葉、心葉の前端、横隔膜葉下端、中間葉、左尖葉の肺尖部等は、いずれも2.0~3.0倍の拡張率を示した。特に左肺門部の縦隔面の一点では、わずかに1.57倍を示すに過ぎない所もある。

第36図の腹側面、即ち横膈面においては、左側は右側より拡張率が大で、殊に左横隔膜葉の大部分と心葉下半部、尖葉の一部、右中間葉の一部、右心葉下面、右横隔膜葉の上方の一局部は、ともに拡張率が高く、3.0~4.0倍を示した。なお、右中間葉の左側に面する外側面は、腹側面における最高の拡張率を示し、4.19倍となつておる。残りは総て拡張率が低く、2.0~3.0倍に過ぎないが、中でも左横隔膜葉下端の一部分は1.62倍を示した。背側面、腹側面を併せてみても、拡張率の最高ならびに最低は、ともに背側面が占めておる。

第35図 豚の肺の拡張率（背側面）

第36図 豚の肺の拡張率（腹側面）

第37図 正常肺の拡張率（右肺）

第5表 人の正常肺の拡張率

部位	面	前外側面	後面	内側面	横膈面	平均
右肺葉	上葉	3.55	2.44	2.79	—	2.857
	中葉	3.75	—	3.15	—	3.423
	下葉	2.62	2.59	2.54	2.66	2.602
	平均	3.227	2.514	2.804	2.656	2.838
左肺葉	上葉	4.66	3.99	2.37	—	3.38
	下葉	3.26	2.37	2.34	2.94	2.67
	平均	3.836	2.974	2.357	2.940	2.938

(b) 人の場合

① 右側

第5表ならびに第37図に示すとおり健全なる肺では、前外側面においては中葉も最も拡張率がよく、3.75倍を示し、次が上葉の3.55倍、下葉は最も悪く、2.62倍である。前外側面全体としての平

均は3.227倍で、右肺の中でも他の後面(背側面)、内側面、横隔面を圧倒して第一位を占めておる。

外側面の中でも中葉、上葉が拡張率が大き、上葉後下部、下葉の大部分は拡張率が小で、殊に後下部は2.0~2.5倍の拡張率を占めておるに過ぎない。最も拡張率の高い部分は、中葉外面中央部ならびに肺尖部でそれぞれ4.27倍、4.35倍を占めておる。

後面は右側肺の中で最も拡張率が悪く、殊に葉間切痕にその部分から正中線を下方に下る中央部と外下方ならびに縦隔面に移行する部分が2.0~2.5倍となり、下葉外下面の一部分は、わずかに拡張率が1.88倍を示すに過ぎない。

内側面は前外側面について拡張率が良く、中葉、上葉、下葉の順で、それぞれ3.15倍、2.79倍、2.54倍を

示しておる。内側面全体としてみると、後方が悪く前半が良くなつておる。

横隔面では、外縁寄りの一局部が拡張率が主く、内縁寄りには高くなり、全体としてみると下葉の中ではこの横隔面が最も拡張率がよくなつておる。拡張率の悪い外縁寄りの一部分は1.880倍となり、前に述べた背側面の下葉外下端の部分と同じ値を示し、右葉全体としてみた場合の最低値を示しておる。

② 左 側

第5表ならびに第38図に示すとおり、左外側面は、平均拡張率が、3.836倍となり、全面の中で最も拡張率が高くなつておる。即ち、右側、前外側面の3.227倍よりもはるかに高い値を示しておる。殊に上葉中央部は5.0~6.0倍の値を有し、その中央部の一部分は7.450倍と

言う高い値で、全肺野中真の最高値を示しておる。下葉上後方の一部分が20~2.5倍を示す他は皆それより高い倍率を有しておる。左側葉外面の4.66倍と云う値は、全葉の全部分の中でも最も高い平均値となつてゐる。

後面(背側面)は、上下併せて2.974倍となり、左側では第二位となつておる。上葉下部は上葉外側面中央部と同様5.0~6.0倍の高率を示しており、上葉の中では外面について拡張率がよくなつてゐる。

内側面は上・下葉併せて2.357倍となり、左側の中で最も拡張率が悪くなつておる。上・下葉ともに各面の中で最近位を占め、殊に下葉内面の2.34倍は、左右併せての各葉各面の中で最低位を占めておる。

横隔面は2.94倍で、左側では第三位を占めておるが、右側に比べればわずかに大である。

さて、左右併せて拡張率をみた場合、

第5表に示すとおり右肺の平均は2.838倍で左肺の2.938倍より0.1だけ小さく、各葉別にみるに上葉も下葉もいずれも左側が右側より大となつておる。但し、右中葉は、3.423倍で最も拡張率がよく、左側葉といえども、やゝこれよりは悪くなつておる。さらに各面からみた

第38図 正常肺の拡張率(左肺)

第39図 病巣肺の拡張率(右肺)

場合、平均値では左前外側面の3.836倍が最も高く、ついで右前外側面の3.227倍、左背側面の2.974倍の順で、最低は左内側面の2.357倍である。

③ 病巣肺

右側は比較的深部に多数の病巣を示す例であるが、第6表ならびに第39図に示すとおり、右側全体としての拡張率は、正常に比し、約0.71低くなり、これを拡張率の良い順に並べると、内側面、前外側面、後側、横隔面の順となり、最高拡張率を有する内側面の2.228倍でさえ、正常場合の最低値を占める後側にも及ばない状態である。拡張率の良い部分と悪い部分との割合も大いに異なり、正常の場合最も良い上・中葉外側面が、病的な場合はわずか1〜2倍を示すにすぎず、後面でも上葉が非常に率が低下し、内側も全体的に低下し、殊に中葉においてその差が著明である。また、そうかと思うと鳥のように、一局部が代償性に拡張率がよくなったりしておるのが各側において目につく。最も拡張率の悪いのは横隔面の前端の一部分で1.515倍を示しているに過ぎ

ない。これは正常の場合の最低値よりもまだ低い。しかし拡張率の良い一局部では、正常の場合より更に上廻っておる部分もある。

第6表ならびに第40図に示すとおり、左側は葉間切痕にそうて表在性の病巣の存する場合で、拡張率は全体的に低下しておる。拡張率の最高値を占むる左側葉内側面の2.41倍でさえも正常の上葉外側面の4.66倍の約半分に過ぎず、内側面下葉の1.76倍は正常の場合の同部分の最低値2.34倍よりはるかに下廻っておる。全体的にみて拡張率は低下しておるばかりでなく幅も狭くなっておる。表在性病巣部だけの平均は1.618倍で、下葉内側よりさらに低く、病巣部の一部分の1.342倍は、実に左肺全体の最低拡張率を示しておつた。

(c) 両者の比較

部位的にみて、豚は、下葉背面の大きな部分の拡張率が良くなつており、人よりその範囲が下方に延長しておつた。内面は左側が心臓の存在のため、拡張率が低下しておるのは人の場合と同様である。

第5節 考 按

私は、この実験を行うに当り、動物からは豚の肺を用いたが、その理由は、豚は哺乳動物であると言うことと、肺胸膜が他の動物よりも厚くて、肺く摘出する場合も実験中にも、あやまつて肺組織を損うことが少なかったからである。

又、虚脱状態の肺にゴム印を押してから、空気を入れて拡張させてもよいのであるが、こうすると、押されたゴム印の形は、しばしば肺の拡張にとまなつて不鮮明になり、計測に支障をきたすおそれがあつたので、逆に拡張した肺に捺印してから全部空気を出し

て、ゴム印の長径と短径を計測した。いづれにしても同じ結果が得られるから、やり易い方を取つただけである。

豚の肺と人の肺における実験成績を比較する上に、両者の肺の解剖学的比較が重要であると思われたので、まずこれについて述べたが、その詳細は前述の通りである。

われわれが呼吸をする場合に、胸廓の拡張は肋骨、胸骨、脊柱および横隔膜の運動によつて起る。その拡がり方は一樣ではなく、主として横隔膜の収縮によつて下方に、肋骨の挙上によつて横に、胸骨の前方および上方への運動によつて前

第6表 人の病巣肺の拡張率

部位	面	外側面	後 面	内側面	横隔面	平均
右肺	上葉	2.00	1.87	2.27	—	2.034
	中葉	2.05	—	1.85	—	1.942
	下葉	2.60	2.34	2.74	1.98	2.378
	平均	2.185	2.079	2.228	1.979	2.149
左肺	上葉	2.19	2.13	2.41	—	2.237
	下葉	1.96	1.80	1.76	2.14	1.902
	平均	2.065	1.953	2.031	2.142	2.033
病巣部		1.618				

第40図 病巣肺の拡張率（左肺）

方に拡がるが、後方はほとんど脊柱でさえぎられて拡がらない。

一体肺のしぼむ力は、肺組織の弾力線維による眞の弾性と表面張力の和である。しかして表面張力とは、肺胞および気管枝梢内側などに働く液体と気体との接触面における表面張力のことを言い、眞の弾性の2～3倍にも相当すると言われる。

私は、この肺のしぼむ力を拡張率で、しぼむ方向を拡張方向で表わした。実験の手初めとして、まず豚の肺について検討し、容積からみた拡張率は支配気管枝の太さと相関する傾せがあることを証明した。

（相関係数0.497, 危険率20～30%）

しかして、さらにその拡張はどのような方向に、どのような割合で行われるかを、豚ならびに人の肺について検討したので、以下これらについて多少の考按を加えてみた。

山本は Dupputrenen (1836) によつて初めて皮膚に試みられた罅隙線法を犬ならびに人の肺の表面に応用し、結合組織の走行を検討したが、その結果、犬および人の肺表面の罅隙線の基礎様式は同一で、肺門を中心として放射線状に出ており、犬では各葉の分離がはなはだしく、各葉の表面に作られた罅隙線の方向は互に連絡しておると述べている。私の豚の肺の拡張方向をみると、動物差を認めるとしても、山本の犬の肺の罅隙線の傾向に全部一致しておるとは云えず、人の肺においても内側面の一部に幾分相関連する傾向が認められる他は、大部分を占める前外側面ならびに後面では、ほとんど関連性が認められない。しかして山本は罅隙線の方向から考えて、犬の各肺葉は機能的に独立の性状を有し、人の各肺葉は独立せず互に相関連した関係にあるものと思われると述べておるが、私の場合は拡張方向が、豚の場合でも、中間葉を除いてはいずれも関連性を有し、また、人の場合は各葉がさらに密接な機能的関連性を保つておると言える。

一体、罅隙線の方向は前述のとおり拡張組織の走行を示すもので、肺の場合その出現に際して重要な意義を持つものは Hypopleura の深層であると言われておるので、この方向だけが直ちに拡張方向に一致するとは断定できないようである。

人の肺と豚の肺の拡張方向を比較すると、人の場合の方が複雑で、横隔膜においては人の場合は放射線状に周囲に向つておるのに、豚においては主として単に外方にのみ拡張しておる。また内側面においても、人の場合は肺

門を中心として周囲に拡張しておるのに、豚においては左程著明には認められない。

また、病巣肺の場合は、前述のとおり拡張方向は複雑となり、その度合も病巣の位置、大きさ、表在性が深在性かによつて異つてくる。

Meltzer, Flack-Hill を始め多くの学者によると、肺は全部一様に一時に拡がるものではなく、横隔膜および胸廓の前面・側面に接しておる部分が最も早くかつ強く拡がり、肺門の部分は大きな血管や気管支があるので、全体としてみた場合は拡がり難いし、又肺門および脊柱附近の部分や肺尖は主に、横隔膜の収縮によつて下方に動き、かつ拡がるという。以上の成績と私の実験成績を比較すると大体同じような結果が得られておることがわかる。

即ち、豚も人も左側が右側より拡張率が大きい、豚の場合は背側面が腹側面よりも拡張率が大き、さらに詳しくみると、左右肋面中央部と右尖葉中央部がよくて、肺門部鈍縁、縦隔面について尖葉・心葉の前端、右横隔膜葉腹側面はわるい。人の場合には第5表に示すとおり、左肺は2.938倍で右肺の2.838倍よりも大きい。各葉別にみると中葉が最も拡張率が大きで3.423倍を示し、ついで左上葉の3.38倍、右上葉の2.857倍で、最もわるいのは右下葉の2.602倍である。さらに各面についてみた場合、左側外側面が3.836倍で最も高く、ついで右前外側面の3.227倍、左後面の2.974倍となり、最低は左内側面の2.357倍である。

横隔膜は豚も人もともに先人の言うほど拡張率がよくはないが、いずれも左側が右側よりも良く、人の場合は左側2.940倍、右側2.656倍を示しておつた。

また、病巣肺の場合は一般に拡張率がわるくなり、その度合は病巣の位置、大きさ、表在性が深在性かによつて異なつてくる。

第6節 小 括

1) 私は、新鮮な豚ならびに人屍から得た気管・気管支・肺の一連の標本をもとにして、正常肺ならびに病的肺の拡張方向、拡張率につき検討を加え、次の結果を得た。

2) 研究成績を発表する前に、一応豚の肺の解剖を明かにし、人間の肺と比較検討し、さらに内視鏡についても言及した。即ち、左側の内視鏡像は両者がほぼ一致しておるが、右側は大いに異つておつた。

3) まず拡張率は、その支配気管支・枝の直径に比例する事を実験的に証明したが、直径が太くなる程歪も大

きくなるのを認めた。

4) 拡張方向は、人の肺は豚に比しやゝ複雑で、前外側面では前方ならびに前上方に、横隔面においては周囲に向つて拡張する。病巣肺においてはさらに複雑多岐にわたる。

5) 拡張率は、豚も人も概して左側が右側よりも良く、人の場合はそれぞれ 2.938 倍、2.838 倍を示し、左上葉外側面が最も拡張率が大きく 4.66 倍を示すが、左下葉内側面は最も悪く、2.34 倍を示すにすぎない。

6) 病巣肺においては一般に拡張率が悪くなるが、病巣の位置、性質、数ならびに表在性が深在性かの有無により、大いに局部的変化を異にし、数が多い程、広範な程、拡張率は低下してあつた。

第5章 総 括

以上を総括すると、気道生理に関する先人の業績は、現在までいづれも個々の部分について論じておるだけで、鼻腔から喉頭・気管・気管支・肺と一連の気道生理について検討しておるものはほとんど認められない。私はこのたび喉頭・気管・気管支を一連とした分流・合流・流線の実験を行い、いさゝか知見を得たと信ずるので、その結果を発表した。

私はまず、人屍から摘出した舌・喉頭・気管・気管支の一連の標本を垂直に保ち、上から種々の条件のもとに水を注いで、左右気管支における排水量の割合を比較検討したところ、右気管支の左気管支に対する排水量の比は、喉頭蓋軟骨上面に水柱をあてた場合が最も少く、右側は左側の 1.568 倍であつたが、声帶上部にあてた場合が最も多く、3.685 倍を示した。なお咽頭後壁にあてた場合はその中間に位しておつた。

次に、水柱をあてる部位ならびに水柱をあてる方向によつて、さらに詳細に検討したところ、水柱をあてる条件を色々に変えても割合に変動の少なかつたのは咽頭後壁で、特に咽頭後壁中央に水柱をあてた場合の値は、1.776 倍であつた。

別に、同じ材料について数学的検討を加え、理論値を求めてみたら、単位時間における流水量は右気管支が左気管支の 1.786 倍で、咽頭後壁中央に水柱をあてた場合の値に最も近かつた。これらのことから、自然気道を経て吸入された流体は、咽頭後壁中央部を経て喉頭・気管と進んで行つた場合が最も自然な経過をとり、無理がなく左右の気管支に分れて行くことが分つた。

なお、模型により、水を用いて気道内各部の流線・主流・渦流・渦乱流の状態を、吸気時はもとより呼気時に

ついても検討し、喉頭蓋軟骨、前後連合の上下にある凹部で、流水の方向と速度に相当した渦流ならびに渦乱流が生ずることを実験的に証明し、これらの渦流ならびに渦乱流が、理論値と実験値との間の誤差をはじめ、各条件のもとに測定した実験値間の差を生ぜしめるのに重要な役割を占めたものであらうと結論した。

次に私は、気道の左右別について三種の実験を行い、これを検討した。即ち、まず第一に犬を用いてアルミニウム末ならびに炭末を浮游した吸気を各種条件のもとに吸入せしめ、人工的塵肺を作らせた後、剖見して粉末の沈着状態を検討したところ、各肺葉には左右の別なくほとんど平等に両粉末が沈着しておるのを認めた。

第二に犬の頭部・気管・気管支を一連として摘出した標本を用い、左右鼻孔から水を注入して実験した結果、注入された水の量と左右気管支断端から排泄される水の量からみて、どうしても理論的に、鼻孔から左右気管支断端に至る経過のどこかで、左右の水が混合されねばならないことが予想せられる。そこで、各種条件のもとに両側鼻孔から水を注入し、一侧鼻孔から注入される液だけに赤血球を浮游せしめ、左右気管支断端から排泄される液の赤血球数を検討したところ、左右の間に有意の差がないことが分つた。即ち、この実験により左右鼻孔から別々に注入された液は、後鼻存から気管下端に至るまでの経過のうちに完全に左右のものが混合され、左右の肺に混合された形で吸入されてゆくことが明らかとなつた。

しからば、これらの結合はどこで行われるかと云うことを検討するために、次の

第三の実験を行つた。即ち、犬の上部気管内に吸気だけが一方的に入るように弁を取付けた人工気管を挿入し、こゝで左右別鼻々の孔から吸入された吸気中に含まれるアルミニウム粉末の混合の割合を検討した結果、安静呼吸の際に左右のものはすでに完全に混合し切つておることを証明した。しかし急激な強い努力呼吸の際や、首を傾斜せしめた場合は混合が不十分であることが分つた。

以上の三つの実験により、左右別々の鼻孔される空気は、気管上部においてすでに完全に左右のものが混合されており、これらの混合は恐らくは喉頭蓋軟骨、前後連合部の上下に生ずる渦流ならびに渦乱流により行われるものであらうと結論した。

喉頭・気管・気管支の生理を論ずる場合にその終末に位する肺の生理、特に肺の弾性を度外視しては全く解決

が見出せないことは云うまでもないことだ。しかし未だ支配気管支と各肺葉の弾性との関係や、肺組織自体の関する弾性について直接これを検討しておる文献はほとんど見受けられない。

私は、豚の摘出肺を用いて、拡張肺の容積から虚脱肺の容積を引いた値、つまり体積による拡張率が、それぞれ支配気管枝の太さ(面積)と相関する傾向があることを実験的に証明した。

次に豚ならびに人の肺の拡張率につき詳細なる検討を加えた結果、拡張方向は豚よりも人の方がやや複雑で、横隔面は放射状に周囲に向つており、辺縁では前上方に拡張し、背面では上方ならびに下方への拡張が著明である。病巣肺においてさらに複雑多岐にわたることがわかつた。

拡張率は豚も人も左側が右側よりも良く、豚の場合は背側面が腹側面よりも大きい。人の場合には中葉が最も拡張率が人で3.423倍を示し、ついで左右上葉、最も悪いのは右下葉の2.602倍で、各面別にみると左前外側面が3.836倍で最も高く、ついで右前外側面、左後側の順になり、内側面、ことに左内側面は2.357倍で最も悪い。横隔面はいずれも左側が右側よりも大で、人の場合には左側2.9940倍、右側2.656倍となつておつた。病巣肺は一般に拡張率が悪いが、その程度は病巣の位置、性質、数ならびに表在性が深在性かの有無により、大いに異なつてくることを認めた。

第6章 結 論

1) 私は、人屍から摘出した舌・喉頭・気管・気管支の一連の標本を用い、水を用いて流体力学的観察を行つた。

2) 一方この標本を用いて、数学的に理論値を求めると、単位時間における流水量は、右気管支が左気管支の1.786倍となつたが、この値は、先の実験において咽頭後壁中央に水柱をあてた場合に、最も近い値をとつていた。

3) 理論値と実験値との誤差は、喉頭・気管・気管支内の渦乱流ならびに渦流によるものであることを実験的に証明した。

4) 左右の鼻孔から吸入された空気が、左右両肺に別別に吸入されるか、又は混合して左右の肺に平等に吸入されるかと云う問題を、三つの実験のもとに検討し、次の結果を得た。

5) すなわち、一側鼻孔から吸入された吸気は、既に上気道において他側のものと混合し、両側肺に平等に吸

入される。しかして更に末梢の各肺葉に平均に吸入されると云うことは、反対側の鼻孔の開閉には関係がない。

6) 努力呼吸ならびに首を傾斜せしめた場合は、別にこれを考える。

7) 両側鼻孔からの吸気の混合は、喉頭部を通過する際の渦流ならびに渦乱流により行われるものと考えられる。

8) 豚ならびに人の摘出肺を用いて拡張方向、拡張率を詳細に計測して次の結果を得た。

9) 即ち、人の肺の拡張方向は豚よりも複雑で病巣を有する場合はさらに複雑となる。

10) 拡張率は、その支配気管支・枝の直径に比例する。

11) 拡張率は、人も豚も左側が右側より良く、人では左上葉外側面が最も拡張率が大きく、左下葉内側面は最も悪くなつていた。

12) 病巣肺においては、一般に拡張率が悪く、その度合は、病巣の位置、性質、数ならびに表在性が深在性かにより異なる。

文 献

- 1) Andrus, P.M.: Ann. Rev. Tuberc., 33, 139, (1936). (Mechanism of respiration).
- 2) Arthur, W., Proetz, A.B.: Essays on the Applied Physiology of the Nose. (1941).
- 3) 朝比奈一男: 肺活量と体位に関する研究医学と生物学, 20; 3, 114, (1951).
- 4) 浅川充太郎: 犬の肺葉及び気管, 順天医事研究会誌, 576, 50. (1936).
- 5) 栗田口省吾: 肺結核患者の気管枝肺活量測定法及びその応用, 日耳鼻, 54; 1, 36, (1951).
- 6) Baldwin, E. et al: Medicine 27, 243, (1948). (pulmonary Insufficiency).
- 7) Beer: Arch. Physiol. (1992), Suppl. Bd.
- 8) Brunnings: Die direkte Laryngoskopie usw. Bergmann, (1910).
- 9) Dormer, B.A.: American Rev. Tuberc. 52, (1945).
- 10) Ewald: Zit. n. Skramlik. Heymans H. ndb. Laryngol. u. Rhinol. Bd. 1, (1898).
- 11) Fleisch, A.: Ergebn. d. Physiol. 36, 249, (1934). (Mechanism of respiration).
- 12) 藤井: グレンツゲビート, 11, (1937).
- 13) 藤田敏彦, 佐武安太郎: 生理学講義(上), 南山堂, 151, (1951).
- 14) 古尾芳雄: 医学統計法の理論とその応用, (1944).
- 15) Geaham: Jour. American Med. Asso. 75, 992. (1920).
- 16) Geaham, E.A.: Medicine 3, 417, (1924). (Pneumothorax).
- 17) Golla u. Symes: J. Physiol. Bd. 45, (1912).
- 18) Goryll-

- os: American Jour. Med. Sci. 184, 523, (1937).
- 19) 長谷部三郎: 気管の塵埃排出力及びその阻止作用. 20) 長谷川渙: 呼吸気流に関する研究, 日生理会誌, 13; 9, 419, (1951). 21) 橋本謙男: 喉頭気管気管支の流体力学的研究(第1報), 日気食会報, 3; 1, 16, (1952). 22) 橋本謙男: 肺の拡張率に就て, 日気食会報, 4; 4, 142, (1953). 23) 橋本謙男: 肺の拡張率に就て, 日気食会報, 5; 4, 157, (1954). 24) 橋本謙男: 気道における分流合流に関する実験的研究, 日気食会報, 6; 1, 34, (1955). 25) 橋本泰彦: 気管気管支の生理特に気管支鏡的操作と肺機能, 日気食会報, 4; 2, 29, (1953). 26) 橋本泰彦: 喉頭気管気管支の流体力学的観察, 分流合流の観察と臨床的意義, 日気食会報, 4; 2, 42, (1953). 27) 橋本泰彦: 気道気管支の生理, 日医大誌, 21; 8, 627, (1954). 28) 橋本泰彦, 中村兼利: レ線による気管気管支動態観察, 科学試験研究報告集録医学編, 28; 237, (1953). 29) 橋本泰彦, 宮崎鬼一, 中村兼利: 肺機能検査法に関する研究(3) Moljodol 法による肺機能検査法(Bronchspirometry 併用), 日医大誌, 20; 1, 94, (1953). 30) 橋本泰彦, 宮崎鬼一, 中村兼利: 気管支鏡的肺容量検査法に関する臨床並に実験的研究, 日医大誌, 18; 1, 67, (1951). 31) 平山正健: 気管及び喉頭における気流, (1) 呼吸, 耳喉, 11; 6, 563, (1938). 32) Hoffmann, P.: Abderhalden's Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Würzburg V. 411, 4, 11, 1629, (1927). (Intrapleural pressure). 33) Hutchinson, John: On the Capacity of the Lungs and on the Respiratory Functions, Med. Chir. Tr., London 29: 137, (1846). 34) 飯田武雄: 気管分岐部の運動状態, 耳喉, 10; 6, 561, (1937). 35) 石川崇一: 生体レ線活動写真による気管支運動の研究, 日外会誌, 48; 1~5, 11, (1947). 36) 石川知福: 塵埃の気道沈着に関する実験, 日連合衛生会報, 5; 29, (1933). 37) 板津三良: 気管支運動並に機能の「レントゲン」学的研究, 日医学放射線誌, 1; 8, 645, (1941). 38) 岩男: 東西医学, 4; (1937). 39) 香川香三郎: 気管支側面像(図説), 日臨結, 9; 5, 225, (1950). 40) Kahn: Arch. physiol. (1907). 41) 河合源二: レ線学的に測定せる肺野面積と肺活量並に体格との関係に就て, 十全会誌, 47; 11, 2532, (1942). 42) 北村省三, 松下文一, 樺引陽二, 木田博: 人体における左右別呼吸曲線の同的描記法とその曲線, 日生理会誌, 14; 4, 171, (1952). 43) 神津克己: 主要気管枝の形態的検察, 日気食会報, 2; 3~4, 26, (1951). 44) 楠本栄三郎: 気管枝の薬理及び生理に就て, 福岡医誌, 35; 7, 675, (1942). 45) 三友義雄: Bronchogramによる人工気胸虚脱の再検討(日本鋼管), 結核, 25; 9~11, 592, (1950). 46) 宮崎鬼一: 気管枝肺容量測定に関する実験的研究, 日医大誌, 20; 4, 349, (1953). 47) 宮崎鬼一: 気管枝肺容量検査法に関する研究, (3) 臨床的観察, 日医大誌, 20; 1, 89, (1953). 48) 森万壽夫: 正常肺及び虚脱肺の気管枝の形態, 日臨結, 9; 7, 322, (1950). 49) 森戸浩: 屍体肺門部レ線像の病理学的研究, 特に気管支との関係, 日病理会誌, 30; 286, (1940). 50) 中村兼利, 宮崎鬼一, 川角武士: 呼吸機能検査法に関する研究(造影剤排泄機序と肺容量検査の比較観察), 日医大誌, 20; 1, 97, (1953). 51) 中村善紀, 五十川義彦, 本間賢吾: 気管枝造影像による人工気胸虚脱肺の再検討, 日臨床結核, 10; 23, 87, (1951). 52) 中根正勝, 森万壽夫: 気管枝造影術による肺結核虚脱療法と気管枝の関係, 結核, 23; 9~10, 84, (1948). 53) 戒瀬昇, 安藤良輝, 溝淵浩: 不透明肺, 特にその呼吸機能について, 日胸外誌, 2; 4, 315, (1954). 54) Nicaise: Zit. u. Jiegstedt. Lehrb. Rhinol. 9, Kap. 55) 小野田嘉明: 気管・気管支の流体力学的観察, 特に気管・気管支の流量測定に就いて, 日気食会報, 4; 4, 117, (1953). 56) 小野田嘉明: 気管枝内流速, 流量, 日気食会報, 3; 4, 134, (1952). 57) Rohrer: Pflügers Arch. Bd. 162, (1915). 58) Roy & Brown: J. physiol. Vol. 6, (1885). 59) 酒井由夫: 呼吸器内における気流の研究, 附 鼻中隔彎曲と肺臓罹患側との関係, 結核, 5; (1927). 60) 笹木浩: 新しい肺生理学の確立と呼吸と循環, 1; 2, 68, (1953). 61) 佐藤浩: 上気道と空気が通る事によつて生ずる呼吸反射, 日生理会誌, 17; 3, 176, (1955). 62) 佐藤清一郎, 藤井金吾: 造影剤による気管支運動の研究, 特にレ線キモグラフィーによる観察, グレンツ, 10; 4, 807, (1936). 63) 佐藤清一郎: ブロンコグラフィに就て, 特に気管支の運動・収縮・拡張問題, 東京医肺誌, 2976, 1076, 1019, (1936). 64) 佐藤先: 活量の研究, 肺活量に及ぼす体位の影響, 綜合医学, 10; 7, 366, (1953). 65) 佐藤先: 肺活量の測定法, 綜合医学, 9; 9, 499, (1952). 66) 佐藤先: 肺活量の研究, (1) 肺活量定量決定, 日生理誌, 14; 4, 175, (1952). 67) 条井金

舌: 肺の虚脱療法と気管枝の態度, 結核の臨床, 2; 9, 1187, (1939). 68) 条井金吾, 飯田晟: 気管枝運動に関する研究(レ線キモグラフィーによる臨床的並に実験的観察), (1) 正常気管枝の運動, (綜説) グレンツゲビート, 11; 1, 1555, (1937). 69) 田多井恭子, 山田道弘: 学童の肺活量と最大換気量に関する研究, (1) 予報的研究, 体力科学, 3; 4, 130, (1954). 70) V.E. Stutz: Fortschritte auf der Gebiete der Röntgenstrahlen Vereinigt mit Röntgenpraxis. 11 Bd. 72, Hett 2, (1949). 71) 渡辺太郎: 気管枝造影法の歴史, 順天堂医事研究会誌, 574, 16, (1935). 72) 山田道弘, 多井吉之介: 健康成人の肺活量, 最大呼吸速度(英文) The Japanese Journal of Physiology 4; 3, 246 (1954). 73) 山田道弘: 成人男子の年齢別肺活量と最大換気量の正常値, 体力科学, 3; 4, 121,

(1954). 74) 山田道弘: 老人肺活量と最大換気量の変化に関する研究, 体力科学, 3; 4, 127, (1954). 75) 山田政明: 喉頭諸軟骨気管及び肺臓表面における罅隙線に就いて, 医学研究, 20; 9, 923, (1950).

擱筆するに臨み, 御懷篤なる御指導と御校閲を賜わつた恩師金野巖教授ならびに, 実験に当り種々の御指示を戴いた嶋誠一博士に深甚なる感謝の意を表する。

なお, 本論文は, 昭和27年文部省科学研究費の交付を受けた。ここに記して感謝の意を表する。

(原稿到着=昭和31.12.22日)

THE BRONKOSKOPIC MEASUREMENTS AND RHEOLOGICAL OBSERVATIONS OF THE LARYNX, TRACHEA, AND BRONCHI

By

K. HASHIMOTO

*Department of Oto-Rhino-Laryngology, Iwate Medical College
(Director: Prof. Iwao Konno M.D.)*

In the part II, the author reported rheologic study of the airpassage from the nasal cavity to the lungs. When the air was inspired along the central portion of the posterior pharyngeal wall and divided into right and left bronchus, the values obtained were nearest to the theoretical value.

The inspired air through the both nostrils was completely mixed in the upper respiratory tract by an air eddy or a whirlpool and sent evenly in to both lungs. Furthermore, an expansion direction and expansion rate of the lung were studied using extripated lungs. Thus the expansion rate of the lung was experimentally proved that it was in proportion to the diameter of the bronchus.