

人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関する研究

(第三報)

第二篇 健常人肺に人工気胸を実施した場合について(承前)

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

第三節 虚脱肺呼吸運動の理学的数学的解析

第三項 肺臓の拡張時体積弾性率 k [g/cm^2], 歪力を受けない時の虚脱肺体積 v [cm^3], 大気圧 P [g/cm^2], 肋膜腔内存在瓦斯の $37^\circ C$, 大気圧の時に占める体積 a [cm^3] 等の虚脱肺呼吸運動に及ぼす影響

肋膜癒着のない健常な肺臓に対して, 深呼吸区間に肋膜腔内圧が陰圧の範囲内にある程度の人工気胸を施した場合, 深呼吸区間までの虚脱肺の体積変化量は, 既に第三章, 第三節, 第二項で述べたように, 肺臓が虚脱されぬ時に比較して殆んど減少しないのであるが, 本項に掲げた諸条件が変化する場合, この虚脱肺の呼吸時体積変化量が如何様に変化するであろうか。

虚脱肺の呼吸運動は, 肋膜腔内圧が陰圧の範囲内では前項で述べた呼吸運動方程式

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

を満足しつつ行われるものであつて, この時, 胸廓容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合の極限值は

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

で表わされる。ここで, k, v, a, P 等が個々に变化した場合について $dx/d(x+y)$ の値が如何様に変化するかを吟味することにより, われわれは目的を達することができる。以下順次に吟味して行きたい。

(i) 肺臓の拡張時体積弾性率 k が变化する場合

この k は, 健常肺では, 第二報での第 3 表に示されたように個人差があまりないであろう。ただ第一篇で述べたように, 肺臓全体に病変を生ずるか, 肺臓肋膜肥厚を生ずる場合において $|k|$ が著明に増加するものである。 k についての吟味は, 本篇の範囲を脱し病的状態における吟味になるが, ここで行うことにする。

今, 拡張時体積弾性率 k_1 なる肋膜癒着のない肺臓が, 人工気胸により, 一定度の虚脱状態にあり, 肋膜腔内圧が陰圧なる任意の位相に在るものと仮定し, この時の呼吸運動方程式 (3) を満足する x, y をそれぞれ x_1, y_1 とすると式 (4) の値は

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k_1}{v \cdot a \cdot P} y_1^2} \quad (4)_{k_1}$$

もし, 同じ呼吸位相で仮りに $|k|$ のみが増加し, k_1 が k_2 になつたと仮定する。しかるときは, x_1 は減少して x_2 に, y_1 が増加して y_2 になつて虚脱肺は釣合を得るのである。すなわち式 (4) k_1 は

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k_2}{v \cdot a \cdot P} y_2^2} \quad (4)_{k_2}$$

ここで $y_1 < y_2, k_1 < |k_2|, v, a, P$ 等は一定であるから

$$(4)_{k_1} > (4)_{k_2}$$

すなわち, 拡張時に示す肺臓の体積弾性率絶対値のみが増加すれば, 肺臓は, より多く虚脱して肋膜腔内圧と平衡を保ち, しかも同一呼吸位相で気胸側胸腔の容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合は, 減少を示すのである。なお, $|k|$ の増加は, 胸廓, 横隔膜の呼吸運動に制約的に作用するが, この点に関しては, 第三篇に述べることにする。

(ii) 歪力を受けない時の虚脱肺

体積 v が变化する場合

吟味 (i) の場合と同様にして吟味することができる。呼吸区間の任意の位相で v のみが増加すると, 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は, 増加し更に 1 に接近する筈である。但し, v が増加するのは主として肺内に病変を有する場合に起るが, この時には必然的にその $|k|$ の著しい増加を伴い, むしろこれが前景に出てきて, v の増加による影響は覆われてしまうであろう。

(iii) 大気圧 P [g/cm^2] が变化する場合

人工気胸を施された個体が同じ標高の土地に生活する場合、日常の気象学的な大気圧の変動の虚脱肺呼吸運動に及ぼす影響は余り問題にならないであろう。しかし、個体が高山、高空或いは高压室内に移動する場合には大いに問題になつてくる。

今、呼吸区間の任意の位相において、外気圧のみが P_1 より P_2 [g/cm^2] に増加する場合を考える。この時呼吸運動方程式 (3) において、 k , v は不変であり、 a , x , y が初め a_1, x_1, y_1 より a_2, x_2, y_2 に変化するものと考え、式 (4) は、それぞれ

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k}{v \cdot a_1 \cdot P_1} y_1^2} \quad (4)P_1$$

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k}{v \cdot a_2 \cdot P_2} y_2^2} \quad (4)P_2$$

となる。今、式 (4)P₁, (4)P₂ を比較すると $a_1 \cdot P_1 = a_2 \cdot P_2$ であり、 $y_1 > y_2$ であるから、(4)P₁ < (4)P₂ となる。なお、この際、 $x_1 < x_2$ である。

以上の結果を表現すれば、 P が増加する時、虚脱肺は体積を増し、かつ、胸腔容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合は更に 1 に接近し、呼吸は楽になる筈である。

ところが、外気圧が減少する場合には、吟味は複雑な課程をとらねばならない。今、式 (3) において外気圧のみが、 P_1 より P_2 へと減少したと考え、 x_1', y_1', a_1' なる初めの値が x_2', y_2', a_2' へ変化するものと仮定する。外気圧 P が次第に減少して行くとき、式 (3) の a , y の項は次第に増加し、 x は次第に減少して肺の虚脱度は大となつて行くことが明かである。ところが ($x_1' + y_1' + v$)、($x_2' + y_2' + v$) は、ともに気胸側胸腔の容積であつて同一呼吸位相にある限り等しい。従つて、 P が更に減少する時には、 x は遂に 0 になる状態に到達する。このような状態は、初め、深呼吸位相において生じ、外気圧の減少につれて、次第に深呼吸位相の方向へ移動し、この位相より呼吸運動を個体が行う時、肋膜腔内圧は陽圧の方向へ増加することになるわけである。外気圧が一定程度以下に減ずるならば、かくして遂に深呼吸位相においても肋膜腔内圧が 0 より大となる状態に到達する。第二報第 1 表松井例について、これを考えて見ると、大気圧が半減すれば、既に上記の状態に到達する筈である。この際には、第四章で述べるように、呼吸運動は高度に障碍されるのである。すなわち、外気圧が漸次減少する時、肋膜腔内圧が陰圧なる呼吸区間が漸次短縮されていつて、呼吸は次第に困難となるのである。なお肋膜腔内圧が陰圧である呼吸区間での虚脱肺の呼吸運動は、式 (4) より考察して減少する筈であるが、相当程度保たれることになる。従つて、大気圧 P が減少する際、重要な因子は、このような呼吸区間の減少であるといひ得る。かくして、虚脱肺の呼吸運動は目立つて障碍されて行くので

ある。

(iv) 肋膜腔内存在瓦斯の $37^\circ C$ 大気圧の時に占める体積 a [cm^3] の変化する場合

ここでは、肺臓の虚脱度が虚脱肺の呼吸運動に如何なる影響を及ぼすかを吟味するわけである。まず、 a が約 100cc なる a_1 という非常に小さい場合を考え、この時深呼吸位相における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値を

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k}{v \cdot a_1 \cdot P} y_1^2} \quad (4)a_1$$

と考える。(但し、 y なる項は、 y_1 とする)

次に a_1 が a_2 に迄増加して、深呼吸時に肋膜腔内圧が丁度 0 になる最大値に到達したものとし、この a_2 の時、やはり深呼吸時での式 (4) の値を

$$\frac{dx}{d(x+y)} = \frac{1}{1 - \frac{k}{v \cdot a_2 \cdot P} y_2^2} \quad (4)a_2$$

(但し y_1 の項は、 y_2 に増加したものとす)

と考える。かくして、(4)a₁ (4)a₂ を比較できれば、深呼吸位相についての虚脱肺の呼吸運動の程度を比較することができるわけである。

ところが、(4)a₁, (4)a₂ の右辺において変化している項は、 $\frac{y_1^2}{a_1} \longrightarrow \frac{y_2^2}{a_2}$ である。しかしながら $y_1 < y_2$, a_1

$< a_2$ であるから、両者の比較はこれのみでは不可能である。ここで、今、第二報第 3 表における松本例の数値を用いて比較を試みた。本例で、肋膜腔内存在瓦斯を吸入せしめ、100cc の空気を肋膜腔内に注入し自然気胸のないことを確めた後、肋膜腔内圧を立位にて測定して、深呼吸時、深呼吸時それぞれ $-13, -5$ [g/cm^2] を得た。この時の a を 100cc と見做して置く。又、本例では、初め、深呼吸時肋膜腔内圧が 0 であつたから、この時の a の値は、丁度 a_2 に相当している筈であつて、第二報の第 3 表より $a_2 = 1194cc$ を得、又 $y_1 = 101cc$, $y_2 = 1203cc$ である。ここで $\frac{y_1^2}{a_1} = \frac{y_1}{a_1} \times y_1$, $\frac{y_2^2}{a_2} = \frac{y_2}{a_2} \times y_2$ として両者を比較すると

$$\frac{y_1^2}{a_1} = \frac{y_1}{a_1} \times y_1 = 1.013 \times 101$$

$$\frac{y_2^2}{a_2} = \frac{y_2}{a_2} \times y_2 = 1.008 \times 1203$$

すなわち、式 (4) において、 a の値が a_1 より a_2 に増加する時 $\frac{y_1}{a_1}$ は $\frac{y_2}{a_2}$ へと、僅かに減少して 1 に接近するにすぎないが、 y_1 は y_2 へと、桁違ひに増加している。よつて明らかに $\frac{y_1^2}{a_1} < \frac{y_2^2}{a_2}$ であり、従つて、(4)a₁ > (4)a₂ である。

又、深呼吸位相においても、式 (4) は、 a_1 の時より a_2

の時の方が減少する。すなわち、如何なる呼吸位相においてもこのことがいえるのである。

以上の結果を要約すると、肋膜腔内存在瓦斯の量が増加すればするほど、気胸側胸腔の容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合は減少する。しかしここに重要な問題がある。すなわち、この際われわれは、その減少の度に大いに注目すべきである。今、深呼吸時での $dx/d(x+y)$ を求めると、松本例において、肋膜腔内存在瓦斯の量が a_1 の時、0.9996 で、 a_2 の時 0.9949 である。このように、 a が 100cc より 1194cc にまで増加し、虚脱肺の体積は、著しく減少しているにもかかわらず、 $dx/d(x+y)$ の減少は無視し得るほど少ないものであり、ともに 1 と見做し得るのである。

ここにおいて、われわれは、次の事柄を充分認識せざるを得ないのである。すなわち、肺臓が健常であり、或いは、肺臓の拡張時体積弾性率が健常肺のそれに近い場合、肋膜癒着が殆んどなく、肋膜腔内圧が深呼吸区間で陰圧の範囲内に変化するという条件を満足する程度的人工気胸に関する限りでは、人工気胸により、虚脱肺の呼吸による体積変化の減少を、一般に期待することはできない、ということである。

ただし、肋膜腔内存在瓦斯が増加すると、肋膜腔内陰圧は、その絶対値を減ずる故、胸廓横隔膜等の呼吸性中性点が、その程度に応じて吸気の方へ移動し、深呼吸の際の呼吸区間も減少するであろうことは、当然考慮されなければならない。

従つて、上記微係数を積分して虚脱肺の体積変化量を算出する時、その区間の減少だけ少なくも体積変化量が減少し、従つて肺活量も大なり小なり、減少するのは当然であろう。健常に近い肺臓ではしかし、これは問題視すべきものではないのである。

第四節 虚脱肺の呼吸運動の強さ

前節で理論的検討を行ったように、肋膜癒着のない健常な肺臓について、肋膜腔内圧が深呼吸区間で陰圧に止つている限りでは、肺臓の虚脱度が高度となつても呼吸運動による虚脱肺の体積変化の量は、殆んど減少しないものである。従つて今、虚脱肺において、肺門部より任意の肺外縁に到るまでの長さを r とすると、虚脱肺の体積は、 r^3 単位で表現されると考えて支障ない。故に肺臓の虚脱度が高度となり、その r が小となつた場合、 r が大きい時と同じ体積変化を行うためには、この時の r の変化を著しく大として、これに応じなければならないであろう。すなわち虚脱肺は、気胸によりかえつて強い呼吸運動を強制せられることになるのである。

第四章 肋膜腔内圧が陽圧の範囲内に変化する呼吸区間についての観察

第一節 X線 Distatographie による観察

本篇では、肋膜癒着のない健常肺を取扱うのである

が、かかる例で呼吸区間に肋膜腔内圧が陽圧の範囲内に変化する適当なものを見出し得なかつたので、下記 2 例を取扱つた。田中の例では、肺尖部には索状の肋膜癒着があり上葉部は無気肺様に萎縮しているが、中下葉部が健常な例であり、村角例では、右横隔膜神経捻除手術を受けており、肺臓肋膜に軽度の肥厚を有するように見えるが、肺臓内には、変化がない例である。両例とも、肋膜腔内圧が陰圧の呼吸区間では、虚脱肺外縁が、健常部において強く運動しているのであるが、肋膜腔内圧が陽圧の範囲に変化している区間において Distatograph を撮影したものを、第二報において第 2 図に示した。本図で示しているように虚脱肺外縁の運動は、僅少で、田中の例では、殆んどこれを認められなかつた。なお、この二例では、肺 X 線写真で認められる肋膜癒着以外に癒着の無いことを胸腔鏡によつて確めて置いた。なお、肋膜腔内圧が陽圧の範囲内に変化する種々の例での虚脱肺の運動を第三篇第 5 図に示し、後に詳しく述べることにする。

第二節 理学的数学的解析

第一篇で検索したように肋膜腔内圧が陽圧の範囲内に変化する場合における虚脱肺体積の変化と肋膜腔内圧との関係についても、二相にはあるが、各相には、概ね Hooke の定律が適用する。著者の家兎による実験成績では、この二つの相は、肋膜腔内圧が 0 乃至 $+5 \text{ [gY/cm}^2\text{]}$ の間にある個体特有の転位点により境せられている。肋膜腔内圧が 0 より転位点までの区間で健常な肺臓の示す縮少時体積弾性率 k' は、拡張時に示す体積弾性率 k よりも余り大なる絶対値を取らない。ところが転位点より陽圧が増加する呼吸区間において示す肺臓の縮少時体積弾性率 k'' の絶対値は、飛躍的に大である。従つて、第一の呼吸区間での虚脱肺の体積変化の様相は、肋膜腔内圧が陰圧の範囲内に変化する体積変化の様相と大した差違はなく、その延長と見做しても良いであろう。なぜならば、大気圧が非常に大で、 k 、 k' の差程度のものは、問題にならないからである。問題になるのは、第二の呼吸区間での場合である。この時、今、転位点における虚脱肺の体積を v' 、転位点より縮少した虚脱肺の体積を x' 、この時の肋膜腔内存在瓦斯の体積を y とし、 a 、 P 等は、式(4)と同義のものとすると、式(4)の場合と同様にして $dx'/d(x'+y)$ を求めることができる。

すなわち

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

ただし $x' \leq 0$

もしかりに、松本の例について、転位点を $+3 \text{ [gY/cm}^2\text{]}$ と仮定して計算すると、式(4)の右辺は 0.6379 となる。いかえると、この呼吸区間において初めて、肋膜腔内存在瓦斯が、胸腔の容積変化を虚脱肺へ伝達する場

合の緩衝体として作用すると考えて良いのである。しかし呼吸運動時に肋膜腔内圧は急激に昇騰するから、呼吸を司る諸筋肉群は、この時、大きい抵抗に遭遇する。故に、その収縮距離の減少を以てこれに応ずるのは当然であろう。すなわち、呼吸運動には、かかる場合、強い抑制が生ずるわけである。肋膜腔内圧の急激なる昇騰は、縦隔膜をその柔軟性に依じて他側へ圧排する結果を招来し、虚脱肺は周囲より強い圧縮作用を受ける等である。後者は人工気胸の作用の中、見逃し得ない大きい影響を肺臓に与えるものと考えねばならない。

総 括

1) 虚脱肺の呼吸運動方程式を用いて人工気胸による虚脱肺の呼吸運動に関与する諸条件が個々に変化する場合、虚脱肺の呼吸運動の様相が如何に変化するかを吟味すると、

(i) 肺臓の拡張時体積弾性率絶対値が増加する場合には、虚脱肺はより多く萎縮し、しかも気胸側胸腔の容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合は減少する。ただし、この時、胸廓、横隔膜の呼吸運動が制限され、この方面より虚脱肺の体積変化量は減少してくる。

(ii) 歪力を受けない時の虚脱肺の体積が増加する時には、虚脱肺体積変化は、気胸側胸腔の容積変化に接近する。しかし、健常肺でこのような条件の変化は殆んど起り得ない。

(iii) 大気圧が変化する場合については、人工気胸を施された個体が大気圧の大なる場所へ移動する時、虚脱

肺は拡張して呼吸運動は容易となる。ところが大気圧が次第に減少して行く場合には、虚脱肺は縮少して呼吸運動は急速に困難になつてくる。

(iv) 肋膜腔内存在瓦斯量が増加する場合、気胸側胸腔の容積変化に対する虚脱肺体積変化の割合は減少するが、深呼吸区間で肋膜腔内圧が陰圧の範囲内にある程度に止つている限りでは、この減少の度は無視し得るほど小さいものである。

2) 従つて、健常肺で肋膜腔内圧が常に陰圧の範囲内では、肋膜腔内存在瓦斯量が増加するほど、虚脱肺の伸縮運動は増加し、恰かも強制されているかの観を呈する。

3) 肋膜腔内圧が陽圧の範囲内に変化する呼吸区間では、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は、肋膜腔内圧が0より転位点まででは、陰圧呼吸区間におけると大差がないが、これより増加する時には著しく減少する。この時肋膜腔内圧の呼吸時上昇は急激となり、肺臓が周囲より圧縮せられるという重大な副作用を表わす。しかもこの時、虚脱肺体積の縮少は殆んど起り得ない。

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、種々御指導御鞭撻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。

文 献

14) 長石忠三及び久保克行：結核研究 3, 1, 23 昭22.

英文旬刊 世界医学時報 B5判 4頁

WORLD MEDICAL NEWS

- ☆ 辞書なしで文献が読めるようになるために
- ☆ 英文抄録が正しく書けるようになるために
- ☆ 医学用語の発音を誤まらないために
- ☆ 世界の医学と公衆衛生の動きを知るために

☆ 医学英語協会 (会長 名大 勝沼精藏総長) 発行
東大 福田邦三教授 責任編集の本紙をお読み下さい。

会員 (年予約購読者) は質問の特典があります。

定価1部10円. 1ヶ年 (36回) 予約前金 (会費) 320円

入会申込先

東京都文京区本郷局区内 東京大学医学部一号館内

世界医学時報編集部

振替口座 東京 91985 番

(見本御入用の方は東京大学医学部一号館野口秋水宛お申込下さい)