

人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関する研究 (第 1 報)

第 1 篇 家兎剔出肺による実験的観察

京都大学医学部内科第三講座 (担当 前川孫二郎教授)
国立療養所春霞園 (園長 工藤 敏夫博士)

山 本 善 信

(昭和 26 年 12 月 13 日受付)

第一章 緒 言

西歴 1882 年 Forlanini¹⁾ により人工気胸療法が創始せられた当時、人工気胸療法の効果は、肺臓の萎縮と静止とにより招来せられるものであると単純に考えられ、従つて、完全な肺虚脱を目的として人工気胸療法が実施せられていたのは、周知の事実である。

ところが、Ascoli²⁾、Gwerder³⁾ 等は、人工気胸療法の効果を挙げるには、一般的に肺臓の緊張を緩解するのみで充分であるということを臨床的観察により立証した。爾来、人工気胸療法は、特別の場合を除いて、この Ascoli²⁾ による低圧気胸、Gwerder³⁾ による弛緩気胸の程度の肺虚脱度を以つて実施せられている。しかし、この際、虚脱肺の呼吸運動の様相については、充分に検討せられていない。文献によると、村上・田口⁴⁾、篠井⁵⁾、Dormer 等⁶⁾ は、人工気胸により、虚脱肺は必ずしも安静とならず、寧ろ運動を強化される場合のあることを指摘し、他方、熊谷⁷⁾、菅沼⁸⁾、坂本⁹⁾ 等は、それぞれ、人工気胸療法に関する綜説的著書において、人工気胸療法奏効の理由を肺の萎縮及び安静によるものであると紹介しているのである。

以上のように、虚脱肺の呼吸運動について考察するならば、研究者により区々の結論を見ているのであるが、著者は、その理由を、条件を考慮することなく症例が観察されたことによるものと指摘することができた。すなわち、著者は、人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関与する諸条件を吟味しつつ、虚脱肺の呼吸運動を解析観察したのである。その概略は、既に著者¹⁰⁾ の発表したところであるが、著者は、以下 3 篇にわたつて詳細に、これを論述する心算である。

まず、第 1 篇においては、剔出直後の家兎肺臓を用いて、人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関する基本的法則を確立した。この種の実験方法として、Bethe¹¹⁾ は、ゴム球で作られ、一方がガラス管により外界に通じている模型肺臓を液体を充した密閉容器内に吊し、Best 及び Taylor¹²⁾ は、弾性膜で作られた模型肺臓を、空気を充した密閉容器内に吊して実験を行つているが、いずれ

も生体肺臓の状態を観察するには不備の点が多い。著者は、失血致死直後の家兎剔出肺を、自己の考察せる特殊装置に用いて、助膜腔内圧の変化と虚脱肺体積の変化との関係、虚脱肺体積の変化と肺内へ出入する空気量との関係を精密に観察し得たのである。

第二章 実験材料及び実験方法

実験材料として、Römer 反応により結核罹患のない健常家兎、種々の程度の肺結核家兎、種々の肋膜炎罹患家兎の失血致死直後剔出肺臓を用いた。

実験方法：実験せんとする家兎を仰臥位に固定し、型の如くに気管を露出し、甲状軟骨下でこれを切断、断端に、ガラスカニユーレ及び約 10 種のゴム管を接続、気管内に血液の吸引されるのを避けて、両側の総頸動脈を切断失血死亡せしめる。ついで、肺臓肋膜を損傷せぬよう細心の注意の下に手早く胸廓を開き、一側肺とこれに連絡する気管気管枝のみのついた肺臓標本を作る。つぎに、肺臓を 37°C 生理的食塩水中に洗め、ゴム管より送気して、肺臓肋膜の損傷なきことを確めて後、気管を可及的短く切断し、第 1 図(p. 45)に示されたような装置のガラス管(B)の端に挿入し、結紮する。直ちに、これをガラス瓶(1)内にて密栓する。このガラス瓶内には、予め 37°C 生理的食塩水の既知量 (例えば 10cc) を入れておく。

第 1 図は、実験装置の全貌のスケッチであるが、要点を説明すると、連結管は、総て厚壁ゴム管を用い、(1)は呼吸気量測定器であつて、吸子の滑かに動く 20cc 太口注射筒の吸子の先端を、約 2cm の長さに切断し、これを遊標として用いた手製のもので、非常に抵抗が少い特徴を持つている。(1)は 20cc 太口注射筒、(2)は、内径 4mm のガラス管による水マンノメーターである。なお、(A)なるガラス管は瓶(1)内に開口している。

さて、本装置において、肺臓を取囲む空気と(A)より連結管内、注射管内、マンノメーター水面上部ガラス管内等に在存する空気は、連続して一つの閉鎖された空間内に在存し、この空気を、気胸を施した家兎の肋膜腔内に在存する瓦斯と同一の作用をなすものと見做すことができる。以下この空間を肋膜腔と称する。またこの空間と

肺臓とを合した空間は、これを生体における気胸側胸腔と見做し得るわけである。

従つて、生態家兎での気胸側胸腔の呼吸による容積変化は、本装置での吸子をだし入れすることにより充分に模倣し得る訳である。この時、虚脱肺は変動的に呼吸運動を営み、肺臓に出入する空気量は、(回)なる呼吸気量測定器によつて正確に読み取られる。実験を行う室温は、冬期にも 20°C 以下に降らぬよう留意した。

さて、実験は、二つに分けて行つた。

〔I〕 肋膜腔内圧が陰圧の範囲内に変化する場合

(1) 注射筒 (ハ) を加減して肋膜腔内圧を 0 の所に止める。この際目盛は 2cc 附近に調整し、(回)は 20cc 附近に調整しておく。

(2) これで準備が終つたから、注射筒を正確に 1cc 宛引き出す。そして、その都度、水マンメーターと呼吸器量測定器の目盛とを記録して行くのである。

(3) こうして得られた諸数値を用いて肋膜腔内圧が 0 より陰圧の方向へ減少して行く時に、無歪位置より増加する虚脱肺体積を計算した。今、

肋膜腔内に存在する空気の室温、大気圧の時に占める体積 a cc
吸子の移動により増加した注射筒の容積 s cc

マンメーターが動いた為に減少するガラス管内の容積 d cc
肋膜腔内圧 p [g/cm²]
肋膜腔内圧が減少するにつれて無歪位置より拡張する虚脱肺体積 x cc
肺臓の無歪体積 v cc

とすれば、ガラス管 (A) 以下の連結管内及び瓶内容積の和が 165cc であり、マンメーター上部ガラス管内容積は、p=0 の時 1.7cc であるから、実験初めの注射筒内容積が 2.5cc である。すると、a の値は、

$$a = 165 + 1.7 + 2.5 - v(cc)$$

にて与えられる。

今、実験する場所の大気圧は、

13.6 × 75.0 = 1020 [g/cm²] であり、マンメーター水柱 1cm に付、このガラス管内の容積が、0.125cc であるから、次の関係式が得られる。

$$x = s - d - \frac{a \cdot p}{1020 - |p|}$$

$$x = s - 0.125 \times \frac{p}{2} - \frac{a \cdot p}{1020 - |p|} (cc)$$

この式により、x が求められるのである。

〔II〕 肋膜腔内圧が陽圧の範囲内に変化する場合

〔I〕の実験を終るや直ちに、注射筒の目盛を肋膜腔内圧 0 の時 15cc 附近に、呼吸気量測定器の目盛を 2cc 附

第 1 表

〔I〕 肋膜腔内圧陰圧時における実験

吸引空気量 S	マンメーター 1 圧 p	p/2	動柱のた水積 d	$\frac{a \cdot p }{1020 - p }$	$\frac{d + a \cdot p }{1020 - p }$	膨肺大した積 xcc	肺空内吸引量 cc
1.0	1.4	0.7	0.09	0.20	0.29	0.71	1.70
2.0	2.0	1.0	0.13	0.28	0.41	1.59	1.70
3.0	2.6	1.3	0.16	0.36	0.52	2.48	2.45
4.0	3.4	1.7	0.21	0.39	0.60	3.40	3.40
5.0	4.2	2.1	0.26	0.54	0.85	4.15	4.25
6.0	5.0	2.5	0.31	0.70	1.01	4.99	4.95
7.0	6.2	3.1	0.39	0.87	1.26	5.74	5.70
8.0	7.0	3.5	0.44	0.98	1.42	6.58	6.70
9.0	8.0	4.0	0.50	1.13	1.63	7.37	7.20
10.0	9.2	4.6	0.57	1.30	1.87	8.13	8.20
11.0	10.6	5.3	0.66	1.50	2.16	8.84	8.95
12.0	11.4	5.7	0.71	1.61	2.32	9.68	9.45
13.0	12.8	6.4	0.80	1.81	2.61	10.39	10.20

〔II〕 肋膜腔内圧陽圧時における実験

注入空気量 s'cc	マンメーター 1 圧 p'	p'/2	動柱のた水積 d'cc	$\frac{a' \cdot p'}{1020 + p'}$	$\frac{d' + a' \cdot p'}{1020 + p'}$	縮肺少した積 x'cc	肺空呼気量 cc
1.0	1.0	0.5	0.06	0.15	0.21	0.79	0.75
2.0	2.0	1.0	0.13	0.33	0.46	1.54	1.50
3.0	2.6	1.3	0.16	0.40	0.56	2.44	2.25
4.0	4.6	2.3	0.29	0.70	0.99	3.01	2.75
5.0	8.6	4.3	0.54	1.31	1.85	3.15	3.00
6.0	13.0	6.5	0.81	1.81	2.65	3.35	3.00
7.0	16.8	8.4	1.05	2.54	3.59	3.41	3.00
8.0	21.4	10.7	1.34	3.21	4.55	3.45	3.00

近の任意の値に調整する。注射筒の吸子を正確に 1cc 宛押し込み、その都度、マンメーターと呼吸器量測定器との目盛を記録するのである。この時、無歪位置より縮少した虚脱肺体積を x'cc、肋膜腔内圧を p' [g/cm²]、肋膜腔内瓦斯の p=0 の時の容積を a'cc とし、吸子が動い

第 2 表

家兎番号	性	体重 kg	実験側	無至肺体積 cc	効果処置 後の飼育 期	肺 臓 内 病 変	肺 臓 肋 膜 病 変
51	♀	1.8	左	10.0	3 週	軽度粟粒結核	な し
52	♂	2.1	右	13.0	2 週	高度粟粒結核	な し
53	♀	1.5	左	12.0	3 週	散在性粟粒結核, 下内方に2個 の豌豆大病竈	な し
49	♀	3.0	右	18.0	2 週	高度粟粒結核	な し
1	♀	1.4	左	5.0	12 週	上部に小範圍点状乾酪病竈	な し
2	♂	1.4	左	6.0	12 週	散在性粟粒病竈	な し
5	♀	1.8	右	8.0	12 週	小部分乾酪化竈, 一部粟粒結節 集簇	な し
7	♂	2.3	左	10.0	12 週	小部分散在性粟粒病竈	肋膜軽度肥厚
14	♀	1.8	右	12.0		健 常	な し
16	♂	2.0	左	7.5		健 常	な し
15	♂	1.5	右	10.0		健 常	な し
20	♂	2.2	右	11.0		健 常	な し
21	♀	2.0	左	6.0		健 常	な し
101	♀	2.3	右	10.0	2 週	健 常	肋膜軽度肥厚, 所々に粟 粒乾酪竈附著
103	♂	2.1	右	9.0	2 週	健 常	同 上
110	♂	1.3	右	7.0	2 日	健 常 (無肺様)	肋膜高度肥厚 滲出液 23cc
112	♂	2.5	右	12.0	5 日	健 常	肋膜軽度肥厚 滲出液 15cc
114	♀	1.9	右	7.0	3 日	健 常 (無肺様)	肋膜高度肥厚 滲出液 30cc

第 3 表

家兎番号	拡張時体積 弾性率 K	縮小時体積 弾性率 K'	転位点での 肋膜腔内圧 [G/cm ²]	縮小時体積 弾性率 K''	肺臓拡張体積 と肺内吸引空 気量との関係
51	- 12.2	- 12.9	+ 2.0	- 128.4	一致
52	- 39.4	- 83.6	+ 5.4	- 309.7	略々一致
53	- 17.7	- 28.9	+ 4.8	- 350.3	一致
49	-150.8	- 204.0	+ 3.4	- 785.4	略々一致
1	- 9.0	- 23.7	+ 4.6	- 312.7	不一致
2	- 10.3	- 12.5	+ 4.0	?	一致
5	- 7.2	- 7.0	+ 2.0	- 158.8	一致
7	- 29.4	- 458.5	0	- 458.5	一致
14	- 13.8	- 22.4	+ 2.1	- 525.9	一致
16	- 11.6	- 18.6	+ 6.6	- 245.9	一致
15	- 14.6	- 48.5	+ 4.6	- 132.3	一致
20	- 12.4	- 11.7	+ 3.0	- 305.3	一致
21	- 10.2	- 16.2	+ 3.4	- 64.7	一致
101	- 18.2	- 35.4	+ 4.0	- 306.9	一致
103	- 19.9	- 11.9	+ 2.6	- 144.0	一致
110	- 81.4	- 159.5	0	- 159.5	不一致
112	- 17.3	- 27.1	+ 3.0	- 107.2	略々一致
114	- 43.9	- 140.0	0	- 140.0	一致

た体積を s' とすれば,

$$x' = s' - 0.125 \times \frac{P'}{2} - \frac{a' \cdot P'}{1020 + P'} \quad (cc)$$

により, x' が算出できるのである。なお, 本実験では, 強い圧力変化がなく, 周囲の熱容量を参照して等温変化と考え, 計算式を作成している。今, この算出の課程を例えば No. 20 なる健常家兎肺の実験値について示せば, 第1表の如くである。

第三章 実験成績並びに考按

実験に供した家兎の中, 実験操作中に肺臓肋膜を損傷して不成功に終わったものが数羽あった。実験し得た家兎の内訳は, 第2表に示した如き 18 羽である。結核病変を肺, 肋膜に生ぜしめる実験には総て, 人型 F 株 1mg/cc を皮下注射感作後, 再処置法によつた。また非結核性肋膜炎生起の為には, 山口等¹⁸⁾による 0.5% メチレンブラウ溶液約 3cc を用い, 正確に肋膜腔内に注入した。なお, 結核菌再注射には, 静脈内及び気道内注入の両方法を用いたが, 本研究にはその結果を用いるのであるから, 方法の詳細は省略する。また, 実験値による計算の課程についても省略せざるを得ないが, 個々の例について, 肋膜腔内圧

の変化と肺体積の変化との関係を図示したのが, 第2図及び第3図である。第2図は, 肋膜腔内圧が0より陰圧

の方向へ減少した際に肺臓が無歪位置より拡張した体積を示しているが、No. 103 以外のグラフは総て、略々一直線にて表わされている。すなわち、肺臓には、拡張する際 Hooke の定律が適用されていることを示している。第3図は、肋膜腔内圧が0より陽圧の方向へ増加した際に、肺臓が無歪位置より縮少した体積を示しているが、この場合には、肋膜腔内圧が0乃至+5 [g/cm²] の間のある点において、大部分のグラフの方向が変じていることが分る。しかし、この転位点前後においては、グラフは大まかながら一直線上にあると見て支障がない。ただし、No. 7, No. 110 及び No. 114 には、この転位点が生じなかつた(第2図、第3図は p. 45 に掲載)。

今、肺臓の無歪体積を v_{cc} 、無歪体積より拡張する体積を x_{cc} 、この時の肋膜腔内陰圧を p [g/cm²]、拡張時体積弾性率を k とし、また無歪位置より肺臓が圧縮される場合には、縮少する肺臓体積を x'_{cc} 、肋膜腔内圧を p' [g/cm²]、この時に示す肺臓の縮少時体積弾性率を k' とし、また転位点における肺臓の体積を v''_{cc} 、この位置よりさらに圧縮される肺臓の体積を x''_{cc} 、さらに増加する肋膜腔内圧を p'' [g/cm²]、この区間において肺臓の示す縮少時体積弾性率を k'' とすれば、上述の事實はつぎの式にて表現される。

$$p = \frac{x}{v}k, \quad p' = \frac{x'}{v}k', \quad p'' = \frac{x''}{v}k''$$

但し、 $p \leq 0$, $p' \geq 0$, $p'' \geq 0$, $x \geq 0$, $x' \leq 0$, $x'' \leq 0$,

k, k', k'' はともに負数

これ等の式において、 k, k', k'' 等は、肺臓全体の体積変化と肋膜腔内圧の変化との関係を示す常数で、肺臓、肋膜の性状により特有の値を取る。さて本実験では、 k を p が -10 [g/cm²] 近傍の実験値について、 k' を p' が転位点直前の実験値について、 k'' を p'' の最大の値について算出した。

これ等の値と転位点等とを記したのが第3表である。第3表で分るように、肺臓が拡張する時に示す体積弾性率 k について見ると、健常肺では、 -10.2 乃至 -14.6 であり、肺臓肋膜肥厚の合併している限局性肺内病竈を有する No.7 肺内に病変がなく軽度の肋膜肥厚のみの存する No.101, No.103, No.112 等では、 k が $-29.4, -18.2, -19.9, -17.3$ であつて、肋膜肥厚のある場合、 $|k|$ は、明らかに健常肺より増加している。つぎに、肋膜肥厚がなく肺内に結核性病竈を有する肺臓の中で、軽度の粟粒結核の存する No.51, No.53 では、 k が -12.2 及び -17.7 で、健常肺と肋膜肥厚を有する肺臓との略々中間に位し、肋膜肥厚がなく肺臓内に部分的に結核病竈の散在する No.1, No.2, No.5, 等では、 k が $-9.0, -10.3, -7.2$ であつて、その絶対値は健常肺の $|k|$ より寧ろ減少している。この3例では、結核病変を生ぜしめてから比較的長期間飼育しているので、病竈のない

部分が大なり小なり気腫状となり、病変部の $|k|$ が大であるに拘らず肺臓全体として、 $|k|$ の減少を来したものと考えられる。高度の粟粒結核を生じた No.49, No.52 及び、高度の肋膜肥厚のみを有する No.110, No.114 では、 k が -39.4 乃至 -150.8 と著明に増加している。

つぎに、肋膜腔内圧が0より増加して、肺臓が無歪位置より縮少する場合、肋膜腔内圧が0より転位点迄の区間においては、縮少時体積弾性率 k' の絶対値は、一般に同一肺臓の $|k|$ よりやや大なる値をとつているが、相当著明に増加している例もある。さらに肺臓が転位点より縮少する際の体積弾性率 k'' の絶対値は $|k|, |k'|$ に比較して一般に、著く増加している。

最後に、肺臓が無歪位置より拡張した体積と、肺内に吸引される空気量とを比較すると、やはり第3表に示すように、両者は 18 例中 13 例において、殆んど全く一致し、約 10% 程度の誤差のあるもの3例(ほぼ一致と記載)それ以上懸け離れたもの2例(不一致と記載)であつて、大体において両者は一致している。すなわち、肺臓が無歪位置より拡張した状態で呼吸運動を営んでいる場合には、肺臓に出入する空気量は、対応する肺臓の体積変化と全く一致していると結論できるであろう。しかし、肋膜腔内圧が0より増加する場合には、両者は充分一致しなかつた。また、肋膜腔内圧が転位点より増加する場合には、肺より呼出する空気は認められなかつた。

総 括

人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関する法則を解明せんとして、著者は一装置を考案し、家兎の健常肺、結核罹患肺並びに肋膜炎肺について実験し、つぎのような成績を得た。

1) 肋膜腔内圧の変化と虚脱肺全体の体積変化との関係を見ると、肺臓の拡張には、Hooke の定律が適用される。

2) 無歪位置より肺臓が圧縮される場合、肋膜腔内圧が0乃至+5 [g/cm²] の間に、各肺臓特有の転位点があり、この転位点迄の区間と、これより肋膜腔内圧がさらに増加する区間とでは、肺臓の弾性は全く異なるが、いずれの区間においても、肺臓の縮少には、やはり Hooke の定律が適用される。

3) 拡張時に示す肺臓の体積弾性率については、健常肺では、 -10.2 乃至 -14.6 である。肺臓内に病変はないが、軽度の肋膜肥厚の存する場合には、これが -17.3 乃至 -29.4 となり、絶対値が健常肺のそれより明らかに増加し、肺臓に軽度の粟粒結核の存する2例では、 -12.2 及び -17.7 で健常肺と軽度肋膜肥厚のみの肺臓とのほぼ中間に位している。肺臓内に部分的病竈の存在する場合には、 -7.2 乃至 -10.3 と寧ろ、その絶対値を減じている。肺臓全体に高度の粟粒結核を生じたり、肺臓

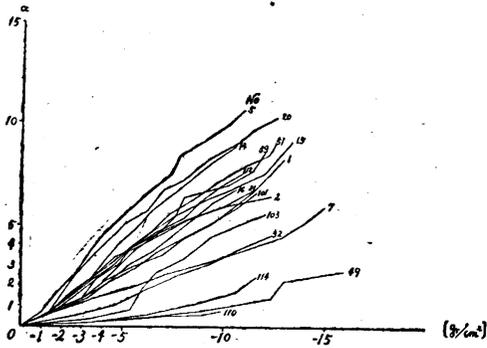
内に病変がなくとも高度の全面的肋膜肥厚を生じた場合には、これが -39.4 乃至 -150.8 と、著くその絶対値を増している。

4) 個々の肺臓についていえば、概して、拡張時における体積弾性率の絶対値が最も小さく、肋膜腔内圧が0より転位点迄の区間での縮小時体積弾性率の絶対値が、これよりやや大であり、転位点よりさらに肺臓が圧縮される際に示す体積弾性率の絶対値は、桁違いに大である。

5) 肺臓が無歪位置より拡張する体積と、この間に肺内に吸引される空気量とは全く一致すると考えられる。

撰筆するに当り、御懇篤なる御指導御校閲を賜つた恩師前川孫二郎教授に深甚の謝意を捧げ、種々御指導御鞭達を戴いた春霞園長工藤敏夫博士、並びに厚生省関誠一郎博士に衷心より謝意を表する。

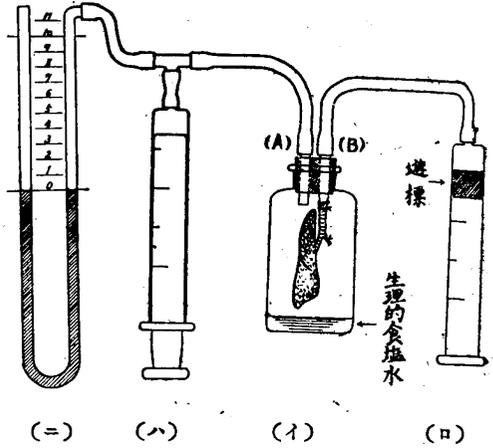
第 2 図



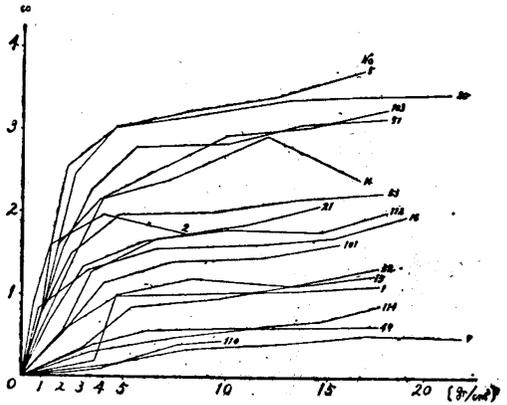
文 献

- 1) Forlanini: Hein-Kremer-Schmidt; Kollapsetherapie der Lungen Anberkuloze (1934)より引用
- 2) Ascoli: 同上
- 3) Gwerder: 同上
- 4) 村上三郎・田口 実: 日本医学放射線学会雑誌 3, 9, 697, 昭 17.
- 5) 篠井金吾: 結核の臨床, 2, 1190, 昭 14.
- 6) B. A. Dormer, J. Friedlander & F. J. Wiles: Am. Rev. Tbc., 52, 1, 21, 1945.
- 7) 熊谷岱三: 人工気胸療法, 昭 10.

第 1 図



第 3 図



- 8) 菅沼清次郎: 肺結核人工気胸療法及其応用の理論及実際, 昭 17.
- 9) 坂本秀夫: 人工気胸療法, 昭 23.
- 10) 山本喜信: 胸部外科, 3, 3, 226, 昭 25.
- 11) A. Bethe: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie 2, 22, 1925.
- 12) C. H. Best & N. B. Taylor: The physiological basis of medical practice p.297, 1945.
- 13) 山口寿外 4 名: 日本内科学会雑誌, 39, 12, 29, 昭 26.