

臨床的肺機能検査法の体系化に関する研究

京都大学結核研究所外科療法部 (主任 教授 長石忠三)

中 村 健

〔原稿受付 昭和33年 8 月22日〕

STUDIES ON SYSTEMATIZATION OF CLINICAL PULMONARY FUNCTION TESTS

by

TAKESHI NAKAMURA

from the Surgical Division (Director: Prof. CHŪZŌ NAGATSHI) of the
Tuberculosis Research Institute, Kyoto University

As there are various kinds of clinical pulmonary function tests, we are often at a loss which one to choose when we wish to evaluate pulmonary function as in detail as possible with limited equipments and labour.

Even if we could try all kinds of tests, we would be bewildered how to evaluate pulmonary function from the various results we have got by these tests.

Present author, therefore, endeavoured to systematize clinical pulmonary function tests since May, 1953, with a view to solve these problems, studying pulmonary function and pulmonary circulation on tuberculous patients. The object aimed at was to make clinical evaluation of pulmonary function comprehensive and effective by systematically combining test items of these tests, avoiding duplications as much as possible.

Specific peculiarities of pulmonary function and evaluation method of them have been dealt in Part I from the stand-point of systematizing clinical pulmonary function tests. Systematization based on the conclusion arrived at Part I and practical application of the systematized tests have been treated in Part II.

Conclusion of these two parts is as follows:

1) Pulmonary function have the following peculiarities:

i) Oxygen consumption during based respiration is not reduced by pulmonary insufficiency.

ii) The lasting maximum ability of the normal alveolus is about three times as great as that of the normal alveolus during basal respiration.

iii) Pulmonary insufficiency is generally caused by the disturbances of ventilation-perfusion relationships, but it is rarely brought about by the disturbance of diffusion.

(本論文の要旨は、第18回日本循環器学会総会 (昭, 29, 4), 第7回日本胸部外科学会総会 (昭, 29, 10), 第4回日本麻酔学会総会 (昭, 32, 10) の席上、部分的に報告し、第19回日本循環器学会 (昭, 30, 4) に於ける長石の宿題報告「肺循環、所謂静脈血混合を中心として」の一部に含めて報告した。)

iv) The disturbances of pulmonary circulation on the patients suffering from lung diseases are incidental to so-called "pulmonary insufficiency."

2) Pulmonary function with these peculiarities can most reasonably be grasped by the following evaluation.

Pulmonary function should be classified into the essential function of the lung during basal respiration (*respiratory function*) and the *maximum ability* of the lung. The evaluation of the former should be made by the *efficiency* of the lung and the latter should be evaluated by the *maximum power* of the lung.

In clinical practices, it is enough to measure pulmonary function first and then estimate whether there are any disturbances of pulmonary circulation. When it is considered necessary to measure the latter, the detailed tests for them should be made.

3) The indicators that point out the pulmonary function, that present author adopted to systematize clinical pulmonary function tests, are the following six:

i) % of vital capacity = $\frac{\text{measured value}}{\text{predicted value}}$ of vital capacity $\times 100$

ii) Timed fraction of vital capacity = $\frac{3/4\text{second maximum expiratory capacity}}{\text{measured value of vital capacity}} \times 100$

iii) % of MBC = $\frac{\text{measured value}}{\text{predicted value}}$ of maximum breathing capacity $\times 100$

iv) O₂-hemoglobin saturation of arterial blood

v) Ineffective ventilation ratio = $\frac{\text{respiratory dead space}}{\text{tidal volume}} \times 100$

vi) Ineffective pulmonary blood flow ratio = $\frac{\text{venous admixture}}{\text{cardiac output}} \times 100$

4) The pulmonary function tests chosen by present author are as follows:

i) Test of the maximum ability of the lung:

a) Screening-test (measuring of % of vital capacity and timed fraction of vital capacity)

b) measuring of % MBC

ii) Test of the essential function of the lung:

a) Measuring of O₂-hemoglobin saturation of arterial blood

b) Measuring of ineffective ventilation ratio and ineffective pulmonary blood flow ratio

5) A simplified method of measuring ineffective pulmonary blood flow ratio has been devised in order to make it easier to put the above-mentioned test in practical use. Nine sheets of calculation charts for the above-mentioned six indicators and a quadrant plotting chart helpful to the evaluation of the results of the screening-test have also been originated by present author. When these devices are used, these tests will very easily be put into practice.

6) As chief objects of clinical pulmonary function test will practically be achieved by applying the methods mentioned above, pulmonary catheterization and other methods will be enough to be employed only when fairly severe disturbances

of pulmonary circulation are surmised to exist by the systematized tests.

It may be better to add here that pulmonary hypertension caused by pulmonary insufficiency may be considered non-existent when pulmonary function is plotted above the line of cardio-pulmonary risk on the quadrant plotting chart.

7) In order to know the indication of surgical treatments for the patients suffering from pulmonary diseases, above-mentioned screening-test is the most suitable method. So long as the pulmonary function of the healthy side measured by bronchspirometry can be plotted above the line of cardio-pulmonary risk on the quadrant plotting chart, the operation is sure to be safely performed.

8) Although various kinds of load tests are helpful to the evaluation of pulmonary function from other point of view, they are not so useful as widely applied in clinical practices.

9) Present author, however, is not going to say that all the testing methods other than the above-mentioned systematized tests are of no use. Author only wishes to say, although it is sometimes necessary to apply various kinds of tests jointly with the methods mentioned above in physiological or pathologic-physiological researches, pulmonary function can sufficiently be evaluated by the systematized test only in clinical practices.

第1篇 臨床的肺機能検査法の体系化なる観点からみた肺機能の特異性並びにその評価法に関する研究

目 次

緒 言

第1章 肺機能の特異性

第1節 肺の本質的機能

第2節 肺の予備能力

第3節 肺機能に障害を与える生理学的因子

第4節 所謂肺機能と肺循環との関連性

第2章 肺機能の評価法(その1)

第1節 在来の肺機能評価法の欠点

第2節 肺機能の合理的評価法(著者等の見解)

第3節 生機学的観点からする著者等の見解の理論的根拠

第4節 肺機能の特異性なる観点からする著者等の見解の实地臨床的妥当性

第3章 肺機能の評価法(その2)

第1節 肺の本質的機能の評価法

第2節 肺の最大能力の評価法

第3節 肺機能に障害を与える生理学的因子の分析法

第4節 肺循環障害の評価法

第4章 肺機能の評価法(その3)

胸部外科に於ける肺機能評価法

結 論

緒 言

肺機能は個体の外的活動なる面からみても、体内の新陳代謝なる面からみても、生理学的乃至病態生理学的に極めて重要なものである。にも拘らず、肺機能検査法の発達が他の臓器機能検査法のそれに比べて遅れているのは如何なる原因によるものであろうか。

その主なる原因としては、次の三つが考えられる。

第一には、肺では肝や腎の場合に比べて、その器質的障害を叩診、聴診及びレ線の診断等の理学的診断法によりかなり正確に診断し得るから、機能的診断法の必要性が殆んど認められぬこと、第二には、肺は予備能力が極めて豊かな臓器であるから、限局性の器質的な障害により局所的には若干の機能障害が招来される

にしても、それは潜在的なものであつて臨床的には問題にされぬ場合が多いこと等が考えられる。更に又、肺機能検査法の発達を達らせた第三の原因としては、従来肺機能を知ろうと試みた人々が他の臓器に於ける体液内代謝とは全く趣を異にするガス代謝なる機能を把握する方法を容易には見出し得なかつたことをも考慮しなければならない。

しかしながら、近年に於ける胸部外科及び麻酔の飛躍的な発展は、心肺機能の詳細な解明を必要とするようになり、又心臓カテリゼーションの臨床的応用は、Riley, Cournand 及び Donald 等の理論と相俟つて、心肺機能の生理学乃至病態生理学に劃期的な進歩をもたらしたのである。心肺機能に関する新しい考え方、実験及び装置等を応用した病態生理学的研究は、現在では盛んに実施されており、これに伴つて、多種多様の新しい肺機能検査法が相次いで案出されている。

しかしながら、それ等の諸検査法の或るものは肺機能の一面のみを知るには極めて優秀な方法であつても、肺機能を総合的に評価するには不十分であり、又或るものは理論的には卓越せる方法であつても実地臨床的には応用し難いものである。それであるから、日常の臨床的肺機能検査法として限られた設備と労力との範囲内で可及的詳細に肺機能を評価しようとする場合には、多種多様の諸検査法の中から何と何とを選んで実施すればよいかに迷うことが少なくない。又、それ等の諸検査法のすべてを残らず実施する場合でも、各種各様の諸検査結果から肺機能をどのように評価すればよいかに苦しむことが少なくない。

そこで、著者は昭和28年5月以降、肺結核患者を主なる対象とした肺機能並びに肺循環の研究を行い、以上のような諸問題を解決する目的から臨床的肺機能検査法の体系化に関する研究を始めたのである。

従つて、本研究の目的とする体系化とは、既知の臨床的肺機能検査法のすべてを蒐集且つ分類することにより、純科学的な組織的体系を作ることではなくて、多種多様の肺機能検査法の中から被検査事項の異なる数種のものを互いに重複せぬように選び、それ等を組織的に組み合わせることにより、肺機能の臨床的評価を最も効果的、且つ総合的ならしめようとすることを意味するわけである。

本研究やこれに関連した肺機能及び肺循環の研究等の要旨については、日本胸部外科学会、結核外科研究会及び日本循環器学会等の席上、屢次報告しており、

特に本研究の骨子ともいふべきものゝ大要は、長石忠三：肺循環、所謂静脈血混合を中心として：綜合医学、12巻7号(昭30. 7)、Chūzō Nagaishi: Pulmonary Circulation with Reference to Venous Admixture: Japanese Journal of Circulation, Vol. 20, No. 1 (1956) or Japanese Journal of Tuberculosis, Vol. 4, No. 1 (1956) 等に、又その詳細は、中村健他：臨床的肺機能検査法の体系化と、これに関連して作成したノモグラムについて：呼吸と循環、3巻、4号(昭30. 4)に含めて報告している。

本論文は、以上の諸研究を基にして、その後の研究により足らざる処を補填し、且つ改良すべき処はこれを改良し、昭和28年5月以降の臨床的肺機能検査法の体系化に関連する諸研究を綜括したものである。

周知のように、肺生理学の進歩に伴い、多種多様の肺機能検査法が発表せられ、又これ等を応用した病態生理学的研究は、この数年来枚挙に遑がない。しかしながら、著者のような臨床的肺機能検査法の体系化に関する研究は、未だ諸外国に於いても行われていない。

一般に、肺のような広汎な機能を有する臓器では、単一検査法(single test)は成立せず、多種多様の検査法を同時に併せ行うことが必要であり、その結果として肺機能を評価するのに多数の指標が考案されている。しかしながら、肺機能の評価に多数の指標を要すること自体、肺機能の広汎性、複雑性を物語るものではあるが、別の観点からすると、現状のまゝでは肺機能の合理的な評価法に欠ける処があるからだとも考えられる。

そこで、著者は先づ臨床的肺機能検査法の体系化する観点からみた肺機能の特異性と、その評価法とに就いて検討し、次にその結論に基いて臨床的肺機能検査法の体系化と、体系化された諸検査法の実地応用とを可能ならしめるように、創意と工夫とを凝らしたわけである。

第1章 肺機能の特異性

第1節 肺の本質的機能

肺の本質的機能とは、いうまでもなく個体の新陳代謝に必要な O_2 を摂取し、代謝終産物としての CO_2 を排泄することである。

個体が定常な(steady)呼吸を(19)26(1)63)営んでいる場合には、このような摂取と排泄とが絶えず円滑に進行し、新陳代謝の均衡が保たれているのである。従つ

第1表 肺結核患者に於けるO₂摂取量と肺機能障害との関係 (肺結核外科的療法の術前患者15例, 術後患者30例に就いての検討)

肺結核外科的療法未施行例										胸廓成形術施行例										肺切除術施行例									
症例	性	年齢	体表面積 (m ²)	肺活量 (cc)	動脈血 O ₂ 飽和度	O ₂ 摂取量 (cc/min/m ²)	症例	性	年齢	体表面積 (m ²)	肺活量 (cc)	動脈血 O ₂ 飽和度	O ₂ 摂取量 (cc/min/m ²)	症例	性	年齢	体表面積 (m ²)	肺活量 (cc)	動脈血 O ₂ 飽和度	O ₂ 摂取量 (cc/min/m ²)									
1	♂	36	1.56	2750	97	129	16	♂	42	1.74	1100	89	164	31	♂	29	1.58	2300	96	146									
2	♂	30	1.68	2100	97	139	17	♂	43	1.76	2000	86	171	32	♂	25	1.42	1500	97	162									
3	♂	27	1.56	2700	99	139	18	♂	27	1.48	2300	98	145	33	♂	26	1.74	2300	96	140									
4	♀	35	1.38	1550	98	136	19	♂	44	1.46	2200	85	151	34	♀	31	1.31	1600	97	127									
5	♂	31	1.74	2700	99	122	20	♂	27	1.48	1400	97	149	35	♂	26	1.60	3700	94	126									
6	♂	27	1.52	2600	85	145	21	♂	25	1.62	1600	97	158	36	♂	29	1.54	2000	95	117									
7	♂	42	1.60	2600	100	154	22	♂	38	1.52	2000	94	158	37	♂	45	1.52	1850	91	164									
8	♂	40	1.51	1000	89	132	23	♂	25	1.53	1750	96	132	38	♂	25	1.68	2600	98	161									
9	♂	44	1.49	3100	97	155	24	♂	26	1.54	2500	99	131	39	♀	29	1.43	1500	87	141									
10	♂	27	1.59	1300	93	160	25	♂	44	1.46	2450	95	138	40	♂	30	1.60	3400	97	144									
11	♀	27	1.48	1300	94	158	26	♀	35	1.54	1300	94	154	41	♂	25	1.56	1550	91	146									
12	♂	65	1.68	3150	94	164	27	♂	23	1.46	1700	93	173	42	♂	19	1.78	1600	98	153									
13	♂	42	1.64	3400	97	120	28	♂	36	1.85	2350	96	143	43	♂	24	1.58	2550	93	122									
14	♂	53	1.56	2020	90	123	29	♂	30	1.50	1200	85	146	44	♂	35	1.84	4100	93	146									
15	♀	46	1.42	1200	89	145	30	♂	31	1.61	1800	99	156	45	♂	27	1.48	3000	98	156									

て、定常な呼吸状態 (steady state) にある個体では、たとえ肺機能が障害されて血中のO₂が正常値以下となり血中のO₂が不足している場合でも、或いは又、血中のCO₂が正常値以上となり血中のCO₂が過剰になっている場合でも、新陳代謝に要するだけのO₂は確実に摂取されており、又排除されねばならぬだけのCO₂は確実に排泄されている筈である。もしもそうでないとするならば、個体は決して定常な呼吸状態ではあり得ないからである。

以上のことからして、肺機能が如何程に障害されているようとも、定常な呼吸状態が持続している限りに於いては、肺は呼吸と循環との両面に於ける莫大な予備能力を発揮して、少なくとも新陳代謝に必要なだけのO₂を確保し、余分のCO₂を確実に排泄しているものと考えられるわけである。

このような考え方が誤まつていないことは、第1表のように、O₂摂取量が肺機能の障害度とは無関係であることから明らかである。

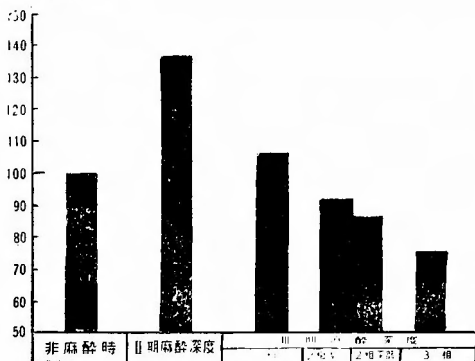
しかしながら、新陳代謝に必要なO₂が確実に摂取されているといつても、それは必ずしも新陳代謝に充分なO₂であるとは限らないかも知れない。肺機能が障害されて、動脈血のO₂分圧が低下し、その低下度に応じて血液から組織へのO₂の移行が困難となり、新陳代謝が抑制されている場合も亦、当然あり得ることゝ思われる。

このような場合には、肺は動脈血のO₂分圧を可及的に上昇せしめる為に全能力を挙げることになるが、動脈血O₂分圧を上昇せしめる肺の能力には限度があるから、その限度に於いて個体は止むなく抑制された新陳代謝の状態でも均衡を保持し、定常な呼吸を営んでいるのであらうと考えられる。

一般に、個体の新陳代謝が抑制された場合には、その個体のO₂摂取量は減少するものである。例えば、全身麻酔下の個体では麻酔深度に相応して新陳代謝が低下し、その結果としてO₂摂取量は減少する。第1図は、この関係を示すものである。

しかしながら、肺機能が高度に障害さ

第1図 エーテル麻酔時に於ける O_2 摂取量の変動
(本図は非麻酔時に於ける O_2 摂取量を 100 として表示したものである。各種の胸部、腹部外科的手術患者、合計50例に就いての測定値の平均である。)



れ、動脈血の O_2 分圧が著明に低下し、恐らく新陳代謝が抑制されているであろうと考えられるような場合でも、第1表のように必ずしも O_2 摂取量は減少するとは限らないのである。

以上のことを要約すると、麻酔により新陳代謝が低下するような場合には、それは個体の合目的な作用であるから O_2 摂取量は必ずしも減少するが、肺機能障害により止むなく新陳代謝が抑制されるような場合には、それは個体の非合目的な作用であるから、 O_2 摂取量は必ずしも減少するとは限らないということになる。又後者のような場合については、以下のような考え方により更に詳細に理解され得るものと思われる。

肺機能障害により止むなく新陳代謝が抑制されるような場合には、新陳代謝の抑制を防止すべく呼吸と循環との両機能に絶えず必要以上の負荷 (load, Belastung) を加えられるから、個体は全身の新陳代謝を止むなく制限する反面、他面では呼吸と循環との両機能に必要な以上のエネルギーを償い与えなければならぬという矛盾に撞着することになる。その結果として、 O_2 摂取量は必ずしも減少するとは限らず、むしろ反対に増加する場合もあり得るのではなかろうか。

このような考え方を発展させると、肺機能の障害度に相応して O_2 摂取量は減少するものではなくて、むしろ増加する傾向を有するものといえることにもなるのである。

又、肺機能が障害されて大気呼吸下では全身の新陳代謝が抑制されている場合、呼吸と循環との両機能は正常以上の代謝量を取得している筈であるから、純 O_2 呼吸を行えば、一方では全身の新陳代謝が充分に行わ

れて O_2 摂取量は大気呼吸時に比して増加するが、他方では呼吸と循環との両機能が取得していた正常以上の代謝量が不要となつて O_2 摂取量は減少することになる。即ち、酸素債 (酸素不足量) と呼ばれるものは、二つの相異つた原因による O_2 増減の結果と考えられるものであるから、著者は酸素債の多少と肺機能の障害度とは殆んど関連性がないものと考えている。

従来、大気呼吸時及び純 O_2 呼吸時の各 O_2 摂取量から酸素債を測定し、これにより肺機能の障害度を評価したようであるが、著者は以上の考え方からしてこれを信用し難いのである。そこで、比較的高度の肺機能障害者15例を選び、繰り返して酸素債を測定した結果、第2表のように、以上の考え方が正しいことを実証し得るような成績を得たのである。

何れにしても、定常呼吸状態に於ける O_2 摂取量をどれ程厳密に測定したとしても、それは全身の新陳代謝状態を知り得るだけで、必ずしも肺機能の良否とは関係がないように思われる。或る被検者の O_2 摂取量や CO_2 排泄量が正常値以下であつても、これと被検者の肺機能との間には、何等の直接的な関係はないようである。このことは、動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度が正常以下に低下しているような高度の肺機能障害者に於いても O_2 摂取量が必ずしも正常以下に減少しているとは限らず、むしろその反対に正常以上に増加している場合が多いことからして明らかである。

第2節 肺の予備能力

肺機能検査法の発達が他の臓器に於けるそれに比して遅れた原因の一つは、肺が予備能力に富んでいる点にかゝつている。例えば、結核や癌により肺機能が局所的に障害される場合等では、臨床的にはその障害が表面に現れないが、これは肺の予備能力が大きいからである。

ところで、肺の予備能力は果してどれ程であろうか。

肺機能は、その個体の生命を維持するのに直接関係するものであるから、たとえ瞬間的には安静呼吸時の10倍の肺機能が發揮されたとしても持続性が伴わない場合には、厳密な意味では肺の予備能力が測定されたことにはならない。この意味で肺の予備能力は瞬間的な最大能力に比して遙かに小さいものと考えられる。

著者は、以下の論拠により健康肺の持続的な最大能力は安静呼吸時に於ける肺の仕事量の約3倍と看做すのが妥当であると考えている。

その論拠とする処の一つは、肺血行力学的研究の結

第2表 肺機能障害患者に於ける酸素債 (O_2 不足)

(比較的高度の肺機能障害を伴う肺結核患者15例に就いて、100% O_2 呼吸時に於ける分時 O_2 撮取量と大気呼吸時に於けるそれとの差を酸素債として表示した。単位は cc/m^2 である。)

症 例	No. 46	No. 47	No. 48	No. 49	No. 50	No. 51	No. 52	No. 53
胸 部 X 線 所 見								
備 考	外科的療法 未施行、撒 布集広範	右胸成術施 行、肋骨切 除 7 本	外科的療法 未施行、左 肋膜肥厚高 度	左胸成術施 行、肋骨切 除 5 本	外科的療法 未施行、左 肋膜肥厚高 度	両側胸成術 施行、肋骨 切除左右各 4 本	外科的療法 未施行、左 肋膜肥厚中 等度	左空洞切開 術施行、肋 骨切除 5 本
% 肺 活 量	85	56	43	64	42	38	55	52
O_2 飽 和 度	93	90	91	95	87	89	93	92
分時 O_2 撮取量	147	161	158	130	155	167	143	135
酸 素 債	- 8	- 13	+ 10	+ 4	- 12	- 10	+ 5	+ 2
症 例	No. 54	No. 55	No. 56	No. 57	No. 58	No. 59	No. 60	
胸 部 X 線 所 見								平
備 考	外科的療法 未施行、左 肋膜肥厚高 度	外科的療法 未施行、左 肋膜肥厚中 等度	右空洞切開 術施行、肋 骨切除 5 本	人工気腹術 施行	左人工気胸 術施行	外科的療法 未施行、左 自然気胸、 右肋膜肥厚 中等度	外科的療法 未施行、撒 布集広範	均 値
% 肺 活 量	47	69	40	56	63	34	88	
O_2 飽 和 度	94	93	92	93	94	90	94	
分時 O_2 撮取量	141	126	136	162	134	135	129	145
酸 素 債	- 2	+ 15	0	- 9	- 6	- 5	+ 8	- 1

果に基くものである。

一般に、健康人に激しい労作により呼吸困難を招来せしめても、決してチアノーゼが招来されないことから、肺の予備能力を規定するものは呼吸ではなくて循環であると考えられている。そこで、運動負荷時の健康肺では心搏出量が約 3 倍に達する迄は肺動脈圧に何等の変化も招来されないという実験成績⁽¹⁾⁽¹⁷⁾⁽³²⁾からすると、健康な肺血管床は安静時に 2 倍の予備能力を残していると推察され得るのである。

更にもう一つの論拠は、肺外科の分野に於いて臨床経験的に規定された肺活量に関する数値に基くものである。即ち、高橋、早田等⁽⁷⁴⁾の案出した簡易肺臓置量算定式は、武田⁽⁷³⁾の臓置量算定式と臨床結果に於いて略々一致するものだといわれているが、それは生存に必要な肺活量を標準肺活量の 0.3 と規定し、これに立

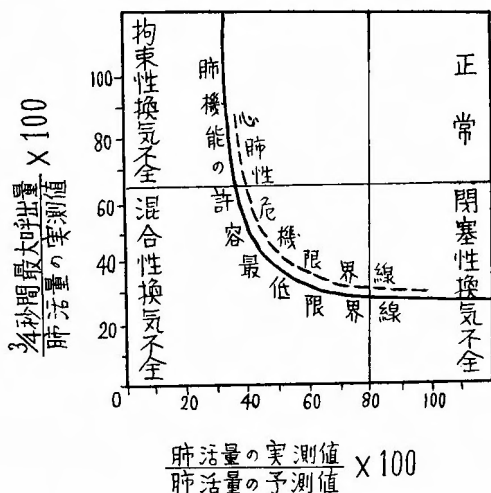
脚して案出された算定式であることである。

又、第 2 図のように、著者等が作成した肺機能の臨床的評価用分割図表では、以上の論拠に基いて肺機能の許容最低限界線を肺活量の予測値の 33% に収斂するように作図しているが、一方、胸部外科の実地臨床に於いて経験的に得た心肺性危機限界線は、これに近似しており、肺活量の最低限界をこのような数値に規定することの妥当性を裏書きするのである。(第 2 篇の第 2 章、第 2 節を参照のこと)

以上のことからして、健康な肺胞が何等の負担なしにその能力を持続的に発揮し得るのは、安静呼吸時の約 3 倍だと規定されるべきである。

肺は、このように予備能力に富む臓器であるから、たとえ呼吸面積が若干減少したとしても、肺全体としてみると安静呼吸時には全く問題とならぬ筈である。

第2図 肺機能の臨床的評価用分割図表



事実、呼吸面積の減少だけが単純に起る場合には、何等の機能障害も招来されぬのが普通である。肺切除術後の肺血力学の諸値に関する研究成績は³⁾⁹⁾¹⁰⁾⁴²⁾、何れもこれを立証するに足るものである。

しかしながら、他方では肺全体としての機能が局所的な機能障害により著しく低下せしめられる場合も認められる。

それは換気-血流分布関係 (Ventilation-Perfusion Relationships⁶³⁾) が障害されている場合である。即ち、健全な肺胞では換気と肺血流との間に肺胞膜を界として機能的な均衡が保たれているが、何等かの部分的な病変によりこれ等両機能間に均衡破綻が招来されると、機能障害はその局所のみならず肺全体に及ぶのである。

局所に於ける換気と肺血流とが共に完全に廃絶される場合には、単に呼吸面積の減少のみが招来されて、肺のような予備能力に富んだ臓器では全体としての機能は障害されぬのが普通であるが、局所に於ける換気と肺血流との間に機能的な均衡破綻が招来される場合には、肺全体としての機能は却つて著明に低下するのである。即ち、肺の局所に換気-血流分布関係の障害がある場合には、その局所の換気や血流が共に完全に廃絶している場合よりも肺全体としての機能に悪影響が招来されるのであつて、このことは肺機能の特異性として注目すべき事項だと思われる。

以上のように、肺は一方では極めて予備能力に富む臓器である反面、局所的な機能障害によつて全体の機能に著明な低下を招来するものである。近年、肺活量

の測定値と自覚的な呼吸困難との間に必ずしも平行関係が認められないことから予備能力の評価用として種々の指標が発表されているが、両者の間に平行関係が認められないことは、以上のことから考えるとむしろ当然のことと思われる。

第3節 肺機能に障害を与える生理学的因子

第1節で明らかなように、肺機能が高度に障害された場合でも O_2 摂取量は通常略々正常値を示し、 O_2 摂取が不足しているということはない。又、第2節で明らかなように、健全な肺胞は何等の負担なしに安静呼吸時の約3倍の能力を持続的に發揮し得るから、理論的には約1/3の健全肺があれば呼吸面積の減少による機能障害は招来されぬ筈である。1/3以上の健全肺を有し、正常以上の O_2 を摂取しているにも拘らず、事実上、肺機能は障害されるのである。このような場合、肺機能を障害するものは、前記の換気-血流分布関係に他ならない。

著者等はRiley, Cournand 及び Donald等の理論⁶⁴⁾と方法⁶⁵⁾とを肺結核患者44名の術前、術後に適用し、その中確実な成績を得た31例について機能障害を分析した結果、肺結核患者に於ける肺機能障害は、一般に主として換気-血流分布関係に基因しており、肺全体としての拡散障害には殆んどよらないことを明らかにしたのである。⁵⁰⁾⁵¹⁾その成績は、第3表に示す通りである。

Riley, Cournand 及び Donald 等の方法では、肺胞気 O_2 分圧 (PA_{O_2}) から肺胞毛細管血 O_2 分圧 (PC_{O_2}) を見積る方法として、被検者の代謝状態を可及的に変化せしめない範囲で高低両レベルの O_2 呼吸を行わしめ、高低両レベル間の静脈血混合心搏出量 (Q_{va}/Q_t) と理論的平均 O_2 分圧勾配 ($PA_{O_2}-PC_{O_2}$) とが不変であることを前提条件としながら、見積つた PC_{O_2} を帰謬法的に確めるのである。

著者等が31例について $PA_{O_2}-PC_{O_2}$ を測定した処では、唯1例のみが1mm Hgを示したのみで他の30例はすべて $PA_{O_2}=PC_{O_2}$ を示したのである。

従つて、著者等は肺結核のような限局性肺疾患の場合では、たとえ局所的には肺胞膜の通過障害があつても肺全体としてみると、 PA_{O_2} と PC_{O_2} とが相等しいものが普通であらうと考えている。尤も肺胞毛細管ブロックを招来するような疾患の場合には、拡散障害も亦必至であらうが、普通の肺結核や肺癌のような限局性肺疾患の場合では、少なくとも在来の検査法によつては、 PA_{O_2} と PC_{O_2} との間に著明な O_2 較差を見出し

第3表 肺結核患者に於ける呼吸機能障害の分析

術 前 例	肋 膜 肥 厚 な し					肋 膜 肥 厚 著 明					平均
	No. 61	No. 62	No. 63	No. 64	No. 65	No. 66	No. 67	No. 68	No. 69	No. 70	
静脈血混合量/心搏出量	8	15	9	7	9	12	18	20	29	26	15.3
呼吸死腔量/1回換気量	23	23	17	25	25	15	19	29	28	38	24.2
拡散係数/体表面積	7	8	10	8	9	8	9	10	8	9	9

虚脱療事例	人 工 気 胸 術					胸 廓 成 形 術					平均
	No. 71	No. 72	No. 73	No. 74	No. 75	No. 76	No. 77	No. 78	No. 79	No. 80	
静脈血混合量/心搏出量	7	7	29	17	15	12	12	4	20	13	13.6
呼吸死腔量/1回換気量	14	26	19	20	21	23	23	22	24	20	21.2
拡散係数/体表面積	8	9	8	10	9	7	10	8	9	10	9

切除療事例	術後再膨脹 良好					術後肋膜肥厚 著明				過膨脹	平均
	No. 81	No. 82	No. 83	No. 84	No. 85	No. 86	No. 87	No. 88	No. 89	No. 90	
静脈血混合量/心搏出量	4	8	6	12	5	15	12	6	16	23	10.7
呼吸死腔量/1回換気量	14	19	11	14	23	14	16	13	16	22	16.2
拡散係数/体表面積	10	9	9	8	10	10	9	8	7	8	9

得ないのである。

以上のことからして、著者は呼吸面積の不足による肺機能障害なるものは厳密な意味ではあり得ないと考えるのである。漠然とした意味では呼吸面積の減少による肺機能障害ということはあるかも知れないが、肺機能を障害する生理学的因子としては、通常あり得ないものと思われる。一般に、肺は所要の呼吸面積を有し、且つ所要の O_2 を充分摂取しているにも拘らず、通常の場合は換気-血流分布関係の障害により、又極めて稀には拡散の障害により機能障害が招来されるものと思われる。

第4節 所謂肺機能と肺循環との関連性

肺機能は、周知のように換気作用、肺胞作用及び肺循環作用等の三つに分類されるが、前二者を含めて所謂肺機能と狭義に呼ぶことがある。

所謂肺機能と肺循環機能とは互いに密接な関係を有し、両者を切り離して別個に考察し難いものではあるが、又逆説的な観点からすると、その為に肺疾患の場合には所謂肺機能が肺循環機能に先行して障害されるとも考えられる。

事実、肺血行力学的諸値に関する従来の研究報告³⁾ 9) 10) 42) 85) についてみると、循環器疾患の場合はいざ知らず少なくとも肺疾患患者に於いては、肺血行力学的諸値は所謂肺機能に随伴して障害されることが明らか

である。

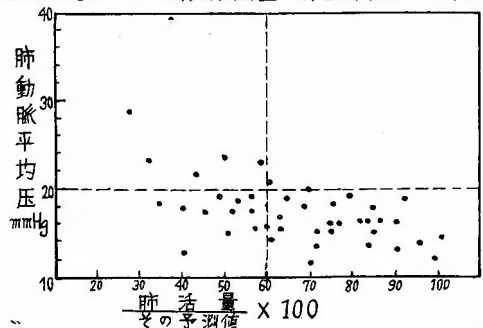
このような観点からすると、所謂肺機能の障害度に相応して肺循環機能のそれを推察しても差支えないわけである。

第3図は著者等が測定した45例の肺結核患者の肺活量（予測値に対する%）と肺動脈圧（平均圧）との関係を示すものであり、両者がかなりの相関々係を示すことが明らかである。

以上により、著者は臨床的肺機能検査法の体系化する観点からみた肺機能の特異性について検討した。そこで、このような特異性を有する肺機能をどのように

第3図

肺結核患者における%肺活量と肺動脈圧との関係



評価すればよいかについて次に検討する。

第2章 肺機能の評価法(その1)

第1節 在来の肺機能評価法の欠点

既に緒言で述べたように、近年肺機能の評価に多種多様の指標が考案されているが、肺機能の評価に多数の指標を要すること自体、肺機能の広範性、複雑性を物語る反面、現状では肺機能の評価法に欠ける所がある証拠でもある。

近年、肺機能は換気機能、肺胞機能及び肺循環機能等の3過程に分析して考察されるようになってきているが⁴⁾⁶⁹⁾、肺機能をこのように分類することは生理学的には当然の帰結であつて、著者も亦このような分類に基いて肺機能を検査することに対しては些かの異議もない。しかしながら、臨床的にはこのような分類に基いて各種肺機能検査法のすべてを実施することは容易なことではないのみならず、たとえすべての肺機能検査法により肺機能を総合的に検査し得たとしても、これらの多種多様の検査成績から肺機能を総括して評価することも亦必ずしも容易なことではない。

著者等は、在来の肺機能評価法にこのような欠点があるのは在来の肺機能評価法が肺機能の効率及び工率なる考え方によつていないからだと考えるのである。

肺機能が肺の効率及び工率に相応した指標により評価されるならば、肺機能は一段と合理的、且つ総括的に評価されることになると思われる。

肺機能の評価に効率及び工率なる考え方が導入されると、どのように好都合であるかに就いては、本章第3節、第4節及び第3章の各節等に於いて詳細、且つ具体的に述べられる筈である。

第2節 肺機能の合理的評価法(著者等の見解)

著者等は臨床実利的な立場から肺機能を総括的に評価する場合には、以下のような評価法が最も合理的であろうと考えるものである。

即ち、肺機能を安静呼吸時に於ける肺の本質的機能(呼吸機能)と、肺がその全機能を最大に発揮した場合の能力(最大能力)とに2大別し、前者を評価する場合には効率なる考え方に基いてその本質的優劣を比較し、又後者を評価する場合には工率なる考え方に基いてその性能の大小を判定するのが最も合理的である。

その際、所謂肺機能を先ず評価し、その結果から肺循環機能障害の有無を推定し、更に詳細な検査法が必要だと考えられる場合にのみ、これを行うのがよい。

以上のような肺機能評価法は、肺を呼吸機械と看做す生機学的観点からして理論的には最も合理的であると考えられ、又前記のような肺機能の特異性なる観点からしても実地臨床的妥当性を有するものである。

以下、これに就いて述べる。

第3節 生機学的観点からする著者等の見解の理論的根拠

肺機能は通常、単純な物理学的法則に則つて説明され得るので、肺は屢々「生命力」をもたぬ機械として取扱われ、呼吸機械(respiratory machine)と看做されることがある。著者等は少なくとも肺機能を評価する場合には、このような生機学(biodynamics)的観点から肺を呼吸機械と看做してその有用価値を論じるのが合理的で、且つ又実利的な評価法であると考えている。

一般に、機械の有用価値を示すものとして効率(eficiency; Wirkungsgrad)と工率(power; Effekt)との2指標が知られている。

肺をO₂摂取用機械と考え、その機械のなし得た仕事、即ち摂取したO₂の量をW、又それだけの仕事をなすのに呼吸と循環との両機能が要したエネルギーをQとすれば、肺の効率は、

$$E = \frac{W}{Q}$$

で示される。即ち、単位エネルギーにより肺が摂取し得るO₂の量が肺の効率に相当し、肺が単位量のO₂を摂取するのに、呼吸と循環とが要するエネルギーが少なければ少ない程、肺の効率はよいわけである。

これに対して、肺の工率は、摂取したO₂の量(W)とこれを摂取するのに要した時間(t)との比で示される。

$$P = \frac{W}{t}$$

即ち、肺の工率とは単位時間内に肺が摂取し得るO₂の量に相当するから、分時O₂摂取量が肺の工率であることになる。

一般に、工率は効率が略々等しいような同種機械の間に於いて、それ等の機械の能力の大小比較に用いられる指標であつて、機械の本質的優劣の比較には適さぬものである。

しかしながら、実用的には効率よりも工率の方が問題とされる場合も亦多いのである。それは実際面では機械の本質的優劣よりも、先ず機械のなし得る仕事量の多寡の方が問題となる場合が多いからである。この

ような場合には、その機械が全能力を発揮して最大の仕事をなし得る場合の工率を以つて、その機械の性能を表わすのが常であり、これを最大能力と呼んでいる。

以上のように、一般に機械の有用価値を決めようとする場合には、効率によつてその本質的優劣を比較すると共に、最大能力によつてその性能の大小を比較し、これ等二つの結果から機械の全性能を総括して評価しなければならない。そこで、著者等は肺機能を安静呼吸時に於ける肺の本質的機能（呼吸機能）と、肺がその全機能を最大に発揮した場合の能力（最大能力）とに2大別し、前者を評価する場合には効率なる考え方によりその本質的優劣を比較し、後者を評価する場合には工率なる考え方によりその性能の大小を比較する方法が肺機能の合理的評価法であると考えてるのである。

第4節 肺機能の特異性なる観点からする著者等の見解の実地臨床的妥当性

第1章第1節で明らかなように、肺機能が高度に障害された場合でも安静呼吸時に於ける O_2 摂取量には殆んど変動が招来されないことからして、安静呼吸時に於ける肺の本質的機能は O_2 摂取量、即ち肺の工率によつては評価され得ぬものである。そこで、我々が定常呼吸状態にある被検者の肺機能を検査してその本質的良否を論じる場合には、摂取された O_2 の絶対量を問題とせず、それ等の摂取の仕方の難易、即ち肺の効率を重視しなければならぬことになる。

又、肺は安静呼吸時には新陳代謝に必要な O_2 量を確保せんとして、呼吸と循環との両機能にどのような負荷（load；Belastung）が加えられようとも敢て辞せない臓器であるから、肺機能の良否に応じて効率を異にすることは容易に推察し得る処である。

そうであるから、肺機能の特異性なる観点からしても肺の本質的機能は O_2 摂取量の多寡によつて評価し得るものではなく、肺が単位量の O_2 を摂取するのに呼吸と循環とが消費するエネルギーの多寡に相応して評価されなければならぬことになる。このことは、一定時間内に所要の仕事を確実になしとげる機械の性能が単位時間内に於ける仕事量、即ち工率によつては評価され得ず、その仕事に要するエネルギーの多寡に相応して評価されるのと全く同様である。

ここで、肺の効率を知ろうとすれば、肺が単位量の O_2 を摂取するのに呼吸と循環との両機能がどれだけのエネルギーを消費するかを測定しなければならないが、

その測定法は現在では明らかでない。しかしながら、呼吸と循環との両機能が消費するエネルギー量は、それ等の両機能に加えられる負荷量に正比例するものであるから、その負荷量の多少に相応した数量的表示を行えば、それで以つて肺の効率を表わし得て肺機能の本質的評価が可能となるわけである。

例えば、 $\frac{\text{呼吸死腔量}}{1 \text{ 回換気量}}$ は無効換気率を示し、換気面に加えられる負荷に相応した数量的表示であるから、換気機能の効率をあらわすものと考えられるものである。

肺は、又第1篇第2章で明らかなように、極めて予備能力に富む臓器であるから、この予備能力に就いても評価されなければならない。この場合には、分時最大換気量（MBC）のように、肺が全機能を発揮して最大の仕事をなし得る場合の工率を以つて評価されるのが常である。

しかしながら、肺は呼吸機械と呼ばれてはいるが、一般の機械と異つて最大能力を発揮する状態では持続性が伴わないので、肺の最大能力を示す工率も一般の機械に於ける最大能力ほどには役立たないかも知れない。これに加えて、肺の最大能力の測定は、安静を願う肺疾患患者に激しい運動を強要することにもなるから、その成績の再現性と客観性とはかなり低いと思われるのである。そうであるから、肺の最大能力を示す工率の測定は労働生理学の分野に於いて肺機能の評価する場合には極めて有意義なものと考えられるが、一般臨床的分野に於いては労働生理学の分野に於ける程には有意義でないように思われる。

それはともかくとして、肺機能の特異性なる観点からしても亦、肺機能を安静呼吸時に於ける肺の本質的機能と、肺がその全機能を最大に発揮した場合の最大能力とに2大別し、前者を評価する場合には効率なる考え方に基いて肺の本質的優劣を比較し、又後者を評価する場合には工率なる考え方に基いてその性能の大小を判定しなければならないわけである。

又、第1章第4節で明らかなように、肺疾患患者に於いては所謂肺機能の障害が肺循環機能のそれに先行しているから、以上の観点に従つて所謂肺機能だけを先ず評価し、肺循環機能の障害度はその結果から推定し、必要に応じて詳細な測定を行つても差し支えないことになる。

次に、以上のような著者等の見解に従つて、肺機能を示す各種の指標に就いて考察する。

第3章 肺機能の評価法 (その2)

第1節 肺の本質的機能の評価法

第2章第4節に於いて前述したように、肺の本質的機能を最も合理的に評価しようとするならば、肺が単位量の O_2 を摂取する際に呼吸と循環との両機能に加えられる負荷量の多少を数量的に表示しなければならない。

このような観点からすると、安静呼吸時に於ける呼吸数や脈数は、何れも肺機能障害によつて呼吸と循環との両機能に加えられる負荷量に相応して変動するから、肺の本質的機能の評価に適當なものと思われるが、これ等は肺機能障害以外の他の因子によつても亦変化するから、肺機能の評価にさほど有用でないのが常である。

安静時に於ける分時 O_2 摂取量及び分時換気量は肺の工率に相当するものであるから、肺機能の本質的な評価には元来不適當である。しかしながら、分時換気量は肺機能障害による呼吸と循環との負荷量にある程度関連して増減するものである。

そこで、 O_2 利用率 (O_2 removal), 即ち分時 O_2 摂取量(cc) 分時換気量 (l) なる指標についてみると、これは実地臨床的には再現性の点で若干の難があるようであるが、効率なる考え方に略々合致した合理的表示法であることが判る。もしも本指標が実地临床上、容易に再現性を示すならば、肺機能の本質的評価が極めて実利的に行われ得ることになる。

又、 O_2 当量, 即ち $\frac{\text{分時換気量 (l)}}{\text{分時}O_2\text{摂取量 (cc)}} \times 100$ は O_2 利用率と全く同じ概念によつていられる指標であるが、効率の逆数的表示であるから実地临床上では O_2 利用率よりも肺機能の評価に不便であることになる。

動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度は安静呼吸時に於ける肺の本質的機能の綜括的表示であるから、呼吸と循環との両機能に加えられる負荷量にある程度関連した数値を示すわけではあるが、その数値は負荷量に正比例したものではないので、呼吸機能の障害度を正比例的には表し得ないものである。

これに反して、 $\frac{\text{呼吸死腔量}}{\text{1回換気量}} \times 100$ と $\frac{\text{静脈血混含量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ とは夫々に無効換気率及び無効肺血流率を示し、呼吸面及び循環面の夫々に加えられる負荷量に相応した数量的表示であるから、肺の本質的機能は両者により極めて合理的に評価し得るものと考えられる。

例えば、無効肺血流率が20%である肺機能障害者に

就いて考察すると、このような患者が無効肺血流が全くない場合と同等の新陳代謝を循環機能だけの代償作用によつて維持しようとする場合には、本患者の循環機能は肺機能障害が全くない場合に比して $\frac{100}{100-20} = 1.25$ 倍の働きを強要されることになる。従つて、このような患者の肺機能障害は、循環面に対して正常時の0.25倍の負荷が絶えず加えられているのに相当するものと評価し得るわけである。このような評価法は無効換気率に就いても亦、換気面に於いて成立し得るのである。

無効換気率 = $\frac{\text{呼吸死腔量}}{\text{1回換気量}} \times 100$ や無効肺血流率 = $\frac{\text{静脈血混含量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ を測定すると、このように巧妙な考察がなし得られるのは両指標が共に肺の効率なる概念に則して負荷に相応した数量的表示をなしているからに他ならない。

そうであるから、無効換気率と無効肺血流率とを併せ測定すると、肺の本質的機能に障害を与える因子を換気面と循環面とに分析し得て、且つそれぞれに就いて以上のような合理的な肺機能評価法がなし得られるのである。

臨床的肺機能検査法の体系化する観点からみて、無効換気率と無効肺血流率との両指標が肺の本質的機能の評価する場合に最も有用なものと思われるのは、これ等の両指標によつて機能障害の程度を最も合理的に評価し得ることの他に、第1章第3節で前述したような機能障害の種類をも分析し得ることである。そうであるから、呼吸機能の評価する場合に両指標の臨床的測定を行えば、動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度だけを測定した場合に比較して遙かに詳細に、且臨床的には充分な程度に肺機能の評価し得ることになるのである。

次に、残気率及び N_2 排泄率についてみると、両指標は共に吸気の肺内に於ける配分と混合との良否を量的に表現することを目的とするものであるから、肺の効率にある程度関連して増減し得ることが推察される。しかしながら、安静呼吸時に於ける吸気の肺内に於ける配分と混合との良否を評価する場合には、無効換気率と無効肺血流率との両者を測定する方が残気率や N_2 排泄率を測定するよりも精確、且つ分析的に行い得て、臨床的には実利的であろうと思われる。

そこで、著者は臨床的に肺機能の評価する場合には残気率や N_2 排泄率を測定するよりも、無効換気率と無効肺血流率との両者を測定する方が遙かに好適である

と考えるのである。このことは、無効換気率と無効肺血流量率との両指標が残気率や N_2 排泄率等の指標に比して絶対的な優位を有することを意味するものではない。残気率や N_2 排泄率の測定は、生理学的研究に際してそれぞれ独自の意義を有するものである。

又、肺の本質的機能に関連する指標として拡散の障害を評価する指標があるが、これに就いては本章第3節で後述することにする。

次に、肺の最大能力の評価法に就いて考察する。

第2節 肺の最大能力の評価法

肺の最大能力を評価する場合には、肺が全能力を発揮して最大の仕事をなし得る場合の工率を用いるのが合理的である。

分時最大 O_2 摂取量、分時最大換気量（所謂MBC）²⁷⁾ 及び最大拡散係数²⁷⁾等の諸指標はすべて肺の最大工率を表すものであるから、肺の最大能力を評価するのに好適のものと思われる。就中、MBC の測定は特に簡便であるので、周知のように盛んに応用されている。

しかしながら、第2章第4節で前述したような理由からして、このような肺の最大能力を示す動的な(dynamic)指標も実地臨床では一般の機械に於ける最大能力ほどには役立ち得ず、又労働生理学の分野に於けるほどの有用価値がないものである。このことは、MBCに就いて肺機能障害を検討したGaenslerがMBCの測定値自体は肺機能の評価にさほど役立ち得ず、これにより気速指標(air velocity index)を算定して初めて意義を生じるものであると既に指摘していること²⁷⁾、及び最近になつて多くの人々がMBCの測定値は客観性がなり低い場合が多いと発表していることからして首肯し得るのである。肺の最大能力を示す動的な指標は、実地臨床上の測定に際して、以上のような難点が認められるにせよ、肺の最大工率を示すものであるから肺の最大能力を評価するのに有用であることには異論がないわけである。

そこで、最近では換気の最大工率を直接測定する代りに、換気の最大工率に関係する因子を間接的に知る方法が採られている。

換気の最大工率に関係する因子としては、肺活量の大きさと胸廓運動の潤滑性とが挙げられる。そうであるから、肺の最大能力を実利的に評価しようとするならば、肺活量を測定すると共に、換気運動の潤滑性を知れば足りるわけである。

肺活量は周知のように1回換気の最大容量を示す静的(static)測定値であるから、肺の工率に該当し

ない指標ではあるが、肺の予備容量の大略を簡便に評価し得るので、実地臨床では最も盛んに応用されるものである。しかしながら、肺の最大能力の評価にはこれのみでは不充分である。

次に、換気運動の潤滑性を示す指標に就いてみると、気速指数(air velocity index)²⁷⁾、肺活量の時間的分割(timed fraction of vital capacity)²⁸⁾⁽³⁰⁾⁽³⁸⁾及び肺-胸廓コンプライアンス¹²⁾⁽¹³⁾(lung-thorax compliance)等が知られている。この三者の中、気速指数はMBCの測定値から算定されるものであるから、実地臨床上前記のような難点は避けられないが、他の2指標は患者にさほどの負担をかけずに測定できるから、肺の最大能力を実利的に評価する場合に好都合のものと考えられる。特に、肺活量の時間的分割は簡便な設備で容易に繰りかえし測定し得て、その成績の客観性を高め得ることができると、又肺の工率に該当した表示法でもあることからして、実地臨床上で極めて優れた指標と思われる。

肺-胸廓コンプライアンスは換気運動の潤滑性を圧力変化の面から評価するものであり、肺及び胸廓の弾力性の良否を生理学的に詳細に知り得るものであるが、これを精確に測定しようとするればニューモタコグラフィ(pneumo-tachography)¹²⁾のような設備が必要である。

そうであるから、著者は肺の最大能力を実利的に評価しようとする場合には肺活量と肺活量の時間的分割とを併せ測定するのが臨床的に最も好都合であると考えている。(第2篇の第1章第1節参照)

ところで、胸部外科の分野に於いては手術によつて多少とも肺機能に直接侵襲が及ぼされるから、肺の予備能力の評価が最も問題にされる。このような場合にも、肺の最大能力を示す指標によつて予備能力を評価するのが最も妥当な方法である筈である。例えば、肺活量とMBCとの何れかを優先的に行うとすれば、肺の最大能力を示すMBCの測定を優先的に行うのが妥当である筈である。ところが、実地臨床で肺の予備能力を評価する場合には、通常最大容量を示すのに過ぎない肺活量の方が最大能力を示すMBCよりも優先的に取り扱われている現状である。それは、肺の最大能力の臨床的測定に前述したような難点があつて、その成績に対する信頼度が肺活量のそれよりも乏しいからに他ならない。

次に、予備能力の評価用として案出されている換気予備率³³⁾、即ち $\frac{MBC - \text{分時換気量}}{MBC}$ なる指標についてみ

ると、これは理論的にも正しく、又実際のにも換気の予備能力に関連した数値を示すが、その数値はあくまで瞬間的な予備率を示すものであり、持続的な意味での予備率を表わすものではない。これに加えて、MBCの臨床的測定に伴う難点を避け得ないから、労働生理学の分野ではいざ知らず少なくとも実地臨床では、その成績の客観性はかなり乏しいように思われる。

又、呼吸停止時間に就いてみると、これは本来被検者の耐久力という心理的因子そのものに頼る検査法であるから、肺の予備能力を必ずしも正しく反映するものとは限らない。このことはGaenslerが行った多数の呼吸停止試験 (breath-holding test) の成績からしても明らかである²⁹⁾。

以上のことからすると、肺の予備能力を判定する場合には肺の最大能力を以てしなければならない。その場合、少なくとも実地臨床では肺活量と換気運動の潤滑性を示す指標、特に肺活量の時間的分割との2指標が最も好適なものと思われる。

胸部外科の領域に於ける肺機能評価法に就いては、第4章で改めて述べることにし、次に肺機能に障害を与える生理学的因子の分析法に就いて考察する。

第3節 肺機能に障害を与える生理学的因子の分析法

臨床的肺機能検査法を体系化するということは、幾らかの検査法を互いに重複することなく組織的に組み合わせ、肺全体 (lung as a whole: Lung als Ganzes) としての機能を総合的に評価し得て、且つ又機能障害の種類と程度とを分析し得るように試みることである。

肺機能に障害を与える生理学的因子に就いては、第1章第3節で明らかにした通りである。即ち、呼吸面積の不足による肺機能障害なるものは厳密な意味では存在し難く、肺は一般に所要の呼吸面積を有して所要の O_2 を充分摂取するにも拘らず、通常の場合は換気-血流分布関係の障害により、又極めて稀には拡散の障害により機能障害が招来されるのである。

このような観点からすると、肺機能に障害を与える生理学的因子を分析する場合には、主として換気-血流分布関係の障害に就いて検討すればよいわけである。

換気-血流分布関係の障害は、無効換気率及び無効肺血流率の両指標によつて分析せられ、且つ合理的に評価されるのである。これに就いては、本章第1節で前述した通りである。

そこで、拡散障害を評価する指標に就いてみると、

これには

i) 肺胞-動脈血間 O_2 分圧較差²⁵⁾⁴⁴⁾ (alveolar-arterial O_2 tension gradient)

ii) O_2 拡散係数 (diffusion coefficient)¹³⁾⁶⁴⁾⁶⁵⁾ の2指標が知られている。

肺胞-動脈血間 O_2 分圧較差は、その測定が比較的容易なことから、拡散障害を評価する場合には従来専らこれが用いられたが、これは本来膜性因子 (the membrane component) と静脈血混合性因子 (the venous admixture component) とから成立しているものである。

これに対して、 O_2 拡散係数は肺胞の単位面積当りの透過性と呼吸面積との函数で表わされるもので、通常肺胞膜全体としての通過能力を理論的平均分圧較差1mmHg毎に通過する分時 O_2 量で示される。拡散係数はその測定が極めて複雑で実地臨床的には不適であるのみならず、肺の工率に該当する指標であるから、安静呼吸時に於けるその測定値は必ずしも良指標とはなり得ないのである。

このような理由と、肺胞膜全体に互るような拡散障害は極めて稀な場合を除いては通常存在しないという理由からして、著者等は肺胞動脈血間 O_2 分圧較差即ち静脈血混合性因子として取り扱い、膜性因子を静脈血混合性因子の中に含ましめて測定しようとするのである。

ところで、肺機能障害を臨床実利的な観点から換気機能の面に於いて

i) 拘束性 (restritive) 機能障害

ii) 閉塞性 (obstructive) 機能障害

に2大別されることがある⁴⁾²⁷⁾。前者は換気運動の潤滑性が良好ではあるが肺活量が少ない場合に相当し、後者は換気運動の潤滑性が障害されている場合に相当するものである。従つて、前者では肺活量の減少度と肺の最大能力の低下度とは平行するが、後者ではこの二つのものが相関を示さないから、肺機能障害を評価する場合には、肺活量の測定と並んで換気運動の潤滑性を知ることが是非とも必要になるわけである。

閉塞性換気障害を生理学的な観点からみると、どのような種類の機能障害に相当するものであろうか。

閉塞性換気障害を招来する場合は、生理学的には換気-血流分布関係の障害を必ず示すが、この逆に換気-血流分布関係の障害を招来する場合は必ずしも閉塞性換気障害を示すとは限らない。即ち、換気-血流分布関係の障害の或る種のものだけが閉塞性換気障害

を示すのであるから、その他の換気-血流分布関係の障害は肺活量の単純な減少の場合と同様に拘束性換気障害として取扱われることになる。

そうであるから、肺機能障害を換気機能の面から以上のように分類して評価することは臨床実利的には極めて便利な方法ではあるが、肺機能障害を評価する場合に重要にして不可欠である換気-血流分布関係の障害がこれだけでは確実には把握され難いうらみがある。

以上のことからして、換気機能の面よりする前記のような肺機能障害の分類は、Screening-Testにより機能障害の大略をかなり粗雑に評価する場合に便利なものではあるが、実地臨床的に肺機能障害を正確に評価する場合には、無効換気率と無効肺血流率との両測定が是非とも必要だと考えられるのである。

次に、肺循環機能の評価法に就いて述べる。

第4節 肺循環障害の評価法

第1章第4節で前述したような理由からして、心疾患の場合はともかくとして、少なくとも肺疾患の場合に於いては、所謂肺機能の障害度に相応して肺循環機能のそれを推定して差し支えないことになる。

心臓カテリゼーションによる肺循環機能の検査は、その設備はともかくとして実施に要する時間と労力とからみると、日常の一般検査法の限界を超えるものであることも亦、所謂肺機能検査を肺循環機能検査に先行さす理由の一つとなり得る。

ところで、所謂肺機能検査によつて呼吸死腔と静脈血混合との両測定を行うと、かなり詳細に肺循環機能の障害が評価し得るのである。

$\frac{\text{呼吸死腔量}}{\text{1回換気量}} \times 100$ 及び $\frac{\text{静脈血混合量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ の両者は、それぞれ無効換気率及び無効肺血流率を示すものであるから、前者は肺血管床の障害度を表わし、後者は肺胞換気の障害度を表わすことになる。従つて、両者を測定すると、肺動脈を介して換気と肺血流とがどのような分布状態にあるかを詳細に評価し得るのである。

安静呼吸時に於ける肺血流量は通常心搏出量に一致するものであるが、肺機能障害以外の他の因子によつても変動すること、又肺の工率に該当する指標であることからして、肺機能の臨床的評価には、さほど役立つものとは考えられない。肺血管抵抗も亦、肺血流量に関連して変動するものであるから、肺機能の臨床的評価には、さほど有用であるとは思われない。

安静呼吸時に於ける肺血行力学的諸値の中、肺機能の臨床的評価に直接役立つものは、肺動脈圧だけであろうと思われる。肺の予備能力を評価する場合、肺動

脈圧（平均圧）が肺活量（予測値に対する%）とかなりの相関々係を示すことは、第3図で明らかな通りである。

肺機能障害による肺動脈圧の上昇度に就いては、著者は前述の考えからして肺活量の減少度と換気-血流分布関係との障害度との両者により規定され得るものと考えている。

以上のことからして、肺循環機能を臨床実利的に評価する場合には、所謂肺機能検査を先ず行つて、その結果からこれを評価しても差し支えないことになる。その際、最少不可欠の検査として、肺活量と換気-血流分布関係とに就いての測定が必要であると思われる。

以上のこと、本章第2節で前述したことを考え併せると、肺活量と換気-血流分布関係とに就いて測定することは又、肺の最大能力を間接的に評価し得ることにもなることが判る。

以上により、著者は肺機能の合理的評価法と考えられる著者等の見解に基いて、肺機能を示す在来の各種指標に就いて考察した。その際、無効換気率と無効肺血流率との両指標が肺の本質的機能を評価する場合にも、肺機能障害を招来する生理学的因子を分析する場合にも、或いは又肺循環機能を評価する場合にも、常に最適のものであることが明らかになつたのである。又肺循環機能の障害を評価する場合には、この両指標と並んで肺活量を測定し、肺の最大能力を評価する場合には、肺活量と換気運動の潤滑性とに就いて測定すれば足りることが判つたのである。

以上により、著者は肺機能の臨床的評価が従来に比して遙かに容易、且つ合理的に行い得るものとするのである。

第4章 肺機能の評価法（その3）

胸部外科に於ける肺機能評価法

著者は第1節に於いて肺機能の特異性に就いて検討し、第2節に於いて肺機能の合理的評価法と考えられる著者等の見解を明らかにし、又第3節に於いては肺機能を示す在来の各種指標の中、どのようなものが肺機能の合理的評価に有用であるかに就いて考察した。以上により肺機能の臨床的評価を容易、且つ合理的に行い得るから、臨床的肺機能検査法の体系化が可能になるものと考えられる。

例えば、胸部外科の領域に於いて、術前、術後の肺機能検査から各種の手術侵襲度を量的、並びに質的に評価しようとする場合には、以上のような肺機能評価

法により、その目的を十分に達し得るものと思われる。

しかしながら、胸部外科の実地臨床では、主として手術の種類や侵襲度の大きさを術前に決定する目的で肺機能検査が行われることが多い。このような場合の肺機能評価法は一般臨床に於けるそれとは、若干異つたものになる。

一般臨床に於いて肺機能を評価する場合には、肺の本質的機能や肺機能障害を招来する生理学的因子に就いての評価が大切であるが、胸部外科に於いて術前検査により手術予後を判定する場合には、これ等に就いてどれ程詳細に検討したとしても手術の適応の決定に何等の役割をも果し得ないことすらある。

このような場合、手術予後の判定に役立つものは、主として肺の予備能力に就いての評価のみである。

肺の予備能力に就いては、第1章第2節で前述したように、健常な肺胞は安静呼吸時の約3倍の能力を何等の負担なしに持続的に発揮し得るから、健常肺は安静時に2倍の予備能力を残しているものと考えられる。

又、肺の予備能力を評価する場合には、第3章第2節で前述したように、肺の最大工率を以てするのが合理的であり、実地臨床的には肺活量と換気運動の潤滑性に就いて測定するのが最も実利的であるのである。

以上のことを考慮し、且つ又、実地臨床に於いてこれ等のことを検討した結果、著者等は第2図のような肺機能の臨床的評価用分割図表を作成し、この図表上に肺機能の許容最低限界線を規定したのである。(第2篇の第2章第2節参照)

従つて、肺機能がこの限界線の上位にある場合には、換気一血流分布関係の障害さえなければ、肺は安静呼吸時に何等の負担をも受けないことになる筈である。(本篇の第3章第3節参照) そうであるから、予測される残存肺機能がこの限界線の上位にある場合には、その他に異常が認められぬ限り通常どのような手術でも行い得られる筈である。

ところで、手術後の残存肺機能を術前に詳細に知ることは決して容易なことではない。手術対象となる肺の局所では、機能障害が著明な場合もあり、又さほどでもない場合もあつて、このような局所に於ける機能障害を術前検査により詳細に評価することは通常不可能なことである。唯、術前に於ける左右別肺機能検査法によつてのみ、残存肺機能の大略を評価し得るに過

ぎない。

そこで、著者等は左右別肺機能検査法により測定した非手術側の肺機能が前記の許容限界線の上位にある場合には、どのような手術でも確実にに行い得られる可能性があると考えるのである。

しかしながら、非手術側の肺機能が許容限界線の上位にあるような場合でも、術後に心肺性危機が招来されることが時々認められる。このような例外的とも思われる症例を術前に把握しようとして、各種の負荷試験が実施されることがある。低酸素負荷試験、炭酸ガス負荷試験及び一側肺動脈の閉塞試験³⁾¹³⁾⁴⁰⁾等がそうである。

著者は、このような負荷試験が胸部外科の実地臨床に於いて、心肺性危機を予測するのに一般にいわれる程の有用性があるか否かに就いては若干の疑問を抱くものである。

肺は、安静呼吸時には受動的に働いているものと看做されるが、負荷という外的侵襲が加えられるような場合には、必ずしもこれに対して受動的に働くものとは限らない。ガス交換だけは常に物理的法則に則つて行われるであろうが、少なくとも肺血行力学的諸値は或る種の負荷に対して常に一定の反応を示すものとは限らないように思えるのである。

例えば、低酸素負荷時に於ける肺血行動態に就いての研究¹⁸⁾³⁹⁾⁴¹⁾⁵⁵⁾⁶⁵⁾⁷⁵⁾成績は、研究者によつてそれぞれ異つており、必ずしも一定しているとは限らないのである。特に一側肺動脈の閉塞試験は、周知のように肺血管床の中で最も神経分布の多い肺動脈本幹を圧迫するものであるから、非麻酔下では圧迫の強さや閉塞の部位によつても亦、肺動脈圧は変動しないとは限らない。

著者等は、低酸素負荷試験、炭酸ガス負荷試験及び一側肺動脈の閉塞試験等の何れをも実施し、それぞれに就いて生理学的研究としての意義は勿論のこと、実地応用上の意義をも認めたが、胸部外科の実地臨床に於いて手術予後を判定する場合に、これ等の諸検査法が肺の最大能力を以てするよりも的確なものであるとは決して考えられないのである。

それにも拘らず、最近の胸部外科では、これ等の負荷試験が心肺性危機の招来を予測するのに最良の検査法であるかのように報告されることがある。

周知のように、これ等の負荷試験は、単に肺機能のみならず心機能をも含めて、心肺機能を綜括的に評価するものであり、又肺外科の分野に於いて特に問題と

される肺血管床の予備能力を把握し得るものでもある。このような観点からして、著者はこれ等の負荷試験の意義を認めるのにやぶさかではない。

しかしながら、心肺性危機の招来を術前に予測する場合、これ等の負荷試験がさほどの有用性があるか否かに就いて、著者が疑問を抱くのは、前述のような理由からして一般に負荷試験の成績が比較的安定性を欠いて、その成績に対する信頼度が乏しい場合が屢々認められるからである。のみならず、心肺性危機の招来を術前に予測する方法としては、これ等の負荷試験よりも、信頼度が遙かに高く、且つ又そのみでも十分に目的を果し得るようなものが他にあるからでもある。

前述のように、非手術側の肺機能が許容限界以上であり、且つ心電図所見その他に異常が認められぬ限りにいては、どのような手術でも実施し得られる筈である。

又、第1章第4節からして明らかなように、心疾患を伴わぬ限りに於いては、換気面から測定した所謂肺機能に相当する程度の肺血管床は、確実に存在するものである。一般に、肺血管床は所謂肺機能に相当する程度だけ存在するか、さもなくばそれよりも余分に存在するものであつて、それよりも不足するようなことは通常あり得ないものである。

ところで、所謂肺機能に関連性がない余分の肺血管床は、たとえ詳細な検査法によりどれ程精密に測定されたとしても、それは胸部外科の実地臨床では全く無意義なものである。例えば、換気機能面から測定した肺の最大機能(最大工率)が正常値の50%だとすると、肺血管床も亦、その正常値の少なくとも50%は存在するものと考えられ、事実上ではそれ以上に存在する場合でも、換気機能が伴わない余分の肺血管床は、実地臨床では評価の対象として無意義のものである。

以上のような観点からして、著者は肺の予備能力を評価する場合には、その成績に対する信頼度が比較的乏しい負荷試験によるよりも、的確な成績を期待し得る肺の最大能力を以てする方法によるべきであると考え、又肺の最大能力を以てする方法のみで、充分にその目的を達し得ることを強調するわけである。

ところが、胸部外科の実地臨床に於いては、非手術側の肺機能がかなり良好で、術前には心肺性危機の招来が全く予測されないような場合でも、術中や術後にこれが認められることがある。

このような例外的とも思われる場合、心肺性危機を

招来する原因としては、

i) 術中、術後に於ける患者の呼吸や全身状態に対する管理が不十分なことから、患者の呼吸や全身状態が術前に比べて著しく非生理学的な状態におかれること、

ii) 大量輸血や手術の個体に及ぼす各種の侵襲が所謂ストレス(stress)として急激に作用し、患者の肺機能や全身の諸機能がこのような短時間内の変化には対処し難いこと等が考えられる。

そうであるから、これ等の原因により招来される心肺性危機は、術前に於ける患者の肺機能の良否とは直接的な関係がないものである。

周知のように、近年麻酔学の進歩に伴い、患者の呼吸や全身状態に対する管理に十分な考慮が尽くされるようになってきているから、術中の患者をその術前よりも心肺機能が良好で、且つ又各種のストレスに対処し易い状態におくことは出来得るのである。例えば、手術側の肺機能がかなり良好な患者に対して肺全切除術を施行する場合、肺機能面に於けるストレスを緩和する意味合から、手術を2回に分けて行うことは安全な方法ではあるが、患者の呼吸と循環との両機能に対する管理が充分に行われさえするならば、非手術側の肺機能が許容限界以上にある限りに於いては、理論上、1回の手術により肺全切除術を施行しても、危険がない筈である。

一般には、通常の臨床的肺機能検査法によつても尚予測し難いような心肺性危機は、肺機能障害という副因が背景をなし、前記のような原因が主役を演じて招来されることが多いように思われる。それにも拘らず、これ等のものすべてを術前の肺機能のみによつて敢て予測しよとするならば、そこには問題の錯誤があるようにも思われる。

しかしながら、残存肺の予備能力がたとえ同等な場合でも、手術による肺の直接侵襲量が大きい場合には、それが小さい場合に比べて心肺性危機は遙かに招来され易いものである。そうであるから、手術予後を判定する目的で肺機能を評価する場合には、非手術側の最大能力により手術が可能であるか否かを評価すると共に、手術側肺機能の侵襲量を考慮して肺機能面に於けるストレスの大きさから手術経過の安全性を評価することも亦、重要なことと思われる。

このような観点からして、佐川等は左右別%肺活量からみた重症肺結核に対する外科的療法の適応限界を検討し、これに就いて発表している。

以上のことからして、著者は、胸部外科に於いて実地臨床的に手術予後を判定する目的で肺機能を評価する場合にも亦、肺の最大工率に基いて肺の予備能力を評価すれば、そのみで十分に目的を達し得るものと考えられる。その際、左右別肺機能検査法が必要なことは申す迄もない処である。

このような評価法によつても、術中や術後に於ける心肺性危機の招来を術前に尚予測し得ぬ場合には、術前の肺機能評価法に不備があるのではなくて、術中や術後の患者に対する管理法に欠ける処があるものとして、その原因を追求されるべきであると思われる。

各種の負荷試験の成績は、このような評価法によつても尚、手術予後の判定を行い難いような場合には、参考になるものである。

しかしながら、肺機能の合理的評価法からすると、胸部外科に於いて心肺性危機の招来を予測する場合、各種の負荷試験の成績が肺の最大能力に就いての成績よりも的確な効果を挙げ得るものとは決して思われない。

結 論

従来、肺機能の評価には多種多様の指標が用いられているが、肺機能の評価に多数の指標を要すること自体は、肺機能の広汎性、複雑性を物語る反面、別の観点からすると、現状では肺機能の合理的評価法に欠ける処があるからと考えられる。

そこで、著者は昭和28年5月以降、肺結核患者を主たる対象とした肺機能並びに肺循環の研究を行うと共に、これ等の研究成績を基礎的材料として臨床的肺機能検査法の体系化に関する研究を行い、先ず第1篇では臨床的肺機能検査法の体系化する観点からみた肺機能の特異性とその評価法とに就いて検討した。

1) 肺機能の特異性は、以下のようである。

i) 安静呼吸時の肺は所要の酸素を確実に摂取し、全身の新陳代謝の抑制が招来されるような高度の肺機能障害に際しても、酸素摂取量には通常減少を来さない。

ii) 健康な肺胞の伝統的な最大能力は、安静呼吸時の約3倍と看做される程度のものである。

iii) 肺は所要の呼吸面積を有し、且つ所要の酸素を摂取するにも拘らず、機能障害が通常換気-血流分布関係の障害により、又極めて稀には拡散の障害により招来される。

iv) 肺疾患々々に於ける肺循環機能の障害は、所謂肺機能のそれに随伴するものである。

2) 肺機能を綜括的に評価しようとする場合には、次のような評価法が最も合理的である。

即ち、肺機能を安静呼吸時に於ける肺の本質的機能（呼吸機能）と、肺がその全機能を最大発揮した場合の能力（最大能力）とに大別し、前者を評価するには肺の効率に基いてその本質的優劣を比較し、又後者を評価するには肺の最大工率に基いてその性能の大小を判定するのが最も合理的である。

その際、所謂肺機能を先ず検査し、その結果から肺循環機能を推定し更に詳細な検査法が必要だと考えられ場合にのみ、これを行うがよい。

3) 以上のような肺機能評価法は、肺を呼吸機械と看做す生機学的観点から、理論的には最も合理的であり、肺機能の特異性なる観点からしても実地臨床的妥当性を持つものである。

4) 以上のような肺機能評価法には、以下の指標が最も有用である。

即ち、i) 肺の本質的機能を評価するには、無効換気率及び無効肺血流率の両指標、ii) 肺の最大能力を評価するには、肺活量と換気運動の潤滑性を示す指標との両指標、或いは分時最大換気(MBC)、iii) 肺機能に障害を与える生理学的因子の分析には、無効換気率及び無効肺血流率の両指標、iv) 肺循環機能の肺機能による障害度を推定するには、無効換気率及び無効肺血流率の両指標と肺活量との両者が最も有用である。

5) 胸部外科に於いて、実地臨床的に手術予後を判定する目的で肺機能を評価する場合には、肺の最大能力（最大工率）を以てするのが最適の方法と考えられる。

この場合には、非手術側肺の最大能力により手術が可能であるか否かを評価すると共に、手術側肺機能の良否から肺機能面に於ける所謂ストレスの大小を考慮することにより、手術経過の安全性を評価することも亦、大切である。このような評価法によつても、尚予測し得ぬような心肺性危機は、術中、術後の管理に欠ける処があつて招来されるものと考えべきである。

6) 以上により肺機能の臨床的評価が従来に比べて著しく容易、且つ合理的に行い得ることになるから、臨床的肺機能検査法の体系化が可能になるものと思われる。

第2篇 臨床的肺機能検査法の体系化と、体系化された諸検査法の実地応用に関する研究

目 次

緒 言

第1章 臨床的肺機能検査法の体系化

- 第1節 肺機能を示す各種の良指標の選択
- 第2節 臨床的肺機能検査法の体系化に関する理論的考察
- 第3節 体系化された諸検査法とその実地応用に当つて障害となる2, 3の事項

第2章 体系化された諸検査法の実地応用に必要な各種の図表

- 第1節 $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ 及び $\frac{34\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ の算定用ノモグラム
- 第2節 Screening-Test の結果に基く肺機能の臨床的評価用分割図表
- 第3節 分時最大換気量 (MBC) の $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ の算定用ノモグラム
- 第4節 O_2 利用率 (Rem. O_2) 及び修正吸気の O_2 含量 ($F_{I^{O_2}}$) の算定用ノモグラム
- 第5節 BTPSに於ける分時換気量 (V) 及び分時 O_2 摂取量 ($\dot{V}_2$) の算定用ノモグラム

結 言

第1篇では、臨床的肺機能検査法の体系化なる観点からみた肺機能の特異性と、その評価法とに就いて検討し、実地臨床的に最も合理的と考えられる肺機能評価法を明らかにした。

これによれば、肺機能を安静呼吸時に於ける肺の本質的機能（呼吸機能）と、肺が全機能を最大に発揮した場合の能力（最大能力）とに大別し、前者を肺の効率に基いて評価すると共に、後者を肺の工率に基いて評価するならば、肺機能の臨床的評価を従来に比べて一段と容易、且つ合理的になし得るものと考えられる。

又、第1篇では、肺機能の合理的評価法にはどのような指標が最も有用であるかに就いても考察しており、従つて著者が意図する臨床的機能検査法の体系化は、その実地応用上の技術的な問題を除けば、第1篇の結論から可能なものと考えられる。

そこで、本篇では、第1篇の結論に基いて臨床的肺

第6節 呼吸商 (RQ) 及び肺胞気の O_2 分圧 ($P_{A_{O_2}}$) 算定因子Yの算定用ノモグラム

第7節 肺胞気の O_2 分圧 ($P_{A_{O_2}}$) 算定因子X及び呼気の CO_2 分圧 ($P_{E_{CO_2}}$) の算定用ノモグラム

第8節 無効換気率 = $\frac{\text{呼吸死腔量}}{\text{1回換気量}} \times 100$ の算定用ノモグラム

第9節 無効肺血流量 = $\frac{\text{静脈血混含量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ の算定用ノモグラム

第10節 各種の呼吸計目盛のBTPS用換算図表

第3章 体系化された諸検査法の実地応用

第1節 Screening-Test

第2節 詳細な肺機能検査法

第1項 肺の最大能力の測定

第2項 肺の本質的機能（呼吸機能）の測定

第3項 肺機能に障害を与える生理学的因子の分析と肺循環障害の推定

第3節 2, 3の特殊な肺機能検査法

結 論

機能検査法の体系化を試みると共に、体系化された諸検査法の実地応用を可能ならしめるように、創意と工夫とを凝らして検討した。

第1章 臨床的肺機能検査法の体系化

第1節 肺機能を示す各種の良指標の選択

臨床的肺機能検査法の体系化に必要な良指標とは、少なくとも以下の諸条件を兼ね備えたものでなければならない。

i) それ等の指標は、肺の効率乃至工率に基いた合理的な数量的表示をなし、且つ又機能障害を鋭敏に反映し、しかも再現性の高いものであること、

ii) 幾つかの指標は、それぞれ肺機能を互いに重複することなく表し、これ等の指標が組織的に組み合されると、肺機能を総合的に示し得ると共に、機能障害の種類と程度とを分析し得るものであること、

iii) それ等の指標は、可及的簡便に測定し得るものであること等の諸条件を併せ備えたものであること

が必要である。

ところで、肺機能検査に際しては、一般に程度の差こそあれ被検者の心理的因子や訓練効果等が作用して、検査成績の再現性と客観性とを低下せしめるのが普通である。被検者の心理的因子や訓練効果等に関係がなくて、肺機能障害を可及的鋭敏に反映するような指標（例えば、動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度、無効肺血流量等）は当然良指標ではあるが、これ等のものが少なからず作用する指標であつても、極めて簡便に測定し得る場合には、単に測定回数を増すだけで容易に再現性と客観性とを高度にし得るから、やはり良指標となり得る。肺活量や肺活量の時間的分割等は、この類に属する良指標であり、分時最大換気量（MBC）は、これに比べると若干劣るものと思われる。

ところで、著者は第1篇では、肺機能の合理的評価法を明らかにすると共に、肺機能を合理的に評価する場合には、以下の諸指標が有用であることを明らかにし得た。即ち、

i) 肺の本質的機能を評価するには、無効換気率及び無効肺血流量の両指標

ii) 肺の最大能力を評価するには、肺活量と換気運動の潤滑性を表す指標との両指標、或いは分時最大換気量

iii) 肺機能障害を招来する生理学的因子の分析には、無効換気率及び無効肺血流量の両指標

iv) 肺循環機能の肺機能による障害度を推定するには、無効換気率及び無効肺血流量の両指標と肺活量との両者が有用なものと考えられる。

以上の諸指標は、MBC と無効肺血流量との両指標以外はすべて前記の諸条件をも満足する良指標である。MBC は、実地臨床上の測定に際しては、その成績の再現性と客観性とに就いて他の諸指標よりも若干劣るものである。又、無効肺血流量は、肺機能を評価する場合にはあらゆる観点からみて、極めて優れたものではあるが、その測定は通常容易ではない。

そうであるから、臨床的肺機能の体系化に際して以上の諸指標を採択する場合には、MBC の測定は繰りかえして行い、その成績の再現性と客観性とを高めるように考慮されなければならない。又、無効肺血流量の測定は可及的簡便に行われるように工夫されなければならない。

MBC 及び無効肺血流量の両指標は、実地測定に際してこのような難点を伴うが、肺機能の合理的評価法からすると最上の良指標であるから、著者は臨床的肺

機能検査法の体系化に当つては、是非ともこれ等のものを採択すべきであらうと考えるのである。

又、肺活量と MBC との両指標は、被検者の性、年齢及び身長等のような身体的条件の如何によつて、予備容量又は予備能力の評価価値に著明な差違がみられるものであるから、単にその実測値を示すのみでは不十分であり、それ等の $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ として表示することにより良指標となり得る。

以上のことから、著者等は肺機能を綜括的、且つ最も効果的に把握するのに必要な最少不可欠の指標として、以下の6指標を選択した。

$$i) \% \text{肺活量} = \frac{\text{その実測値}}{\text{その予測値}} \times 100$$

$$ii) \text{肺活量の時間的分割} = \frac{\frac{3}{4} \text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$$

$$iii) \% \text{MBC} = \frac{\text{その実測値}}{\text{その予測値}} \times 100$$

$$iv) \text{動脈血ヘモグロビンの } O_2 \text{ 飽和度}$$

$$v) \text{無効換気率} = \frac{\text{呼吸死腔量}}{1 \text{ 回換気量}} \times 100$$

$$vi) \text{無効肺血流量} = \frac{\text{静脈血混含量}}{\text{心搏出量}} \times 100$$

著者等が先に初めて臨床的肺機能検査法を体系化した際には、以上の6指標の中より肺活量の時間的分割を除いた5指標に、気速指数と O_2 利用率との2指標を加えた7指標を用いたが、その後の研究により、換気運動の潤滑性を示す指標としては、肺活量の時間的分割の方が気速指数よりも臨床に優れていることを知り得たので、気速指数に代るにこれを以つてすることとした。（第1篇第3章第2節を参照のこと）

又、肺活量の時間的分割としては、通常、 $\frac{1 \text{ 秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ が用いられているが、著者等は、肺活量の時間的分割の中、1秒間、 $\frac{3}{4}$ 秒間、 $\frac{1}{2}$ 秒間及び $\frac{1}{4}$ 秒間のそれぞれの測定値の何れが優れているかに就いて検討した結果、 $\frac{\frac{3}{4} \text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ の指標が年令の影響が最少で、且つ又再現性が最高であることを確認したのである。（その詳細に就いては、鹿島の原著を参照のこと）

O_2 利用率は、肺機能の評価法からすると良指標ではあるが、その測定値の再現性の点にかなりの難が認められるので、今回、これを廃止することに決めたのである。

第2節 臨床的肺機能検査法の体系化に関する理論的考察

既に、第1篇の緒言で前述したように、著者が企図する臨床的肺機能検査法の体系化とは、在来の臨床的肺機能検査法のすべてを蒐集し、且つ分類することに

より純科学的な組織的体系を作ることではなくて、多種多様の肺機能検査法の中から被検査事項の異なる数種のものを互いに重複することなく選んで、これ等を組織的に組み合わせることにより、肺機能の臨床的評価を最も効果的、且つ総合的ならしめようとするのである。

このような目的からすると、臨床的肺機能検査法の体系化なるものは、諸検査法それぞれ自体に就いての検討からしては行い難く、諸検査法によつて導かれる各種の指標が、肺機能の臨床的評価にどのような役割を演じるかの観点からなされなければならない。

そこで、著者は肺機能を示す各種の指標に就いて検討した結果、前記の6指標を臨床的肺機能検査法の体系化に必要な指標として選択した訳である。

前記の6指標の中、i) %肺活量は換気の最大容量を表し、ii) 肺活量の間時分的割合は換気運動の潤滑性を示すものであるから、これ等の両指標によつて肺の最大能力を評価し得ることになる。のみならず、機能障害を臨床実利的に拘束性と閉塞性にと分析し得ることも亦、可能である。又、iii) %MBCは肺の最大能力それぞれ自体を示すものである。従つて、i) ii) の両者或いはiii) の何れかにより肺の最大能力が評価し得るわけであり、主としてi) ii) は実地臨床に、又 iii) は労働生理学的な目的で臨床測定を行う場合（例えば、

労働能力の臨床的判定）に応用されるべきである。

又、動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度は、肺の本質的機能の総合的な表示であり、無効換気率及び無効肺血流率は、肺の本質的機能を効率の概念に基いて示すと共に、肺機能障害を招来する生理学的因子を分析し得るものでもある。

そうであるから、これ等の6指標を総括すると、肺全体としての機能を余す処なく総合的に、しかも実利的に把握し得るのみならず、機能障害の種類と程度とを詳細に評価し得ることとなり、著者が企図する臨床的肺機能検査法の体系化の目的が充分に達せられるわけである。

従来、肺機能を最も効果的に、且つ又総合的に評価するには、肺活量と動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度との2指標が必要にして不可欠のものと考えられたようであるが、第1篇の第3章からして明らかなように、この2指標のみでは肺機能を充分には評価し得ぬものである。

著者は、この2指標の測定を行うだけの設備と労力とが許されるならば、これに僅かの操作を加えるだけで、前記の6指標を測定し得て肺機能を詳細に表すことが出来、臨床的には充分満足し得る体系を整え得ると思うのである。但し、その際、実地臨床的应用上の技術的な問題が解決されなければならない。

第1表 体系化された臨床的肺機能検査法

- | | |
|---|----------------------------|
| 1) 最大能力の測定 | 肺の予備能力の大小を評価する |
| { i) %肺活量及び肺活量の時間的分割の測定
(Screening-Test) | 肺機能障害の臨床実利的な分析に用いる |
| ii) %MBCの測定 | 主として労働能力の臨床的判定に用いる |
| 2) 呼吸機能の測定 | 肺の本質的機能の優劣を評価する |
| { i) 動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度の測定 | 呼吸機能の総合的評価に用いる |
| ii) 無効換気率及び無効肺血流率の測定 | 肺機能障害の生理学的な観点よりする詳細な分析に用いる |
| 3) 肺循環機能の肺機能による障害度の推定 | |
| 1) 及び 2) を総合して行う。 | |

第3節 体系化された諸検査法とその実地応

用に当つて障害となる2,3の事項

第1節並びに第2節の結論に基いて、臨床的肺機能検査法を体系化すると、第1表ようになる。

一般に、臨床的肺機能検査法の実地応用に当つて、最も煩雑な操作を要するのは、測定値の計算処理である。従つて、体系化された諸検査法の実地応用に当つては、何等かの方法による、この点の解決が是非とも

必要となるわけである。

この点を簡便化し、各種の肺機能検査法の実地臨床的応用を容易ならしめる目的からすると、種々の計算図表を使用することが望ましい。

各種の指標を算定するのに便利な計算図表が肺機能検査に際して応用されると、検査に要する時間と労力とが著しく減少されることとなり、諸検査法の実地応用が極めて容易になるものと考えられる。

又、著者等が採択した前記の6指標の中、無効肺血流率 = $\frac{\text{静脈血混含量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ の指標のみは、その臨床的測定が通常容易ではない。それは、本指標の測定には肺血管のカテリゼーションが必要であるからである。本指標が肺機能の評価に際してどのように有用なものであるかに就いては、第1篇第3章で前述した通りであるが、実地臨床上の測定が容易に行われ得ないとするならば、前記のように体系化された諸検査法の中、本検査法のみが実地応用に際して障害を来すことになる。

そこで、著者等は本指標の測定に当り、肺動脈のカテリゼーションを行うことなしに、被検者の呼気と動脈血とを分析するだけで、本指標を計算図表により算定し得る方法を考案したのである。このような簡便法を応用することに就いては、1, 2の批判があるようであるが、その論拠は極めて薄弱のように思われる。無効肺血流率 = $\frac{\text{静脈血混含量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ の臨床的測定に際して、著者等の簡便法が成立し得る根拠に就いては、第2章第9節に於いて後述することとする。

以上によつて、体系化された諸検査法の実地応用に際して障害となる諸事項はすべて解決し得るように思われる。そうであるから、肺活量と動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度との両者を測定するだけの設備と労力とが許されるならば、これに僅かの操作を加えるだけで、著者等が採択した6指標のすべてが測定され得ることになる。

次に、体系化された諸検査法の実地応用に必要な各種の図表に就いて述べる。

第2章 体系化された諸検査法の実地 応用に必要な各種の図表

著者は、前述のように体系化した諸検査法を容易に実地応用し得るように、各種の図表を作成した。それ等の図表は、以下に述べる9枚の計算図表と、1枚の肺機能評価用図表とから成っている。

一般に、計算図表には各種の型式のものが知られているが、何れの型式の計算図表に於いても、その作成技術の巧拙によつて種々様々の性能のものが出来る。性能のよい計算図表とは外観がよくて使用に便利であり、且つ又読み取り誤差が少ないものである。各種の型式の計算図表の中では、ノモグラム (nomogram) が特に優れていることは、周知の通りである。著者が作成した9枚の計算図表の中、7枚はノモグラムであ

る。

著者は、各種の計算図表に於ける目と目との間、即ち「歩み」に就いては、測定装置に於ける読み取り誤差を含めた検査時の偶発誤差を考慮し、図表上の歩みが略々これに相等するように刻んでいる。これは、計算図表に於ける読み取り誤差は検査時に於ける測定誤差を超えないことが必要だからである。

例えば、肺活量の $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ の算定用ノモグラムに就いてみると、図表上に於ける肺活量の「歩み」は100ccであり、目盛をその1/10まで読み取るならば、読み取り誤差は±10ccとなつて、図表上に於ける読み取り誤差が肺活量の測定誤差よりも大きくならぬように作成されている。

又、呼吸機能に関する各種の変数の限界は、著者等が経験した100余例に就いての検査成績に基いて決定したものであるから、検査時に於ける実測値は、当然この限界内にある筈である。但し、BTPSに於ける分時換気量($\dot{V}$)の算定用ノモグラムだけは、作図上止むなく、分時換気量の実測値($\dot{V}_w$)の限界を5.5l~10.0lに置いて作成されているので、この限りではない。

又、各種の図表に用いた略号は、概ね Pappenheimer のそれ⁵⁷⁾に習つたものである。

第1節 肺活量の $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ 及び $\frac{3/4 \text{ 秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ の算定用ノモグラム

肺活量の予測値算定式は、Baldwin, Cournand 及び Richards 等によつて⁴⁾、即ち

男: $[27.63 - (0.112 \times \text{年齢})] \times \text{身長}(\text{cm})$

女: $[21.78 - (0.101 \times \text{年齢})] \times \text{身長}(\text{cm})$

としている。

この数式自体からして明らかなように、肺活量の予測値は被検者の性、年齢及び身長等の3因子により規定され得るもので、その他の体型には関係がないものであるから、著者等はこれを日本人の場合にそのまま適用しても差支えないものと考えている。

因みに、海老名²¹⁾が標準肺活量の算定に用いている肺係数は、Baldwin等の予測肺活量算定式の〔 〕の値に相等するものであるから、両者を比較すると第2表のようになる。

両者を比較して気付くことは、海老名の係数は20~38才で最大値を示し、且つ又一定であるのに反し、Baldwin等の係数は若年の場合程大きい値を示すことである。そうであるから、17才以前のものでは、両者の間に特に大きな差違が認められることになる。

第2表 海老名の係数と Baldwin 等の係数との比較

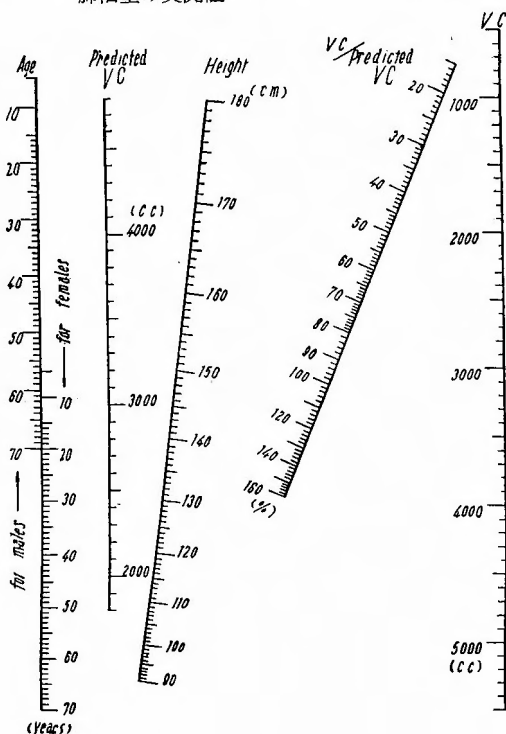
性 年齢	男		女	
	海老名の係数	Baldwin等の係数	海老名の係数	Baldwin等の係数
17~19	24.29	25.7~25.5	18.22	20.1~19.9
20~38	25.50	25.4~23.4	18.22	19.8~18.0
39~48	24.45	23.3~22.3	17.55	17.9~16.9
49~58	22.70	22.2~21.1	17.27	16.8~15.9
59~72	22.36	21.0~19.6	17.04	15.8~14.5

しかしながら、17才以後のものでは、両者の間の差違は案外少なく、大略係数の1割以下であるから、 $\left(\frac{\text{肺活量の実測値}}{\text{海老名の標準肺活量}} \times 100\right)$ と $\left(\frac{\text{肺活量の実測値}}{\text{Baldwin等の肺活量}} \times 100\right)$ との差違は、通常10%以下となり、特に20~38才のものでは2~3%程度となるのである。

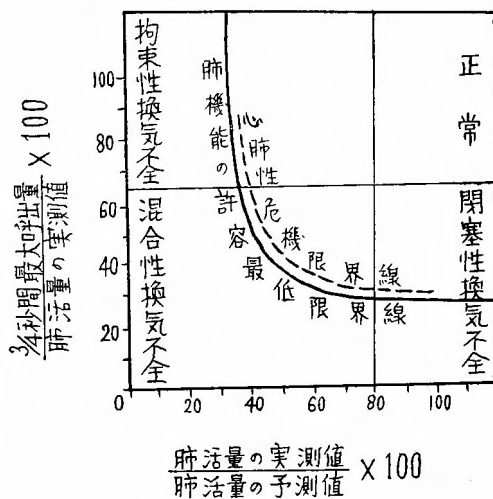
著者等は、Baldwin等による算定式の方が、年齢的分布が密であること、及び分時最大換気量（MBC）との関連性をみる場合に、肺活量の予測値算定式と分時

第1図 肺活量の実測値 $\times 100$ 及び

$\frac{3/4\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ の算定用ノモグラム



第2図 肺機能の臨床的評価用分割図表



最大換気量のそれとが同一人によつて作られているものを選ぶ方が妥当なことを考慮して、これを取り上げたわけである。第1図はこのノモグラムを示している。

このノモグラムを用いると、被検者の性、年齢及び身長等から肺活量の予測値を、又その予測値と肺活量の実測値とから $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ を容易に算定することが出来る。

又、このノモグラムにより $\frac{3/4\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ を算定する場合には、ノモグラムに於ける肺活量予測値の処にその実測値を、肺活量の実測値の処に $3/4$ 秒間最大呼出量を代入すれば、これが容易に算定されることになる。

第2節 Screening-Test の結果に基く肺機能の臨床的評価用分割図表

本図表は、第1図のノモグラムにより算定せられた肺活量の実測値 $\times 100$ と $\frac{3/4\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ との両指標から、肺機能障害を換気面に於いて実的に分析すると共に、肺の予備能力を容易に評価し得るようになされたものである。

第2図はこれを示している。

本図表上にみられる肺機能の許容最低限界線は、第1篇の第1章第2節に於いて前述したような論拠、即ち、健康肺の持続的な最大能力が安静呼吸時の約3倍であるという根拠に基いて作図されたものである。

又、生理学的な観点からすると

$$\frac{3/4\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の予測値}} = K$$

となるべきものであるから、これを変形すると

$$\frac{\text{肺活量の実測値}}{\text{肺活量の予測値}} \times \frac{\frac{3}{4}\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} = K$$

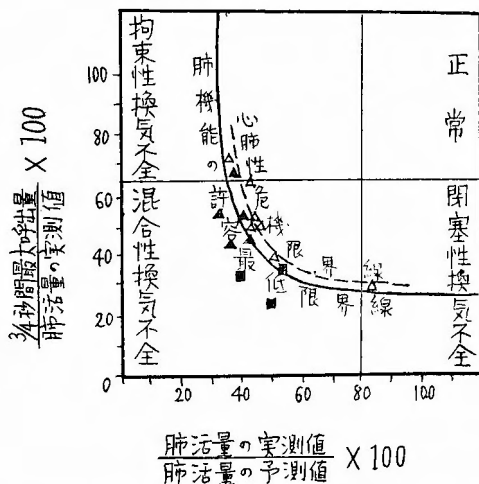
となる筈である。従つて、 $\frac{\text{肺活量の実測値}}{\text{肺活量の予測値}}$ と $\frac{3}{4}\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}}$ とを垂直軸とする図表上に本式を画くと、一定の双曲線が示されることになる。

以上のことからして、肺機能の許容最低限界線は、 $\frac{\text{肺活量の実測値}}{\text{肺活量の予測値}} \times 100$ の許容最小値、即ち33%、 $\frac{3}{4}\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}}$ の正常値、即ち65%を通る双曲線として作図されているわけである。

又、心肺性危機限界線は、著者の同僚、鹿島が本テストを実施した442例の肺結核患者に就いて、それ等の手術予後を観察した結果、第3図のようにして、臨床的に得たものである（詳細は鹿島の原著を参照）。

Screening-Testの結果に基く肺機能がこの心肺性危機限界線の上位にplotされる場合には、通常、肺機能障害による肺動脈圧の亢進が認められぬものと判定して差支えない（本篇の第3章、第3項参照）。

第3図 肺機能の臨床的評価用分割図表と心肺性危機を招来した手術患者との関係



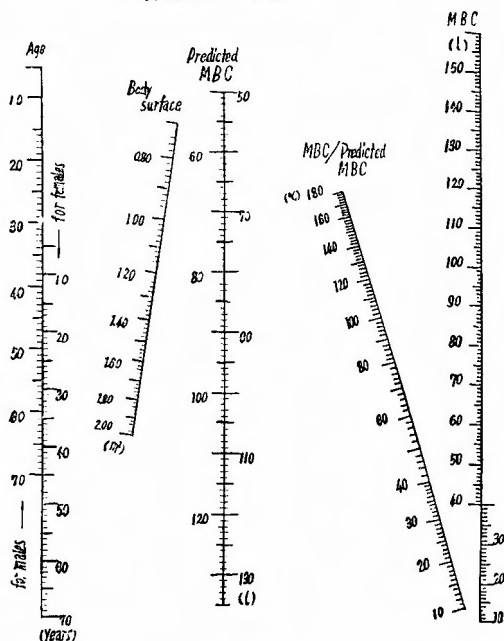
（本図は、Screening-Testが実施された442例中、心肺性危機を招来した患者の肺機能を示すものである。）

即ち、△手術中止例 ▲術後、高度の呼吸困難又は肺性心の症状を示した症例 ■死亡例を示すものである。）

第3節 分時最大換気量(MBC)の $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ の算定用ノモグラム

第4図に示すノモグラムは、被検者の性、年齢及び体表面積等から、MBCの予測値を算定し、且つその

第4図 分時最大換気量(MBC)の $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ の算定用ノモグラム



予測値と実測値とから $\frac{\text{実測値}}{\text{予測値}} \times 100$ を算定するものである。

MBCの予測値算定式は、肺活量のそれと同様に、Baldwin, Courmand 及び Richards 等が規定したものに依つている⁴⁾。即ち、

$$\text{男: } [86.5 - (0.522 \times \text{年齢})] \times \text{体表面積} (\text{m}^2)$$

$$\text{女: } [71.3 - (0.474 \times \text{年齢})] \times \text{体表面積} (\text{m}^2)$$

によつている。

第4節 O_2 利用率(Rem. O_2)及び修正吸気の O_2 含量($\text{F}_{\text{I}^{\text{O}_2}}$)の算定用ノモグラム

Rem. O_2 及び $\text{F}_{\text{I}^{\text{O}_2}}$ は、それぞれ無効換気率や無効肺血流量等を算定する場合、及び被検者の呼吸機能検査状態を示す分時 O_2 摂取量や呼吸商等を算定するのに必要な因子である。

Rem. O_2 、及び $\text{F}_{\text{I}^{\text{O}_2}}$ の算定式は、それぞれ以下の通りである。

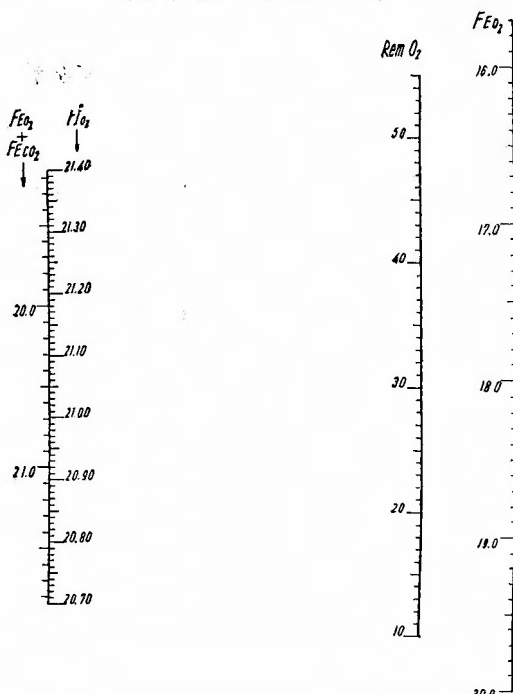
$$\text{Rem. O}_2 = (\text{F}_{\text{I}^{\text{O}_2}}^{\text{C}} - \text{F}_{\text{E}^{\text{O}_2}}) \times 10$$

$$\text{F}_{\text{I}^{\text{O}_2}}^{\text{C}} = 20.93 \times \frac{\text{命気N}_2 \text{ vol}\%}{\text{吸気N}_2 \text{ vol}\%} = 0.2648 \times [100 - (\text{F}_{\text{E}^{\text{O}_2}} + \text{F}_{\text{E}^{\text{CO}_2}})]$$

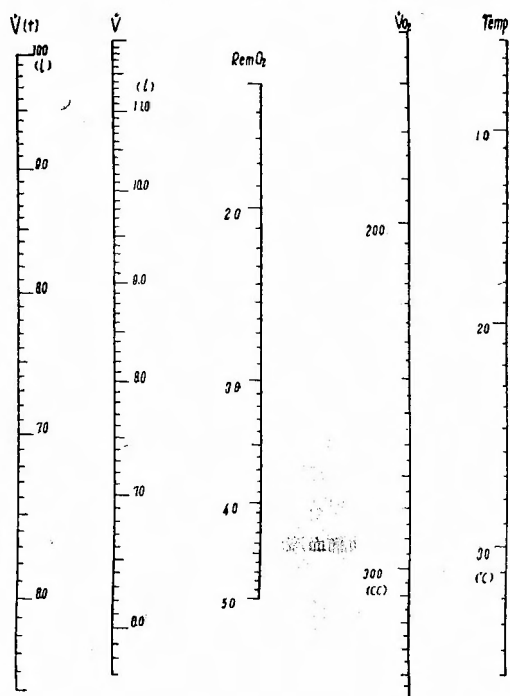
$\text{F}_{\text{E}^{\text{O}_2}}$ 、 $\text{F}_{\text{E}^{\text{CO}_2}}$ はそれぞれ呼気の $\text{O}_2 \text{ vol}\%$ 、 $\text{CO}_2 \text{ vol}\%$ を示し、又20.93は吸気(大気)の $\text{O}_2 \text{ vol}\%$ を示している。

第5図に示すノモグラムは、以上の2つの算定式を基

第5図 O_2 利用率 (Rem. O_2)及び修正吸気の O_2 含量 ($F_{I_{O_2}}$)の算定用ノモグラム



第6図 BTPSに於ける分時換気量($\dot{V}$)及び分時 O_2 摂取量($\dot{V}_{O_2}$)の算定用ノモグラム



にして作成されている。このノモグラムに於ける最右端の目盛は、($F_{EO_2} + F_{ECO_2}$)を表すものであるから、労研式ガス分析器に於けるピログロール試薬に連結された吸接管の目盛に相等するわけである。

そうであるから、労研式ガス分析器によつて呼気ガスを測定すると、その結果から容易に Rem. O_2 及び $F_{I_{O_2}}$ が算定されることになる。

第5節 BTPSに於ける分時換気量($\dot{V}$)及び分時 O_2 摂取量 ($\dot{V}_{O_2}$) の算定用ノモグラム

$\dot{V}$ は無効換気率を算定する場合、 $\dot{V}_{O_2}$ は被検者の呼吸機能検査状態を知る場合に必要なのである。又、BTPS¹²⁾とは body temperature, ambient pressure and saturated with water vaporなる意味である。

温度 $t^{\circ}C$ 、圧力 B_{mmHg} の気体の容積 $\dot{V}_{(t)}$ のBTPSへの換算に必要な算定式は、次式の通りである。

$$V = V_{(t)} \times \frac{273 + 37}{273 + t} \times \frac{B - wt}{B - 47.0}$$

wt は $t^{\circ}C$ に於ける水蒸気圧を、又、47.0は $37^{\circ}C$ に於けるそれを示している。本式に於いて、もしも $\dot{V}$ の有効数字を3桁に限るならば、通常の大気圧 (740~780mm Hg) の場合には $B = 760$ としても差支えない¹²⁾ 即ち

$$\dot{V} = \dot{V}_{(t)} \times \frac{760 - wt}{273 + t} \times 0.4348$$

としても差支えない。第6図に示すノモグラムは本式を基にして作られたものであり、又 $\dot{V}_{O_2}$ の算定には次式を用いている。

$$\dot{V}_{O_2} = \text{Rem. } O_2 \times \dot{V}$$

そうであるから、測定時の温度と分時換気量とが判ると $\dot{V}$ が、又 Rem. O_2 と $\dot{V}$ が判ると $\dot{V}_{O_2}$ がこのノモグラムによつて容易に算定されることになる。

第6節 呼吸商(RQ)及び肺胞気の O_2 分圧($P_{A_{O_2}}$)算定因子Yの算定用ノモグラム

RQ は、検査時に於ける被検者の呼吸状態を知るのに必要なのであると共に、肺胞気の O_2 分圧 ($P_{A_{O_2}}$) の算定因子Yを算定する場合にも亦、必要なのである。

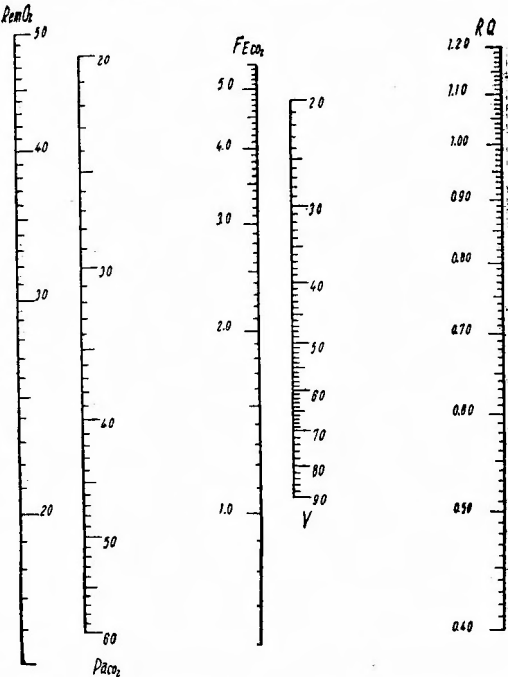
RQ の算定は次式による。

$$RQ = \frac{F_{ECO_2}}{\text{Rem. } O_2} \times 10$$

又、Yの算定は次式による。

$$Y = \frac{P_{A_{CO_2}}}{RQ}$$

第7図 呼吸商(RQ)及び肺胞気のO₂分圧(P_{A_{O2}})
算定因子Yの算定用ノモグラム



第7図に示すノモグラムは、以上の2つの算定式を基にして作成されているから、呼気のCO₂vol% (F_{E_{CO2}})とO₂利用率(Rem. O₂)とが判るとRQが、又動脈血のCO₂分圧(P_{A_{CO2}})とRQとが判るとYが、それぞれこのノモグラムによつて容易に算定し得るわけである。

第7節 肺胞気のO₂分圧(P_{A_{O2}})の算定因子X及び呼気のCO₂分圧(P_{E_{CO2}})の算定用ノモグラム

P_{A_{O2}}は無効肺血流率の算定に、又P_{E_{CO2}}は無効換気率のそれに必要なものである。

X及びP_{E_{CO2}}のそれぞれの算定式は、以下の通りである。

$$X = \frac{20.93}{100} \times \frac{\text{呼気 N}_2 \text{ vol}\%}{\text{吸気 N}_2 \text{ vol}\%} \times (B - 47.0)$$

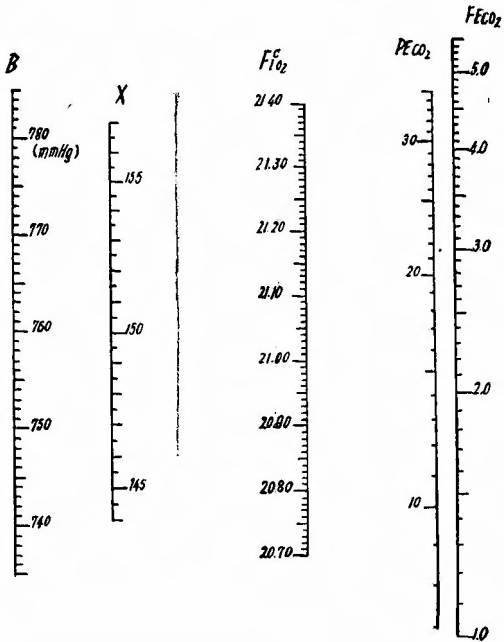
$$= F_{I_{O2}}^c \times \frac{B - 47.0}{100}$$

$$P_{E_{CO2}} = F_{I_{CO2}} \times \frac{B - 47.0}{100}$$

第8図に示すノモグラムは、以上の2つの算定式を基にして作成されている。

そうであるから、検査時に於ける大気圧(B)、修正吸気のO₂vol% (F_{I_{O2}}^c)及び呼気のCO₂vol% (F_{E_{CO2}})等が判ると、このノモグラムによつて容易にX及び

第8図 肺胞気のO₂分圧(P_{A_{O2}})の算定因子X及び呼気のCO₂分圧(P_{E_{CO2}})の算定用ノモグラム



P_{E_{CO2}}が算定し得ることになる。

第8節 無効換気率 = $\frac{\text{呼吸死腔量}}{1 \text{ 回換気量}} \times 100$ の算定用ノモグラム

第9図に示すノモグラムは、Bohr の式¹²⁾⁶³⁾に基いて無効換気率を算定するものである。

即ち、1回換気量をT、装置死腔量をV_{DA}とすると、

$$\frac{\text{呼吸死腔量}}{1 \text{ 回換気量}} \times 100 = \left(\frac{P_{A_{CO2}} - P_{E_{CO2}}}{P_{A_{CO2}}} - \frac{V_{DA}}{T} \right) \times 100$$

$$= \left[\left(1 - \frac{P_{E_{CO2}}}{P_{A_{CO2}}} \right) \times 100 \right] - \left(\frac{V_{DA}}{T} \times 100 \right)$$

$$= D + S$$

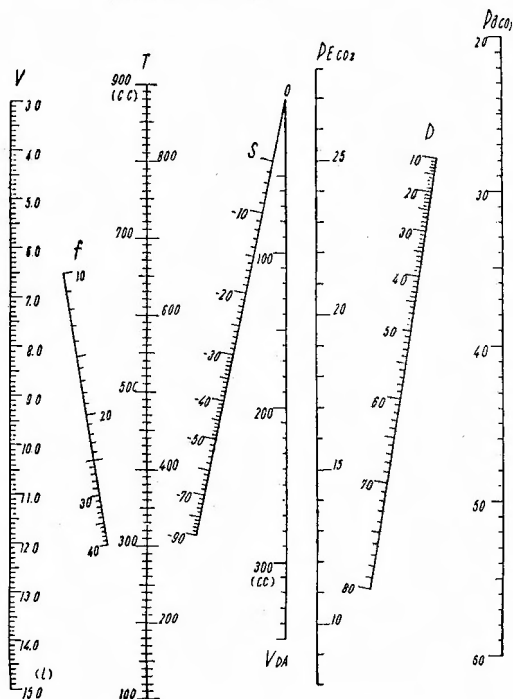
となり、このノモグラムは本式に基いて作成されている。

そうであるから、呼気のCO₂分圧(P_{E_{CO2}})、動脈血のCO₂分圧(P_{A_{CO2}})、1回換気量(T)及び装置死腔量(V_{DA})が判ると、無効換気率はこのノモグラムによつて容易に算定し得ることになる。

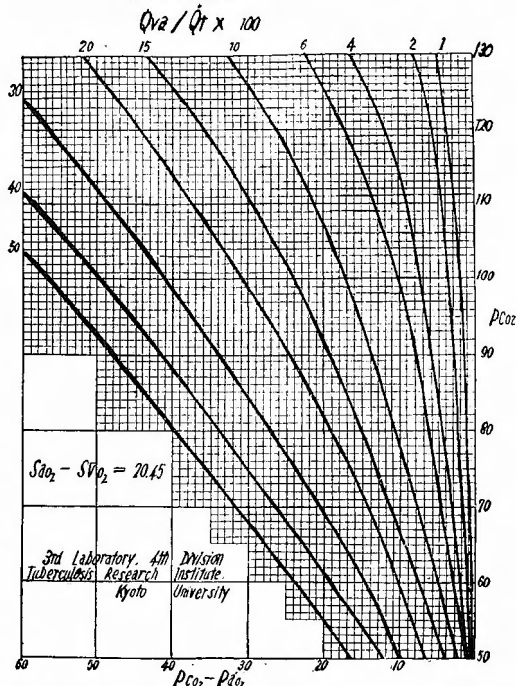
第9節 無効肺血流率 = $\frac{\text{静脈血混合量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ の算定用図表

静脈血混合量(Q_{va})の心搏出量(Q_t)に対する比の算定式は、次式のように、Riley, Cournand等のそれに⁶⁵⁾従つたものである。即ち、

第9図 無効換気率 = $\frac{\text{呼吸死腔量}}{\text{1回換気量}} \times 100$ の
算定用ノモグラム



第10図 無効肺血流量 = $\frac{\text{静脈血混合量}}{\text{心搏出量}} \times 100$ の
算定用図表



$$\begin{aligned} \frac{Q_{va}}{Q_t} \times 100 &= \frac{S_{cO_2} - S_{aO_2}}{S_{cO_2} - S_{vO_2}} \\ &= \frac{S_{cO_2} - S_{aO_2}}{S_{cO_2} - S_{aO_2} + S_{aO_2} - S_{vO_2}} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{S_{aO_2} - S_{vO_2}}{S_{cO_2} - S_{aO_2}}} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{20.45}{S_{cO_2} - S_{aO_2}}} \end{aligned}$$

第10図に示すノモグラムは、本式に基いて作成されている。但し、 S_{cO_2} 、 S_{aO_2} 及び S_{vO_2} 等は、それぞれ肺胞毛細血管、動脈血及び混合静脈血等のヘモグロビン O_2 飽和度を示し、20.45は肺結核患者69例の術前、術後に肺動脈のカテリゼーションを行つて著者等が得た $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ の平均値である。（ $S_{aO_2} - S_{vO_2} = 20.45 \pm 3.91$ ）

$Q_{va}/Q_t \times 100$ の算定に当つて、 $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ に20.45と
というような平均値を代入して差し支えない理由は、次の通りである。

即ち、 $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ それ自体は $S_{cO_2} - S_{aO_2}$ の数倍、乃至数十倍も大きい値を示すものであるから、誤差論の原則に基くならば、 $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ の誤差も亦、 $S_{cO_2} - S_{aO_2}$ の誤差の数倍乃至数十倍も許容されなければならぬということ、これに加えて $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ は肺機能障害によつては比較的変動し難いものであること等の理由からして、以上のような簡便算定法が成り立つわけである。

ところで、 $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ に於ける測定誤差からすると、無効肺血流量の算定値には肺動脈のカテリゼーションを行つて測定した場合でも、通常 $\pm 2\%$ 程度の誤差は招来され易いものである。又、カテリゼーションを行わずに、以上のような簡便測定法による場合でも、その誤差は理論的には $\pm 2\%$ 程度である。従つて、両方法の何れによつても、無効肺血流量にみられる誤差には、大差がないことになる。事実、著者等がこの両方法による成績を実地臨床に於いて比較検討した処では、第3表の通りであつて、両方法の何れの方法によつても、その成績の間には大差が認められない。

一般に、呼吸機能検査に際しては、検査の状態の如何が問題となり、検査状態の如何によつては著明な偶発誤差が招来されることがある。カテリゼーションによる方法では、その虞れが多分にあつて、 $S_{aO_2} - S_{vO_2}$ の測定値には、通常偶発誤差が招来され易いもの

第3表 Riley 等の方法による無効肺血流量と我々の算便法によるそれとの比較

症 例 番 号		No. 43	No. 39	No. 63	No. 62	No. 37	No. 65	No. 46	No. 47	No. 58	No. 52
無効肺血	Riley 等の方法	4	20	12	9	4	8	5	20	7	26
	我々の方法	4	18	9	8	5	8	4	18	7	26
	差	0	-2	-3	-1	+1	0	-1	-2	0	0

症 例 番 号		No. 64	No. 49	No. 74	No. 55	No. 59	No. 61	No. 60	No. 42	No. 41	No. 64
無効肺血	Riley 等の方法	13	7	12	7	23	29	29	9	12	18
	我々の方法	14	7	10	9	19	26	30	9	11	16
	差	+1	0	-2	+2	-4	-3	+1	0	-1	-2

症 例 番 号		No. 45	No. 66	No. 69	No. 70	No. 71	No. 72	No. 86	No. 77	No. 78	No. 79	30例 平均
無効肺血	Riley 等の方法	8	15	17	16	12	6	12	15	6	15	
	我々の方法	7	14	19	15	12	7	10	13	6	15	
	差	-1	-1	+2	-1	0	+1	-2	-2	0	0	

である。

これに反して、カテリゼーションを省略する簡便法では、検査の時間と労力が節約出来て、実地臨床的応用を容易ならしめ得るのみならず、著明な偶発誤差の介入をも避け得て、一石二鳥だと思われる。このことは、Riley等も亦、指摘している処である¹⁴⁾。

著者等としては、静脈血混合の臨床的測定に当てつは、カテリゼーションにより混合静脈血を直接採取して測定する位ならば、むしろそれだけの時間と労力とを $P_{A_{O_2}} - P_{a_{O_2}}$ の精密な反復測定に当てる方が、検査成績の客観性をより高め得ることになると思うのである。又、著者等は、 $P_{A_{O_2}} - P_{a_{O_2}}$ の測定を可及的精密に行うべきであるとの考え方から、 $P_{A_{O_2}} - P_{a_{O_2}}$ の測定には、Dill - Penrod の簡便法¹⁶⁾があるにも拘らず、これを行わないのである。

又、 $Q_{va}/Q_t \times 100$ の算定は、 $O_2 vol \%$ を以つてせねばならないから、笹本等は O_2 飽和度によつて算定する Cournand 等の方法は誤りであると強調している⁷⁶⁾が、それは当っていない。 Q_{va}/Q_t を O_2 飽和度によつて算定する場合には、 $37^\circ C$ に於ける血漿溶解 O_2 をその飽和度に応じて補正すればよいのである。この点を数式によつて説明すると以下の通りである。

$$\frac{Sc_{O_2} - Sa_{O_2}}{Sc_{O_2} - Sv_{O_2}} = \frac{(C'c_{O_2} - Ca_{O_2})}{(C'c_{O_2} - Cv_{O_2})} - \frac{(C'c_{O_2} - C'a_{O_2})}{(C'c_{O_2} - C'v_{O_2})}$$

但し、 C はそれぞれの全血中の $O_{2vol} \%$ であり、又 C' は血漿中に溶解したそれである。

Cournand 等による $Q_{va}/Q_t \times 100$ の算定図表は、Handbook of Respiratory Data in Aviation Me-

dicine の標準 O_2 解離曲線に基いて、本式に示されるような補正が加えられていると看られるものであるから、 O_2 飽和度を以つてする Cournand 等の方法は決して誤りであるとは考えられないのである。

著者は、 $Q_{va}/Q_t \times 100$ の算定図表を作成するに当つては、Cournand 等が作成した図表⁷⁴⁾を解析し、その結果に基いてこれを作成したから、著者の図表に用いられている標準 O_2 解離曲線は、彼等のものと同一であるわけである。

以上で判るように、無効肺血流量 $= Q_{va}/Q_t \times 100$ は、肺泡毛細管血の O_2 分圧 ($P_{C_{O_2}}$) と、動脈血の O_2 分圧 ($P_{a_{O_2}}$) との両者が明らかになれば、この算定図表によつて容易に算定されることになる。

この際、 $P_{C_{O_2}} = P_{A_{O_2}}$ 即ち、肺泡毛細管血の O_2 分圧と肺泡気のそれとは相等しいものと看做して、拡散障害を静脈血混合性因子の中に入れて測定するのである。

第10節 各種の呼吸計目盛のBTPS用換算図表

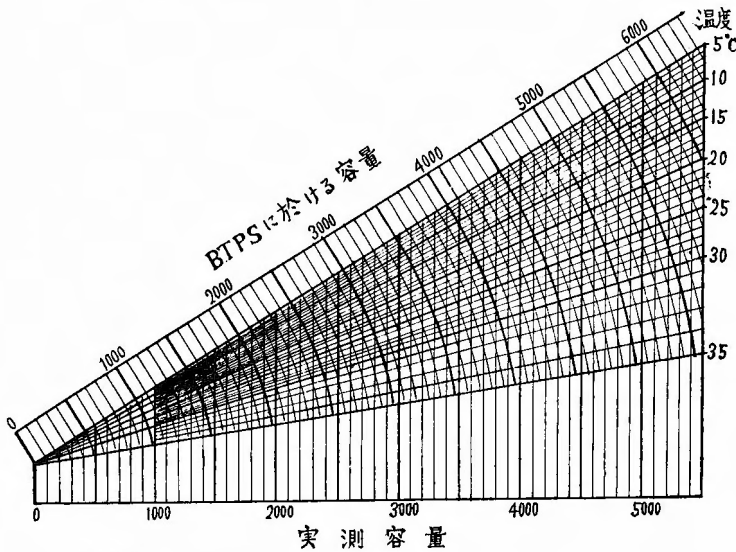
各種の呼吸計の目盛は、測定後BTPSに於ける状態に換算されなければならない。

第11図に示す算定図表は、この目的からして作成されたものである。

本章第5節に於いて、前述したように、もしも有効数字を3桁に限るならば、実測値をBTPSに換算する場合、大気圧の変化を考慮に入れる必要はない¹²⁾。従つて、その算定式は第6図のノモグラムに用いたものと同一である。即ち、このノモグラムの算定式は、次式に基いている。

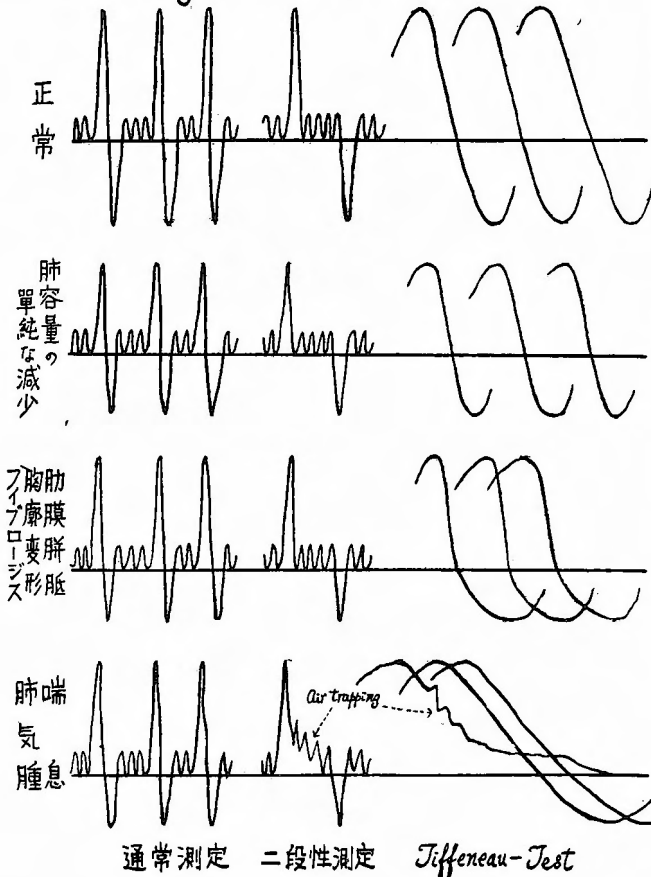
$$V_{(BTPS)} = V_{(t)} \times \frac{760 - wt}{237 + t} \times 0.4348$$

第11図 各種の呼吸計目盛のBTPS用換算図表



第12図

Screening Testによる各種肺活量曲線



$V_{(BTPS)}$ 及び $V_{(t)}$ は、それぞれ BTPS及び $t^{\circ}C$ に於ける気体の容積であり、 w_t は、 $t^{\circ}C$ に於ける水蒸気圧である。

次に、体系化された諸検査法の実地应用到に就いて述べる。

第3章 体系化された諸検査法の実地応用

第1節 Screening-Test

著者等が臨床的に応用している Screening-Test の実施方法は、以下の通りである。Benedict-Roth 型呼吸計を用い、第12図に示すように、先ず通常の方法で肺活量を繰り返して3回記録する。次に、肺活量の二段性測定を行う。即ち、肺活量を最大吸気量と最大呼気量とに分けて測定する。終りに、所謂、Tiffeneau-Test を3回実施する。この際には、呼吸計の廻転速度を速めると共に、被検者に力一杯、最高速度で呼出せしめながら肺活量の時間的分割を測定するのである。

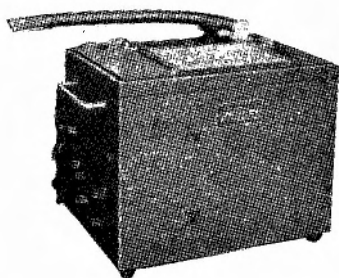
以上、3通りの方法による肺活量の測定を行い、3種類の肺活量の差違が原則として5%以下なることが検査の必要条件とされる。もしも5%以上の差違が認められるならば、それは被検者の検査に対する協力が不十分な場合か、或いは所謂air trapping 現象を招来する肺気腫乃至喘息患者の場合に他ならないから、前者に相当することが判明すれば、再検査が当然必要である。

著者等は、第13図の写真に示すような携帯用呼吸計を試作し、実地臨床にこれを用いている。

被検者の肺機能を評価するには、第12図の模式図からしても判るように、本テストを記録したスピログラムを判読するだけでも、

第 13 図

左右別肺容量の測定も可能な
京大式 TIFFENEAU-TEST 用肺容量計



或る程度その目的が達せられる。しかしながら、第11図の計算図表により、呼吸計の目盛をBTPSの状態に換算した後、第1図のノモグラムを用いて%肺活量 = $\frac{\text{肺活量の実測値}}{\text{肺活量の予測値}} \times 100$ 及び肺活量の時間的分割 = $\frac{34\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の実測値}} \times 100$ の両指標を算定し、それ等の結果を第2図の肺機能の臨床的評価用分割図表上にplotすると、更に一層詳細にその目的が達せられるのである。

又、胸部外科に於いて、手術予後を術前に判定する目的で肺機能を評価する場合には、左右別肺機能検査により測定し得た非手術側の肺機能をこの分割図表上にplotすれば、肺機能面よりする手術適応の判定が容易に行い得るのである。(第1篇の第4節参照)

本テストは、臨床的肺機能検査の主目的を実利的に満たすのみならず、検査時にその測定値の再現性と客観性を確認し得る点からみて、Screening-Testとしては特に優れていると思われる。

ところで、本テストの実地応用例を示すと、第14図は、左側肺全切除術施行患者に就いて、又、第15図は僧帽弁膜交連切開術施行患者に就いてのものであり、それぞれ手術の量的並びに質的侵襲度を示して興味あるものである。

次に、詳細な肺機能検査法に就いて述べる。これは、Screening-Testのみでは肺機能の評価が不充分だと考えられる場合に行うものである。

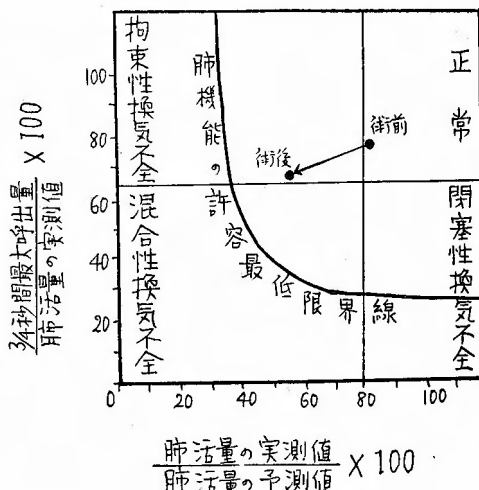
第2節 詳細な肺機能検査法

前述の Screening-Test のみによつては把握し得ぬ肺機能障害は何かという点、それは第1篇の第3章

第3節からして明らかなように、換気-血流分布関係による障害の一部のものと、拡散による障害とである。又、Screening-Test のみによつては、肺の本質的機能を詳細に評価し得ぬし、労働能力の判定に欠ける点もあり得るのである。そこで、肺機能を詳細に評価する必要がある場合には、本篇の第1章第3節で前述したような諸検査法をすべて行うべきである。

第14図 Screening-Test の実地応用例

(32才の男子、肺結核患者に左肺全切除術が施行された。本図はその術前及び術後3ヵ月目の肺機能をScreening-Testにより比較したものである。これにより手術の量的並びに質的侵襲度が明らかである。)



第1項 肺の最大能力の測定

- i) %肺活量 = $\frac{\text{肺活量の予測値}}{\text{肺活量の予測値}} \times 100$ 及び肺活量の時間的分割 = $\frac{34\text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の予測値}} \times 100$ の測定

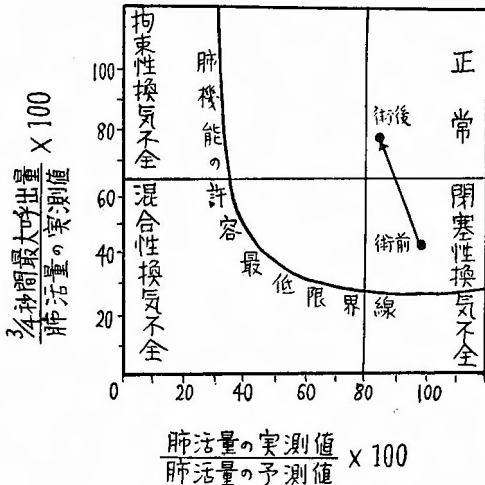
これ等の両指標に就いての測定法及びその測定結果による肺機能の評価法は、Screening-Test として前述した通りである。

- ii) %MBC = $\frac{\text{分時最大換気量の予測値}}{\text{分時最大換気量の予測値}} \times 100$ の測定

MBCの測定値は、肺活量のそれに比べて、その客観性が低いのが普通である。そうであるから、検査の施行前に被検者に充分説明して協力が得られるようにしておくと共に、検査の実施中も常に被検者を励まして、可及的最大量が得られるように努めなければなら

第15図 Screeniug-Test の実地応用例

(28才の男子、僧帽弁狭窄症の患者に僧帽弁膜交連切開術が施された。本図は、その術前及び術後2ヵ月目の肺機能を Screeniug-Test により比較したものである。手術により肺機能が改善されているが、これは術前の肺鬱血が消滅したことを示すものと思われる。)



ない。

MBCの測定に当つては、Collins 社型呼吸計を用い、立位で12秒間測定する方法が最もよいようである⁷²⁾。Douglas囊を用い、30秒間の測定を行う人々もあるが²⁷⁾、患者によつては30秒の測定は通常困難ことが多いから、Douglas囊を用いる場合には15秒間の測定が適当だと思われる。又、MBC の測定値は呼吸弁の抵抗や死腔の大きさによつても左右されることが少なくないから、可及的高性能の弁を使用することが望ましい⁸⁴⁾。

又、MBC は肺活量の時間的分割から間接的にも算定し得るのである。即ち、

$$MBC = \frac{3}{4} \text{秒間最大呼出量} \times 40$$

として算定することが出来る。

MBC の直接測定値と間接測定値とは、理論的には相等すべきものである³⁰⁾から、MBC の直接測定値が間接測定値に比べて著しく小さい場合には、直接測定を繰り返して再検討すべきである。実地臨床では、

12秒間の MBC (直接測定値) $\times 1/8 = 3/4$ 秒間最大呼出量

として両者を比較すると、その比較が容易で好都合で

ある。

このように両者を比較することによつて、両者それぞれの成績に於ける客観性を互いに確かめ合うことになる。

この際、12秒間のMBCの直接測定値に1/8を乗じて得られる数値は、第11図の計算図表により、BTPSに於ける状態のそれに換算される。又、その結果に40を乗じると、MBC の実測値が得られる。これを第4図のノモグラムに代入すると、%MBC が容易に算定される。

以上のことからしても判るように、肺機能の評価に際しては、肺活量の時間的分割をもしも正確に測定しさえすれば、MBCの測定が不要であることになる。

しかしながら、MBC の多少は、肺機能のみならず心肺機能を含めた被検者の労働能力の良否に大いに関連するものであるから、実地臨床に於いて特に本測定を行うと、患者の労働能力の判定に極めて有用であると思われる。

次に、呼吸機能の諸検査法の実地応用に就いて述べる。

第2項 呼吸機能の測定

呼吸機能検査に当つては、一般に被検者の状態の如何が問題となる。たとえ、どれ程に優秀な装置を用い、又どれ程に精密な方法で測定が行われようとも、被検者の状態に就いて細心の注意が払われなければ、その検査成績は無意義に終るかも知れない。何となれば、呼吸機能検査というものは、肺の効率を評価するものであり、肺の効率は被検者の呼吸状態の如何によつては肺機能障害がある場合と同様に変化する虞れがあるからである。

又、肺胞気の算定に用いられる肺胞方程式 (alveolar equation)⁶¹⁾⁶³⁾は、被検者の呼吸状態が定常であることを前提として初めて成立し得るものであるから、もしも被検者の呼吸状態が定常でない場合には全く成立し得ぬことになるのである。前述したように、著者等が無効肺血流率の臨床的測定に当つて、カテリゼーションによる混合静脈血の直接採取を行わない理由の一つは、こゝにあるわけである。

そうであるから、呼吸機能に就いての測定は、被検者が基礎代謝に可及的近い状態で定常な呼吸を営んで

いる場合に実施されるべきである。

まず、被検者の3分間の呼吸を Douglas 囊に採取し、呼吸採取の直後に撓骨動脈を穿刺してヘパリンフロライド溶液で⁵⁹⁾⁷⁴⁾湿した注射筒に、被検者の動脈血約5ccを大気に曝さぬように注意しつつ採取する。

呼吸の採取には、予め死腔容積が計測されている呼吸弁とマウスピースとを用い、被検者の呼吸数や脈搏数を数えながら操作を行う。呼吸の採取後に採血を行うのは、動脈穿刺によつて被検者の定常呼吸が乱されるのを防止する為である。

又、以上のような意味合からして、呼吸数、脈搏数、分時 O_2 摂取量及び呼吸商等を呼吸機能検査成績に附記しておき、これ等の被検者の呼吸状態を示す指標が略々一定の値を示す場合に就いてのみ、呼吸機能検査成績を比較すべきである。

試料の採取後、諸検査に必要な装置は以下の通りである。

即ち、温度計、Fortin の気圧計、湿式ガスメーター、労研式ガス分析器及び血液ガス分圧直接測定装置等⁵⁹⁾⁷⁴⁾が必要である。その上、ガラス電極pHメーターやVan Slyke-Neill の装置が²²⁾³⁶⁾⁵⁶⁾あれば申し分ないが、それ等はなければなくとも済むものである。

以上の諸装置により、検査室の温度、大気圧、分時換気量、呼吸の O_2 vol % 及び CO_2 vol %, 動脈血の O_2 分圧及び CO_2 分圧等をそれぞれ測定すれば、動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度、無効換気率及び無効肺血流率等の諸指標の算定に必要な因子が凡て整うことになる。

i) 動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度の測定

動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度の測定は、Van Slyke-Neill の装置により測定されているのが普通であるが、血液の O_2 分圧と血漿のpHとから標準 O_2 解離曲線により算定する方が誤差が少ないのである。その理由としては、血液ガス分圧直接測定装置による方がVan Slyke-Neill の装置による場合よりも、血中の O_2 を洩出せしめる機会が少ないこと、たとえ検査がVan Slyke-Neill の装置の使用に熟練している場合でも、血漿中の溶解 O_2 に対する補正や²⁴⁾⁶⁶⁾⁸⁶⁾⁸⁷⁾大気によるヘモグロビンの O_2 飽和の仕方等に就いて問題が残されていること及び標準 O_2 解離曲線を用いて分圧から飽和度を読む場合には、飽和度から分圧を読む場合と違って読み取り誤差が少ないこと等が挙げられる。

ところで、 O_2 分圧の直接測定値からヘモグロビンの O_2 飽和度を算定するには、血漿のpHが是非とも必要

であるが、動脈血の場合にはその血漿のpHを7.40として算定しても、臨床的には差し支えないと思われる⁶³⁾。

例えば、動脈血血漿のpHが7.36~7.44の範囲にある場合にpH=7.40としても、 O_2 分圧に於ける誤差は ± 2 mm Hg以下に止まるから、これを O_2 飽和度に換算すると全く問題にならなくなる。

因みに、著者等の同僚、井原によれば、肺結核患者64例に就いての動脈血血漿のpHは 7.41 ± 0.04 である。

そうであるから、動脈血の O_2 分圧からヘモグロビンの O_2 飽和度を算定する場合に限り、通常血漿のpHを7.40として算定しても差し支えないのである。しかしながら、この逆の場合には全く成立しない。

又、その算定に用いる標準 O_2 解離曲線は、その作成者¹⁹⁾³⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁸⁾⁶⁸⁾によつて多少とも異なるものであるから、検査に当つては常に一定のものを使用するのが望ましい。

ii) 無効換気率及び無効肺血流率の測定

労研式ガス分析器により測定された呼吸の O_2 vol % ($F_{E_{O_2}}$) 及び CO_2 vol % ($F_{E_{CO_2}}$) を第5図のノモグラムに代入すると、修正吸気の O_2 vol % ($F_{I_{O_2}}^c$) と O_2 利用率 (Rem. O_2) とを算定し得る。

次に、第8図のノモグラムに於いて、大気圧(B)と $F_{E_{CO_2}}$ 及び $F_{I_{O_2}}^c$ とから、それぞれ呼吸の CO_2 分圧 ($P_{E_{CO_2}}$) とXとを算定すると共に、第7図のノモグラムに於いて $F_{E_{CO_2}}$ と Rem. O_2 とから先ず呼吸商(RQ)を、引き続いてこれと動脈血の CO_2 分圧 ($P_{a_{CO_2}}$) とからYを算定する。

又、第6図のノモグラムにより算定した分時換気量 ($\dot{V}$) と呼吸数(f)とを第9図のノモグラムに代入して1回換気量(T)を求め、これと予め測定した装置の死腔量 (V_{DA}) とからSを算定すると共に、同じノモグラムに於いて、 $P_{E_{CO_2}}$ と $P_{a_{CO_2}}$ とからDを算定する。

以上の算定を行うと、

$$\text{無効換気率} = D + S$$

としてこれを測定し得ることになる。

又、無効肺血流率の算定には、

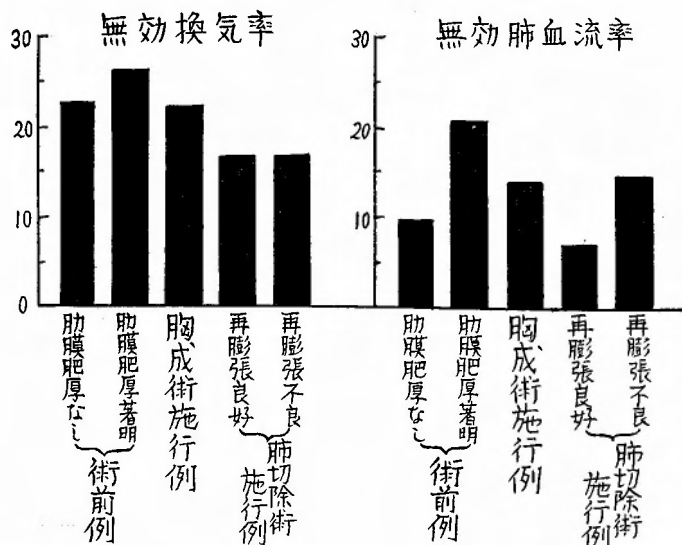
$$\text{肺動脈毛細管血の} O_2 \text{分圧} (P_{CO_2}) = \text{肺胞気の} O_2 \text{分圧} (P_{A_{O_2}}) = X \cdot Y$$

として、これを第10図の算定図表に代入すると無効肺血流率が測定されるのである。

無効肺血流率の測定に当つて、このような簡便測定法が成立し得る根拠に就いては、本篇の第2章第9節

第16図 肺の本質的機能に及ぼす各種肺結核外科的療法の比較

(本図は、肺結核外科的療法の術前例10例(肋膜肥厚なし、5例及び肋膜肥厚著明、5例)胸成術施行例7例及び肺切除術施行例9例(再膨張良好、5例、再膨張不良4例)等に就いて、それぞれの平均値を示すものである。)



の方法のみでは、これを分析し難い。

このような場合には、Riley, Co-urnand 及び Donald 等の方法⁶⁵⁾を行う必要がある。

一般に、無効換気率は、機能障害によつて換気面に加えられた負荷量を表わすと共に、肺血流の撒布障害の程度をも示しているものである。又、同様に無効肺血流量率は循環面に加えられた負荷量を表わすと共に、換気の配分障害の程度をも示すものである。

そうであるから、両指標が共に測定されると換気障害や循環障害の原因と結果とを同時に評価し得るわけである。

正常な場合に於ける以上の関係を O_2 分圧に関連して表示すると第17図の通りである。

従つて、無効肺血流が正常値 (25

で前述した通りである。

因みに、著者等が各種の肺結核外科的療法の術前、術後に於ける患者に就いて、無効換気率及び無効肺血流量率を測定した成績を図示すると、第16図に示す通りである。

これをみると、肺の本質的機能に及ぼす各種の肺結核外科的療法の影響を比較し得ることが判る。又、それぞれの数値は、肺の効率に基づいて表示されているから、各種の手術の質的侵襲度を合理的に評価し得るわけである。

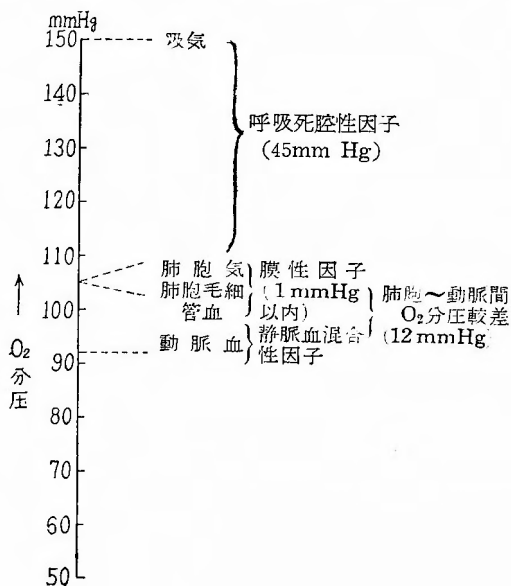
第3項 肺機能に障害を与える生理学的因子の分析と、肺循環障害の推定

肺機能に障害を与える生理学的因子に就いては、第1篇の第1章第3節で明らかにしたように、厳密な意味に於ける呼吸面積の不足は存在し難く、肺機能を障害するものは通常、換気-血流分布関係であり、極めて稀には拡散によるものである。

従つて、肺機能に障害を与える生理学因子の分析は、第1篇の第3章第3節で前述したように、無効換気率及び無効肺血流量率によつてなされるべきである。又、著者等の方法による無効肺血流量率では、拡散による障害が静脈血混合性因子として取り扱われているから、臨床上、拡散障害の疑いがある場合には、著者等

(%)を超える場合には、肺血流の撒布障害を伴う肺胞がそれだけ増加しているものと看做され、又無効肺血流量が正常値 (6%) を超える場合には、換気の配分障

第17図 呼吸死腔性因子と静脈血混合性因子 (健常人)



第4表 無効換気率及び無効肺血流量と肺血行力学的諸値との関係

症	例	無効換気率 (%)	無効肺血流量 (%)	心 係 数 (l/min/m ²)	肺血管抵抗 (dynes/sec/ cm ⁻⁵)	肺 動 脈 圧 (平均圧 mmHg)	
術 前 例	No. 62	23	15	5.98	—	—	
	No. 61	23	8	3.21	363	16.2	
	No. 66	15	12	5.69	—	—	
	No. 67	19	18	4.67	—	—	
	No. 65	25	9	4.71	—	—	
	No. 63	17	9	2.66	—	—	
	No. 64	25	7	4.63	202	17.8	
	No. 68	29	20	3.36	270	17.5	
	No. 69	28	29	4.40	203	17.8	
	No. 70	38	36	4.01	382	29.0	
虚脱療法 施行例	胸廓成形術	No. 74	20	17	5.22	173	16.5
		No. 75	21	15	3.63	289	21.0
		No. 76	23	12	3.22	308	23.0
		No. 77	23	12	4.75	—	—
		No. 78	22	4	3.63	240	16.9
		No. 79	24	20	3.63	—	—
		No. 80	20	13	4.84	102	10.8
	人工気胸術	No. 72	26	7	2.91	252	15.2
		No. 71	14	7	3.93	181	12.9
		No. 73	19	29	4.67	156	15.0
切除療法 施行例	部分乃至区域切除術	No. 81	14	4	3.72	167	16.2
		No. 82	19	8	4.61	—	—
		No. 86	14	15	4.74	161	18.2
		No. 83	11	6	3.05	355	20.2
		No. 84	14	12	4.35	143	18.6
	肺葉切除術	No. 88	13	6	4.87	200	20.5
		No. 87	16	12	4.61	184	18.5
		No. 85	23	5	4.83	128	11.0
		No. 90	22	23	3.87	158	12.3
		No. 89	16	16	3.18	377	23.2

害を伴う肺胞がそれだけ増加しているものと看做され得るのである。

又、肺循環障害を推定する場合には、無効換気率及び無効肺血流と並んで%肺活量を測定することが必要である。

因みに、著者等が測定し得た肺結核患者に於ける無効換気率及び静脈血混合と肺血行力学的諸値との関係は第4表に示す通りであり、又%肺活量と肺動脈圧(平均圧)との関係は第18図の通りであつて、それぞれ相関々係を示している。

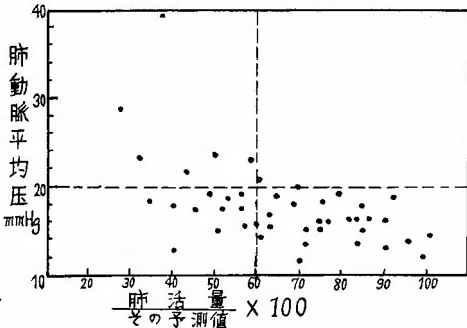
第18図から判るように、肺機能障害により肺活量が

かなり減少した場合でも、一般に肺動脈圧にはさほどの影響がみられぬものである。この事実と、健常肺胞の持続的な最大能力(第1篇の第1章第2節参照)とを考え併せると、Screening-Testの結果に基づく肺機能の臨床的評価用分割図表に於いて、肺機能がその心肺性危機限界線の上位にplotされる場合には、通常、肺動脈圧は略々正常であるものと評価して差支えないことになる。

従つて、肺動脈のカテテリゼーションは、それ以外の場合のみに限つて施行し、それ等に就いてのみ肺循環障害を詳細に実測すればよいわけである。

第 18 図

肺結核患者における%肺活量と肺動脈圧との関係



一般の実地臨床に於いて、以上の詳細な肺機能検査法を実施するならば、肺機能の総合的評価に必要な6指標をすべて測定し得て、臨床的肺機能検査の目的が十分に達せられることと思われる。

ところで、主として胸部外科の実地臨床では、次のような特殊肺機能検査法が実施されることがある。

第3節 二三の特殊な肺機能検査法

これ等の諸検査法は、その必要に応じて特殊な場合にのみ施行されるものである。

i) 肺血管造影法を応用せる肺機能検査法

前述の肺機能検査法では、肺の局所に於ける肺機能を選択的に評価することが出来ない。このような場合には、肺血管造影法を応用すると、肺血管の形態学的変化や大略の肺血流速度からして、局所に於ける肺機能の良否を推察することが出来る。肺外科手術後の局所に於ける残存肺機能の状態を知る場合には、本法は有用なものと思われる。

又、本法は限局性肺病巣の位置診断にも応用されるものである。

ii) 一側肺動脈の閉塞試験及び低酸素や炭酸ガス等の負荷試験

一側肺動脈の閉塞試験及び低酸素や炭酸ガスの負荷試験等は、胸部外科の実地臨床に於いて、肺の予備能力を前述の詳細な肺機能検査法とは又別の観点から評価する場合には、かなり有用なものである。

しかしながら、一般的には肺の予備能力は、肺の最大能力からして合理的に評価し得るものである。このことに就いては、第1篇の第3章第2節及び第4章で詳述した処である。そうであるから、これ等の特殊肺機能検査法は、又別の観点から肺の予備能力を評価するものとして有用であるわけである。臨床実利的な観

点からすると、著者等が作成した臨床的肺機能の分割図表に於いて、肺機能が心肺性危機限界線の下位にplotされるような患者に対して敢て手術を施行する必要があるような場合にのみ、これ等の諸検査法を行つてその予備能力を詳細に検討すべきであり、その他の場合には、これ等の諸検査法は生理学的研究の面を除けば、さほどの臨床的普遍性をもち得ぬものと思われる。(第1篇の第4章参照)

結 論

著者は臨床的肺機能検査法の体系化を企図し、第1篇では臨床的肺機能検査法の体系化なる観点からみた肺機能の特異性と、その評価法とに就いて検討したが、本篇では、前篇の結論に基づいて臨床的肺機能検査法の体系化を試みると共に、体系化された諸検査法の実地応用に就いて検討し、以下の結論を得た。

1) 臨床的肺機能検査法の体系化に当つて、著者が採択し、その選択に合理性を与えた6指標は以下の通りである。

$$i) \% \text{肺活量} = \frac{\text{肺活量の 実測値}}{\text{予測値}} \times 100$$

$$ii) \text{肺活量の時間的分割} = \frac{3/4 \text{秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の 実測値}} \times 100$$

$$iii) \% \text{MBC} = \frac{\text{分時最大換気量の 実測値}}{\text{予測値}} \times 100$$

$$iv) \text{動脈血ヘモグロビンの } O_2 \text{飽和度}$$

$$v) \text{無効換気率} = \frac{\text{呼吸死腔量}}{1 \text{ 回換気量}} \times 100$$

$$vi) \text{無効肺血流率} = \frac{\text{静脈血混合量}}{\text{心搏出量}} \times 100$$

以上の6指標を組織的に組み合わせることにより、肺機能を総合的に、且つ又最も効果的に評価し得るものと考えられる。

2) 以上の観点から、著者が体系化した臨床的肺機能検査法は、以下の通りである。

i) 肺の最大能力の測定

a) %肺活量及び肺活量の時間的分割の両測定 (Screening-Test)

b) %MBCの測定

ii) 肺の本質的機能の測定

a) 動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度の測定

b) 無効換気率及び無効肺血流率の両測定

肺機能障害は、Screening-Testにより臨床実利的に分析され得ると共に、無効換気率及び無効肺血流率の両測定により生理学的に詳細に分析され得る。又、肺循環機能の肺機能による障害は、i) ii)を総合することによつて容易に推定される。

3) 以上により、著者が企図する臨床的肺機能検査法の体系化の目的は一応達せられると思われるが、体系化された諸検査法の中には検査方法や計算処理が面倒なものが少なくない。そこで、著者は以上の諸検査法の実地応用を容易ならしめる目的から、無効肺血流量の一簡便測定法を案出すると共に、前記の6指標の算定に好都合な9枚の計算図表と、Screening-Testの結果に基づく肺機能の臨床的評価に有用な1枚の分組図表とを作成した。

以上によつて、体系化された諸検査法の実地応用は、極めて容易に行われ得るものと思われる。

4) 実地臨床に於ける臨床的肺機能検査の主目的は、以上の諸検査法により充分に満足され得るから、肺動脈のカテリゼーションその他の諸検査法は、前記の諸検査法を行つた結果、是非とも必要だと思われた場合にのみ、改めて実施すればよいものと考えられる。

5) 著者は、以上の諸検査法以外のものが一切不要であると主張するものではない。生理学的乃至病態生理学的観点から肺機能を研究する場合には、その他の検査法が当然必要ではあろうが、少なくとも実地臨床的には、以上の諸検査法のみによつても、充分満足し得る程度に肺機能を把握し得ると思われる。

全篇綜括並びに結論

臨床的肺機能検査法に就いては、周知のように多種多様のものが知られているが、日常の実地臨床に於いて、限られた設備と労力との範囲内で可及的詳細に肺機能を評価すべき場合には、これ等の多種多様の諸検査法の中から何と何とを選んで実施すればよいかに迷うことが少なくない。又、たとえそれ等諸検査法のすべてを残らず実施したとしても、各種各様の諸検査結果から、肺機能をどのように評価すればよいかに苦しむことが少なくない。

著者は昭和28年5月以降、肺結核患者を主たる対象とした肺機能、並びに肺循環の諸研究を行いつつ、以上のような諸問題を解決する目的から、臨床的肺機能検査法の体系化を企図した。

従つて、著者が企図する臨床的肺機能検査法の体系化とは、多種多様の肺機能検査法の中から被検査事項が互いに異なる数種のものを重複することなく選んで、これ等を組織的に組み合わせ、これによつて肺機能の臨床的評価を綜括的、且つ又最も効果的ならしめることである。

そこで著者は第1篇では臨床的肺機能検査法の体系化する観点からみた、肺機能の特異性に就いて検討すると共に、このような特異性を有する肺機能をどのように評価すれば合理的であるかに就いて考察した。

又、第2篇では第1篇で明らかになつた肺機能の合理的評価法に基づいて臨床的肺機能検査法を体系化する傍ら、体系化された諸検査法の実地応用に就いて検討した。

全篇を通じて得られた結論は以下の通りである。

1) 肺機能には、一般に次のような特異性が認められる。

i) 安静呼吸時に於ける O_2 摂取量は、肺機能障害によつて減少するものではない。

ii) 健全な肺胞の持続的な最大能力は、安静呼吸時の約3倍と看做される程度のものである。

iii) 肺機能障害は通常、換気-血流量-布関係によつて極めて稀には拡散の障害によつて招来されるものである。

iv) 肺疾患々者に於ける肺循環機能の障害は所謂肺機能のそれに随伴するものである。

2) 以上のような特異性を有する肺機能は次のような評価法により最も効果的、且つ綜括的に把握し得る。

即ち、肺機能を安静呼吸時に於ける肺の本質的機能（呼吸機能）と、肺がその全機能を最大に發揮した場合の能力（最大能力）とに二大別し、前者を評価するには肺の効率に相応してその本質的優劣を比較し、後者を評価するには肺の最大工率に相応してその性能の大小を判定する。その際、所謂肺機能を先ず検査し、肺循環機能はこれより推定し、必要に応じてその詳細な測定を行う方法である。

3) 著者が臨床的肺機能検査法の体系化に当つて採択し、その採択に合理性を与えた肺機能を示す指標は次の6種である。

i) %肺活量 = $\frac{\text{肺活量の实测値}}{\text{予測値}} \times 100$

ii) 肺活量の時間的分割 = $\frac{24 \text{ 秒間最大呼出量}}{\text{肺活量の实测値}} \times 100$

iii) % MBC = $\frac{\text{分時最大換気量の实测値}}{\text{予測値}} \times 100$

iv) 動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度

v) 無効換気率 = $\frac{\text{呼吸死腔量}}{\text{1 回換気量}} \times 100$

vi) 無効肺血流量 = $\frac{\text{静脈血混合量}}{\text{心搏出量}} \times 100$

4) 著者が体系化した臨床的肺機能検査法は、次の通りである。

i) 肺の最大能力の測定

- a) %肺活量及び肺活量の時間的分割の両測定 (Screening-Test)
- b) %MBCの測定
- ii) 肺の本質的機能の測定
 - a) 動脈血ヘモグロビンの O_2 飽和度の測定
 - b) 無効換気率及び無効肺血流率の両測定

肺機能障害は、Screening-Test によつて臨床実的に分析され得ると共に、無効換気率及び無効肺血流率の両測定によつて生理学的に詳細に分析され得る。又、肺循環機能の肺機能による障害は、i) ii) を総合することによつて推定される。

5) 著者は、以上の諸検査法の実地応用を容易ならしめる目的から、無効肺血流率の一簡便測定法を案出すると共に、前記の6指標の算定に都合な9枚の計算図表と、Screening-Test の結果の評価に有用な1枚の分割図表とを作成した。これ等により、体系化された諸検査法の実地応用が極めて容易になるものと思われる。

6) 実地臨床に於ける臨床的肺機能検査の主目的は、以上の諸検査法によつて略々十分に満されるから、肺動脈カテリゼーションその他の諸検査法は、著者が体系化した諸検査法を行つた結果、是非とも必要だと思われた場合に就いてのみ、改めて実施すればよいかと考えられる。

因みに、肺機能の臨床的評価用分割図表に於いて、肺機能が心肺性危機限界線の上に plot される場合には、通常、肺機能障害による肺高血圧症が招来されていないと考えて差支えない。

7) 胸部外科の実地臨床に於いて、手術適応を判定する目的で肺機能検査を行う場合には、Screening-Test を以するのが最適の方法と考えられる。左右別肺機能検査によつて測定した非手術側肺機能が、分割図表上の心肺性危機限界線の上に plot される限りに於いては、手術は行い得られる筈である。このような場合、非手術側肺機能によつて、手術施行の可能性を判定すると共に、手術側肺機能の良否によつて、肺機能面に於ける手術時のストレスの大小を考慮し、手術経過の安全性を評価することも亦、大切である。

このような評価法によつても、尚予測し得ぬ心肺性危機が招来される場合には、術前に於ける肺機能の評価法に不備があるのではなく、術中や術後の患者に対する管理法に欠ける処があるものとして、その原因を追求されるべきであろうと思われる。

8) 各種の負荷試験 (ガス負荷試験、一側肺動脈の

閉塞試験等) は、又別の観点から肺機能を評価するのに有意義ではあるが、実地臨床に於いては、さほどの普遍的な有用性を持ち得ぬものと考えられる。

9) 著者は、体系化した以上の諸検査法以外のものが一切不要であると主張するものではない。生理学的乃至病態生理学的研究には、その他の肺機能検査法を併せ行うことが当然必要になることと思われるが、少なくとも実地臨床的には以上の諸検査法のみによつても充分満足し得る程度に、肺機能が把握され得ることを明らかにした次第である。

参 考 文 献

- 1) Austrian, R., Mc Clement, J. H., Renzetti, A. D., Jr., Donad, K. W., Riley, R. L. and Cournand, A.: Clinical and physiologic features of some types of pulmonary diseases with impairment of "alveolar-capillary block", *Am. J. Med.* **11**; 667, 1951
- 2) Alexander, R. S.: The use of basal respiratory minute volume as an index of impaired pulmonary function, *Am. Rev. Tuberc.* **65**, 505, 1952
- 3) Auerwald, W., Wenzl, M.: Die Beurteilung der regulatorischen Anpassungsfähigkeit des pulmonovaskulären Systems als Voraussetzung für die Pneumonektomie, *Thoraxchirurgie.* **2**, 68, 1954
- 4) Baldwin, E. de F., Cournand, A. and Richards, D. W., Jr.: Pulmonary insufficiency. I. Physiological classification, clinical methods of analysis, standard values in normal subjects, *Medicine.* **27**, 243, 1948
- 5) Bruce, R. A., Lovejoy, F. W. Jr., Yu, P. N. G. et al.: Further observations on the pathological physiology of chronic pulmonary granulomatosis associated with beryllium workers, *Am. Rev. Tuberc.* **62**, 29, 1950
- 6) Bolt, W., Knipping, H. W., Rink, H.: Funktionsfragen bei der operativen Behandlung der Lungentuberkulose, *Thoraxchirurgie.* **1**, 167, 1953
- 7) Cournand, A., Richards, D. W., Jr.: Pulmonary insufficiency: I. Physiologic Classification and presentation of clinical tests, *Am. Rev. Tuberc.* **44**, 26, 1941
- 8) Cournand, A.: Recent observations on the dynamic of the pulmonary circulation, *Bull. New York Academy of medicine.* **23**, 27, 1947
- 9) Cournand, A., Himmelstein, A., Riley, R. L. and Lester, C. W.: A follow up study of the cardiopulmonary function in four young individuals after pneumonectomy, *J. Thoracic Surg.* **16**, 30, 1947
- 10) Cournand, A., Riley, R. L., Himmelstein, A. and Austrian, A.: Pulmonary circulation and alveolar ventilation-perfusion relationships after

pneumonectomy, *J. Thoracic Surg.* **19**, 80, 1950
 11) Cournand, A.: Some aspects of the pulmonary circulation in normal man and in chronic cardiopulmonary diseases, *Circulation*. **2**, 641, 1950 12) Comroe, J. H., Jr.: Pulmonary Function Tests, *Methods in Medical Research* II. (The Year Book Publishers, Inc., Chicago): 1950 13) Comroe, J. H., Jr., Forste, R. E., Dubois, A. B., Briscoe, W. A. and Carlsen, E. A. B.: The Lung. Clinical Physiology and Pulmonary Function Tests (The Year Book Publishers, Inc., Chicago) 1955 14) Carroll, D., Cohn, J. E. and Riley, R. L.: Pulmonary function in mitral valvular disease: Distribution and diffusion characteristics in resting patients, *J. Clin. Invest.* **32**, 510, 1953 15) Darling, R. C., Cournand, A. and Richards, D. W., Jr.: Studies on intrapulmonary mixture of gases. III. Open circuit for measuring residual air, *J. Clin. Invest.* **19**, 609, 1940 16) Dill, D. B. and Penrod, K. E.: Man's ceiling as determined in the altitude chamber, *J. Appl. Physiol.* **1**: 409, 1948 17) Dexter, L. et al: Studies of the pulmonary circulation in man at rest, *J. Clin. Invest.* **29**, 602, 1950 18) Dogle, J. T., Wilson, J. S. and Warren, J. V.: The pulmonary vascular responses to short term hypoxia in human subjects, *Circulation*, **5**, 263, 1952 19) Donald, E. C. and Minerva, M.: The arterial blood gases, the oxygen dissociation curve and the acid-base balance in polycythemia vera, *J. Clin. Invest.* **32**, 52, 1953 20) Drinker, C. K.: The Clinical Physiology of the Lungs: Charles C Thomas Publisher. (Illinois) 1954 21) 海老名敏明, 梶原義, 近藤春経, 菊地武夫: 肺活量の研究. 日本人の標準肺活量, *日本内科学会雑誌*. **21**, 1039, 1933 22) 藤井暢三: 生化学実験法, 定量編(南山堂書店): 1940 23) Fenn, W. O., Rahn, H. and Otis, A. B.: A theoretical study of the composition of the alveolar air at altitude, *Am. J. Physiol.* **146**, 637, 1946 24) Fasceola, J. C. and Chiodi, H.: Arterial oxygen pressure during pure oxygen breathing, *Am. J. Physiol.* **147**, 54, 1946 25) Terris, B. G., Jr., Kriete, H. a. and Kriete, B. C.: *J. Appl. Physiol.* **3**, 519, 1951 26) Fishman, A. P.: Studies in man of the volum of the respiratory dead Space and the composition of the aveolar gases, *J. Clin. Invest.* **33**, No. 4, 1951 27) Gaensler, E. A.: Air velocity index: A numerical expression of the functionally effective portion of ventilation, *Am. Rev. Tuberc.* **62**, 17, 1950 28) Gaensler, E. A.: Ventilatory tests

in bronchial asthma: Evaluation of vital capacity and maxmum breathing capacity, *J. Allergy*. **21**, 232, 1950 29) Gaensler, E. A.: The breath-holding test in pulmonary insufficiency: Evaluation of 1,000 studies, *Bull. New. Eng. M. Ctr.* **13**, 49, 1951 30) Gaensler, E. A.: Analysis of the ventilatory defect by timed capacity measurement, *Am. Rev. Tuberc.* **64**: 256, 1951 31) Haldane, J. S. and Priestley, J. G.: *Respiration* (Oxford) 1935 32) Hickam, J. B. and Cargill, W. H.: Effect of exercise on cardiac output and pulmonary arterial pressure in normal persons and in patients with cardiovascular disease and pulmonary emphysema, *J. Clin. Invest.* **27**, 10, 1948 33) 池田誠: 日結. **3**, 597, 1942 34) 石田二郎, 笹本浩: 胸廓成形術の作用機序に関する研究, *胸部外科* **3**, 3, 1950 35) Key, A., Hall, F. G. and Barron, E. S. G.: *Am. J. Physiol.* **115**, 292, 1936 36) 柿内三郎: 実験生化学 (克誠堂) 1946 37) 古賀努: 肺臓呼吸機能に就いて, *結核*. **21**, 3, 94, 1943 38) Kapperer, J. M.: Der nutzbare Anteil der Vitalkapazität (Tiffeneau-Test), *Thoraxchirurgie*. **1**: Heft6, 1954 39) 楠目博, 佐川弥之助, 日下芳郎, 真鍋貴, 栗林弘栄, 近石登: 安静時及び Anoxia 負荷時に於ける肺循環諸量, *日結*. **12**, 547, 1953 40) Krall, J., Rodewald, G., Hoffheinz, H. J.: Die Blockade der Arteria pulmonalis als Grundlage einer präoperativen Funktionsprüfung in der Lungenchirurgie, *Thoraxchirurgie*. **1**, 434, 1954 41) 日下芳郎: 循環諸量に及ぼす肺結核外科的療法の影響, *肺* **4**, 2号及び3号, 1957 42) Keydlze, H.: Durchblutungsänderungen in großen und kleinen Kreislauf nach experimentellen Pneumonektomien, *Thoraxchirurgie*. **2**, 58, 1954 43) 古賀良平: 肺活量減少者の臨床的並びに病理学的研究, *肺*. **1**, 422, 1954 44) Lilienthal, J. L., Jr., Riley, R. L., Proemmel, D. D. and Frank, R. E.: An experimental anaalysis in man of the oxygen pressure gradient from alveolar air to arterial blood during rest and exercise at sea level and at altitude, *Am. J. Physiol.* **147**, 199, 1946 45) Motley, H. L., Cournand, A., Werko, L., Himmelstein, A. and Dresdale, D.: The influence of short periods of induced acute anoxia upon pulmonary artery pressure in man, *Am. J. Physiol.* **150**, 315, 1947 46) Martin, F. E., Stead, W. W.: Physiologic studies following thoracic surgery, III. Ventilatory stdies in the immediate postoperative period, *J. thoracic, Surg.* **25**, 417, 1953 47) 三瀬淳一: 肺高血圧症, *診療*. **6**, 39, 1953 48) Miller, W. F., Wu, N., Johnson, R. L. Jr.: Convenient

- method of evaluating pulmonary ventilatory function with a single breath test, *Anesthesiology*, **17**, 480, 1956 49) 中村健, 佐川弥之助, 日下芳郎, 栗林弘栄, 井原晋, 牛島哲, 岩下弘一, 横山崇: 臨床的肺機能検査法の体系化とこれに関連して作成したモノグラムに就いて, 呼吸と循環 **3**, 233, 1955 50) 長石忠三: 肺循環, 所謂静脈血混合を中心として, 日本循環器学会誌, **20**, 1, 1956 51) Nagaishi, T.: Pulmonary circulation, with reference to venous admixture, *Jap. J. Tuberc.* **4**, 23, 1956 52) 長石忠三他: 肺結核外科に於ける急性肺水腫の発来機転に関する臨床的並びに実験的研究, 肺 **4**, 3号, 1957 53) 長石忠三, 長沢直幸, 山下政行, 岡田慶夫, 稲葉宣雄: 肺, その構造. 上巻; 1957及び下巻; 1958 (医学書院) 54) Otis, A. B., Fenn, W. O., and Rahn, H.: Mechanics of breathing in man, *J. Appl. Physiol.* **2**, 529, 1950 55) 恩地裕: 麻酔の反省 (南江堂) 1955 56) Perters, J. R. and Van Slyke, D. D.: Quantitative Clinical Chemistry, Vol.11, Methods. (Williams & Wilkins Co, Baltimore): 1932 57) Pappenheimer, J. R., et al.: Standardization of definitions and symbols in respiratory physiology, *Federation Proc.* **9**, 602, 1950 58) Roughton, F. J. W., Darling, R. C. and Root, W. S.: Factors affecting the determination of oxygen capacity, content and pressure in human arterial blood, *Am. J. Physiol.* **142**, 208, 1944 59) Riley, R. L., Proemmel, D. D. and Franke, R. E.: Direct method for determination of O_2 and CO_2 tensions in blood, *J. Biol. Chem.* **161**, 621, 1945 60) Rahn, H., Otis, A. B., Chadwick, L. F., and Fenn, W. O.: The pressure-volume diagram of the lung and thorax, *Am. J. Physiol.* **146**, 161, 1946 61) Riley, R. L., Lilienthal, J. L., Jr., Proemmel, D. D. and Frank, R. E.: On the determination of the physiologically effective pressures of O_2 and CO_2 in alveolar air, *Am. J. Physiol.* **147**, 191, 1946 62) Riley, R. L., Himmelstein, A., Motley, H. L., Weiner, H. M. and Cournand, A.: Studies of the pulmonary circulation at rest and during exercise in normal individuals and in patients with chronic pulmonary disease, *Am. J. Physiol.* **152**, 372, 1948 63) Riley, R. L., Cournand, A.: "Idial." alveolar air and the analysis of ventilation-perfusion relationships in the lung, *J. Appl. Physiol.* **1**, 825, 1949 64) Riley, R. L. and Cournand, A.: Analysis of factors affecting partial pressures of O_2 and CO_2 in gas and blood of lung: Theory, *J. Appl. Physiol.* **4**: 77, 1951 65) Riley, R. L., Cournand, A. and Donald, K. W.: Analysis of factors affecting partial pressures of O_2 and blood of lung: Methods, *J. Appl. Physiol.* **4**: 102, 1951 66) Sendroy, J. Jr., Dillon, R. T. and Van Slyke, D. D.: Studies of gas and electrolyte equilibria in blood, *J. Biol. Chem.* **105**, 597, 1934 67) Scholander, P. F.: Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples, *J. Biol. Chem.* **167**, 235, 1947 68) Singer, R. B. and Hastings, B.: Improved clinical method for estimation of disturbances of acid-base balance of human blood, *Medicine*, **27**, 223, 1948 69) 笹本浩: 肺循環, 総合医学, **9**, 524, 1952 70) Stead, W. W., Southeray, P. H.: Physiologic Studies following thoracic surgery; I. Immediate effects of thoracoplasty, *J. thorac. Surg.* **23**, 453, 1952 71) Stead, W. W.: Physiologic studies following thoracic surgery. II. Immediate effects of upper lobectomy combined with a five-ribe thoracoplasty: *J. thorac. Surg.* **25**, 194, 1953 72) 笹本浩, 梅田博道: 肺機能検査法(2)残気量の測定, 呼吸と循環, **1**, 287, 1953 73) 笹本浩, 岡村輝彦: 肺機能検査法(4)低濃度酸素吸入試験と運動負荷試験, 呼吸と循環, **1**, 287, 1953 74) 笹本浩, 長嶺敦夫: Roughton-Scholander 法による血中 O_2 分圧及び CO_2 分圧の測定について, 呼吸と循環, **1**, 293, 1953 75) Stroud, R. C. and Conn, H. L., Jr.: Pulmonary vascular effects of moderate and severe hypoxia in the dog, *Am. J. Physiol.* **179**, 119, 1954 76) 笹本浩, 伊賀六一: 呼吸系機能検査に関する最近の趨勢, 特に肺胞作用を中心として, 診療 **8**, 1, 12, 1955 77) Shepard, R. H., Riley, R. L., et al.: The maximal diffusion capacity of the lung in chronic obstructive disease of the air way, *Am. Rev. Tuberc.* **71**, 249, 1955 78) 佐川弥之助, 日下芳郎, 栗林弘栄, 井原晋, 牛島哲, 中村健, 岩下弘一, 横山崇, 鹿島栄造: 肺結核外科に於ける心肺機能, 特に心肺機能面からする考察, 呼吸と循環, **4**, 119, 1956 79) 佐川弥之助, 井原晋, 栗林弘栄, 中村健, 横山崇, 平野政夫, 大橋啓吾, 加藤幹夫: 手術適応なる観点から見た両側性重症肺結核患者の心肺機能, 結進 **16**, 1956 80) 佐川弥之助: 肺結核外科に於ける心肺性危機に関する臨床的並びに実験的研究, 肺 **14**, 110, 1957 81) 武田義章: 空洞性肺結核に対する外科的侵襲に関する考察, 臨床の日本 **10**, 657, 1942 82) 高橋雅俊, 早田義博: 肺臓置量の簡易測定法, 胸部外科, **3**, 203, 1950 83) 近石登, 栗林弘栄: 肺結核外科に於ける一新肺機能検査法, 京大結研紀要, **1**, 1, 1953 84) 田多井吉之助, 山田進弘: 最近の肺機能の研究, 医学のあゆみ, **16**, 239, 1953 85) 牛島哲: 肺循環の研究, 肺結核患者に於ける肺血行力学的諸値及びこれに及ぼす肺結核外科的療法の影響, 結進: **18**, 218, 1957 86) Van Slyke, D. D. and Neill, J. M.:

Determination of gases in blood and other solutions by vacuum extraction and manometric measurement, *J. Biol. Chem.* **61**, 523, 1924

87) Van Slyke, D. D. and Sendroy, J., Jr.: Line charts for graphic calculations by Henderson-Hasselbalch equation and for calculating plasma CO_2 content from whole blood content, *J. Biol. Chem.* **79**, 781, 1928 88) Warring, F. C.: Ventilatory function: Experiences with a simple practical procedure for its evaluation in patients with pulmonary tuberculosis, *Am. Rev. Tuberc.* **51**, 432, 1945

89) Warring, F. C.: Simple test of ventilatory function for use in the sanatorium or clinic, *Am. Rev. Tuberc.* **60**, 149, 1949 90) Wood, E. H.: Normal oxygen saturation of arterial blood during inhalation of air and oxygen, *J. Appl. Physiol.* **1**, 567, 1949 91) Wilson, R. H., Ebert, R. V., Barden, C. W., Pearson, R. T. Jonson, R. S., Falk, A. and Dempsey, m. E.: The determinations of blood flow through nonventilated portions of the normal and diseased lung, *Am. Rev. Tuberc.* **68**, 177, 1953