

人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関する研究

(第 2 報)

第 2 篇 健康人肺に人工気胸を実施した場合について

国立療養所春霞園(院長 工藤敏夫博士)

山 本 善 信

京都大学医学部内科第三講座 (担当 前川孫二郎教授)

(昭和 26 年 12 月 13 日受付)

第一章 緒 言

本論文第 1 篇において、種々の家兎肺臓における体積弾性率を、肋膜腔内圧が陰圧時及び陽圧時について測定し、同時に呼吸運動についての基本的法則を確認したが、著者は、本篇において、人工気胸による健康人虚脱肺の呼吸運動をレントゲン学的に観察し、第 1 篇で述べた法則を基礎として、これに詳細な理論的検討を行った。この際多少の簡易化を免れ得なかつたが、人工気胸による健康な虚脱肺の呼吸運動を、実際上かなり適確に把握することができ、且つ虚脱肺の呼吸運動に関する諸条件の個々について立入った吟味を行ったのである。

第二章 観察例並びに観察方法

観察に供した例は、昭和 22 年 10 月より昭和 26 年 2 月迄の期間に、本院で人工気胸を実施した 20 歳より 30 歳迄の患者の中、肺 X 線写真で肋膜肥厚や肋膜癒着が殆んどなく、問題視すべき病変を肺内に認められないものを選んだ。この例中には、肺尖部に僅かな肋膜癒着を有する例をも含まれているが、理論上大した障碍にならなかつた。肋膜癒着のある例については、なお第 3 篇で述べる心算である。

観察方法としては、長石・久保等¹⁾による X 線 Distatographie を用い、虚脱肺外縁の位置を直立位で深吸气時と深呼气時との二相において撮影した。撮影条件としては、焦点フィルム間距離 1.5m, 50KV, 200MA 背腹撮影とし、フィルム被写体間に幅 1cm 間隔 1cm の自製の鉛板水平遮蔽格子を置き、被験者に深吸气の状態を息を止めさせて、0.2 秒で撮影し、身体フィルムの位置はその儘、直ちに水平格子を 1cm 下方へ下げて、今度は深呼气の状態で 0.3 秒で撮影した。こうすると現像されたフィルムには、深吸气と深呼气との二相が幅 1cm の横縞をなして交互に写しだされ、しかも今まで X 線キモグラフでは写しだされ難かつた繊細な虚脱肺外縁が判然と現われている。

第三章 肋膜腔内圧が深呼吸の区間において

陰圧の範囲内に变化する例について

第一節 虚脱肺呼吸運動の X 線 Distatographie による観察

人工気胸を施して肋膜腔内圧が深呼吸区間で陰圧の範囲内に变化する第 1 表に示すような例について、前述の方法で Distatograph を撮影し、これを第 1 図で示した。

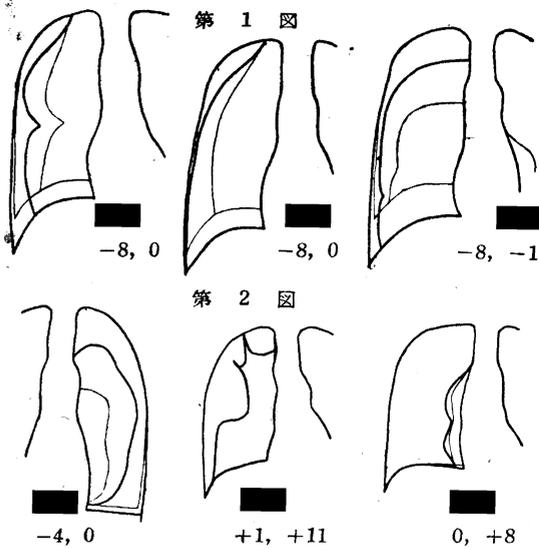
第 1 表

	年齢性	気胸側	Distatograph 撮影時肺活量	備 考
■	24 歳	右	3700 cc	肺尖部肋膜癒着
■	23 歳	右	4000 cc	肺尖部肋膜癒着
■	27 歳	右	3000 cc	
■	23 歳	左	3600 cc	肋膜腔内滲出液溜溜

第 2 表

	虚脱肺外縁の振幅(mm)			胸廓外縁の呼吸差(mm)		横隔膜の上下振幅
	第 1 斜位に左右方向	第 2 斜位に直角の方向	肺尖部の上下振幅	前行径	左右径	
■	23	23	26	0	30	28
■	35	51	40	0	30	38
■	22	25	25	55	31	39
■	36	40	36	55	32	32
平均	29	35	32	55	31	35

さらに、斜方向での虚脱肺外縁の呼吸運動をも観察するため、Distatographie による斜位撮影を行った。この場合、斜位撮影による虚脱肺外縁の不鮮明化を斟酌して、右側気胸例では、第 1 斜位で正面位より 15 度、第 2 斜位で同じく 40 度の方向にて、フィルムを胸壁に密着して撮影し、左側気胸例では、これと角度を入れ換えた斜位で撮影した(図省略)。以上の Distatograph について、肺門部中点の高さで虚脱肺外縁の水平振幅を計測し胸廓の厚さ及びフィルムと光線との角度等を勘案して実物値に換算した。また、背復径撮影での肺尖部横隔膜穹隆部の上下振幅をも同様計測し実物値に換算した。一方乳嘴の高さにおける胸壁の深呼吸時水平振幅を左右径・前後径に関して測定し、それ等諸値を比較したものが第 2 表である。さて虚脱肺外縁の水平振幅は概ね胸廓外縁



但
 深呼吸時の位置
 深吸気時の位置

充分可能なことである。第3表は、こうして算出された深吸気時と深呼気時での虚脱肺体積、両者の体積差、深吸気時の気胸側胸腔の容積、肋膜腔内存在瓦斯の体積等を示したものである。但し、ここで用いた胸腔とは、気胸側で体壁肋膜で囲まれた空間を意味している。

さて、第3表で明らかなように、松井例を除いた例では、いずれも深呼吸による虚脱肺の体積差が、第1表で示した肺活量のほぼ二分の一に相当している。このことは、虚脱肺が非気胸側の肺臓とほぼ同量の空気を呼吸することを物語っている。

第三節 虚脱肺呼吸運動の理学的数学的解析

第一項 前提的考察 本節においては、

呼吸による気胸側胸腔の容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合の極限值を求めて第3表の結果を理論付けるとともに、虚脱肺の呼吸運動に関する諸条件を吟味し、呼吸運動の様相を確実に把握しようとするのである。

今、虚脱肺の呼吸運動の機序を考えて見ると、これは、虚脱肺に作用するいわゆる肋膜腔内圧と肺臓の弾性による収縮力とが平衡を保ちつつ行われている。この肋膜腔内圧とは、気管・気管枝を径て肺臓肋膜の内側より外方に作用する大気の圧力と、肺臓肋膜の外側より内方に作用する肋膜腔内存在瓦斯張力との差であると考えられる。

さらに、虚脱肺の形態を静力学的に詳しく考えると、胸廓が呼吸区間の任意の位相にあり、虚脱肺が鈞合静止の位置にあるとき、虚脱肺肋膜面上の任意の点に作用する肋膜腔内圧は、この点が垂れる法線の方に作用しているが、これと、この点に作用する肺組織の収縮力（厳密には、肺臓肋膜の収縮力をも含む）の該法線上の分力とは等しい絶対値を有する筈である。

さて肋膜癒着のない生理状態にある肺臓は、解剖学上、肺門部で縦隔に連結されているが、肺臓の中心部と周辺部とでは、その弾性に差があり、伸縮する際の機相も全く同一ではあり得ないが、今かりに同一であると思做して置く。この時、虚脱肺は、肺門部を中心に放射状に伸縮する一種の等質弾性体と思做し得るであろう。ここで、もし肺臓の表面が球面であるならば、その伸縮運動や、

その形態学的変化を数学的に理解するに容易な訳であるが、実際には肺門部より肺外縁に到るまでの本来の肺組織の長さは一様ではなく、肺表面の曲率半径にもまたところにより大きい差違がある。

故に、虚脱肺の平衡静止の形態・位置を理論的に解析理解するには全く複雑な数式的取扱を必要とし、かえつて理解を混乱に導くであろう。ここにお

の深呼吸差の二分の一と比較されるべきであるから、第2表を斯様に考えながら眺めると、左右径・斜位径のみならず、左右径・斜位径 Distatograph より推定し得る前後径の場合について、虚脱肺の水平振幅はいずれも、対応する方向での胸壁の水平振幅より著しく大であることが分る。又、肋膜癒着のない中川、松井の両例では、肺尖部の上下振幅の大なることが目を惹くのである。（なお、第2表は前報告¹⁰のものを、訂正し掲げたことを断つておく）

第二節 深呼吸時における虚脱肺体積の増減

背腹径 Distatograph を用いて、深吸気時と深呼気時における虚脱肺の体積を算出した。この際、深呼吸時肋膜腔内圧の変動の少ない本章の例では、縦隔膜が全く移動せぬものと見做し、虚脱肺の形態を次のように考えた。すなわち、虚脱肺を、肺門部を通る縦軸線を中心に、Distatograph に投影された平面を実物大に換算した大きさの平面を以て180度廻転して生じた廻転体の形態と見做した。又、気胸側胸腔の容積も同様にして深吸気時のものについて算出した。

以上による計算値は実際値とは多少隔つた値であるかも知れないが、理論的検討を加えつつ虚脱肺の呼吸による体積変化の様相の概観を、これにより把握することは

第3表

	虚脱肺の体積(x+v)cc			深吸気時胸腔の容積(x+y+v)cc	深吸気時肋膜腔内存在瓦斯体積(y)cc	前記瓦斯の37°C. 大気圧の時占める体積(a)cc
	深吸気時	深呼気時	深呼吸による体積差			
■	2979	1107	1872	4182	1203	1194
■	3882	1394	2488	5198	1316	1306
■	3428	1453	1975	4828	1400	1389
■	2172	972	1200	3557	1385	1380

いて、われわれは、その形態学的変化については、X線 Distatograph により把握することにし、本節ではこれには直接触れず、肺臓全体としての呼吸時体積変化量を取扱うことにしたのである。

第二項 理学的数学的解析

今、人工気胸による虚脱肺において、

肋膜腔内圧…………… p [gr/cm²]

歪力を受けない時、すなわち肋膜

腔内圧が0の時の虚脱肺体積…………… v [cm³]

呼吸区間の任意の位相における虚

脱肺体積とvとの差…………… x [cm³]

肺臓全体として、拡張時に示す体

積弾性率(第1篇参照)…………… k [gr/cm²]

とすれば、肋膜腔内圧が深呼吸区間で陰圧の範囲内にある場合、第1篇で確認したように、Hookeの定律が当てはめられる故、次の式が成立する。すなわち、

$$p = \frac{x}{v} k \quad (1)$$

ここに、 $p \leq 0$, $x \geq 0$, $v > 0$, $k < 0$

さて、第1表に示した4例について、Distatograph 撮影時、深呼吸時の肋膜腔内圧は第4表左半の如きであつて、今、松本例について深吸气時、深呼气時での肋膜腔内圧と、虚脱肺体積とを式(1)に代入することにより、次の二元一次方程式を得る。

$$\begin{cases} -8 = \frac{2979 - v}{v} k \\ 0 = \frac{1107 - v}{v} k \end{cases}$$

この式を解いて、 $v = 1107$

$k = -4.73$ を得る。

他の3例についても同様にして、 v , k の値を求め、第4表の右半に記した。肺臓が拡張時に示す体積弾性率 k は、第4表に示されているように、肺内病変、肋膜肥厚等の認められない健康人肺に関しては平均 -4.15 [gr/cm²] の如き小さいものである。

第4表

	肋膜腔内圧		歪力を受けない時の肺臓体積 (v) cc	拡張時体積弾性率 (k)
	深吸气時	深呼气時		
■	-8	0	1107	-4.73
■	-8	0	1394	-4.48
■	-8	-1	1171	-4.15
■	-4	0	972	-3.24

次に今、

呼吸区間の任意の位相において肋

膜腔内に存在する瓦斯の占める体

積…………… y [cm³]

肋膜腔内存在瓦斯が 37°C.

大気圧の時占めるべき体積…………… a [cm³]

被験者のいる場所の大気圧…………… P [gr/cm²]

(本実験では、 $P = 13.6 \times 75 = 1020$ [gr/cm²])

とすると、前項に述べたところにより、

$$p = \frac{a}{y} P - P \quad (2)$$

すでに述べたように、虚脱肺が静止の状態にある時には、(1), (2)の左辺は等しいから、

$$\frac{x}{v} k = \frac{a}{y} P - P \quad (3)$$

すなわち、呼吸運動に際して、 x , y は、この式(3)を満足する関係を維持しつつ変化しなければならない。式(3)を便宜上、虚脱肺の呼吸運動方程式と名づける。

今、呼吸区間の任意の位相において、胸腔の容積は、 $(v+x+y)$ cc であり、虚脱肺の体積は、 $(v+x)$ cc である。ここで両者の微分を考えると、それぞれ、 $d(x+y)$, dx となる。そこで $dx/d(x+y)$ を求めると、これは、この位相においての胸腔容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合の極限值を示している。式(3)より、これを y について求めると、

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k}{v \cdot a \cdot P} y^2} \quad (4)$$

式(4)で a は 37°C. 大気圧の時の肋膜腔内存在瓦斯であるから肋膜腔内送気量に関係し、ここでは常数と見做し、又、歪力を受けない時の虚脱肺の体積 v , 大気圧 P もともに常数と考えられ、 k も同一肺に関しては一定である。従つて肋膜腔内圧が陰圧である呼吸区間で任意の位相における $dx/d(x+y)$ を求めるためには、当該例で既知の k , v , a , P , 等の値と、その点において肋膜腔内存在瓦斯の占める体積 y の値とを式(4)に代入することにより求められる。なお、 y は求めんとする位相での肋膜腔内圧が判明しておれば、大気圧、 P , 37°C. 大気圧の時の肋膜腔内存在瓦斯の体積 a とより、Boyleの定律より等温変化と考えて簡単に求められる訳である。

第5表

	深吸气時の $\frac{dx}{d(x+y)}$ の値	深呼气時の $\frac{dx}{d(x+y)}$ の値
■	0.9949	0.9950
■	0.9958	0.9960
■	0.9944	0.9945
■	0.9953	0.9955

第1表の4例について、同様にして、深吸气相と深呼气相において式(4)の値を求めたものが第5表で示されている。本表を見ると、 $dx/d(x+y)$ の値は、深吸气時のものが、総て深呼气時のものより僅かに小となつてゐるが、この値でも 0.9944 乃至 0.9958 であつて實際

上1と見做しても支障がない。 $dx/d(x+y)$ は肋膜腔内圧が陰圧の範囲内では連続であり、深吸気相より深呼気相へ向う程、より1に近附いている。故に、深呼吸区間についてこの考えを拡張すると、深呼吸全区間で変化する虚脱肺の体積は、胸腔の容積変化に極めて近似していることが明らかである。

なお、このような計算値を得る主な理由は、大気圧や肋膜腔内存在瓦斯の張力に較べて、健全な肺臓の拡張時体積弾性率絶対値が余りにも小さいことに由来するのである。

総 括

肋膜癒着がなく健全と見做される人肺に、深呼吸区間で肋膜腔内圧が陰圧の範囲内に変化する程度の人工気胸を行っている例について、虚脱肺外縁の呼吸運動を、Distatographieにより観察し、これに理論的検討を行つて、次のような結果を得た。

1) 背腹径・斜位径撮影のDistatographを計測することにより、次のことが明らかになった。すなわち、肺門部を通る縦軸線を中心に外方向に向う任意の平面上で、虚脱肺外縁の呼吸による水平振幅は、対応する胸廓の水平振幅より著く大である。又、虚脱肺の上端部の上

下運動も同様に著く大である。

2) 背腹径撮影のDistatographを基礎として虚脱肺の深呼吸時体積変化量を算出すると、これはほぼ肺活量の二分の一となる。第1篇での実験より、肺臓の体積変化量と呼吸気量とは等しいから、このことは、虚脱肺が非気胸側の肺臓とほぼ等しい空気を呼吸していることを示している。

3) 観察例について、健全肺の拡張時体積弾性率を算出すると、 -3.24 乃至 -4.73 〔 gr/cm^2 〕である。これを大気圧と比較すると極めて絶対値の小さいものである。

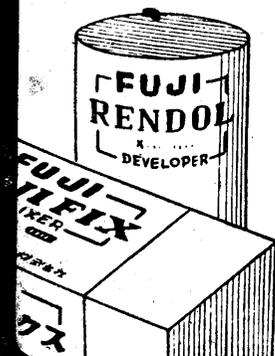
4) 虚脱肺の呼吸運動に関与する諸条件を用いて虚脱肺の呼吸運動方程式を作り、これより理論的吟味を行つた。まず、気胸側胸腔の容積変化に対する虚脱肺の体積変化の割合の極限值を求めた。そして、これが、深吸気時においては、深吸気時におけるより僅かながら小さいが、1に極めて近似の値をとることを認め、かくて、健全虚脱肺の呼吸による体積変化が、同側胸腔の容積変化にはほぼ等しいことを証明した。

文 献

本篇末尾に一括す。

富士X-レイフィルム

高いコントラスト、優れた鮮鋭度、強靱な膜質、完全な包装、四大重要ポイントを完全に捉えた富士X-レイフィルムと指定処方に組合された処理薬品により診断は確実容易且つスピーディになります。



“レンドール”(富士X-レイフィルム用現像剤)

使用液：2,000 c.c

“フジフィックス”(富士酸性硬膜定着剤)

使用液：4,000 c.c



富士フィルム