

# 肺結核患者に於ける炭酸ガス蓄積に関する 病態生理学的研究

〔第Ⅲ篇〕 肺結核患者に於ける呼吸中枢の炭酸ガス  
に対する感受性に就いて

京都大学結核研究所外科療法部（主任 教授 長石忠三）

田 中 晋（旧姓 井原 晋）

（受付昭和33年9月20日）

（本論文の要旨は第20回日本循環器学会総会及び第3回日本麻酔学会総会に於いて発表した。）

## 目 次

緒 言

第1章 非麻酔時に於ける呼吸中枢  
の炭酸ガス感受性

第1節 検査対象及び検査方法

第2節 検査成績

第3節 小 括

第2章 麻酔時に於ける呼吸中枢の  
炭酸ガス感受性

第1節 検査対象及び検査方法

第2節 検査成績

第3節 小 括

第3章 綜括並びに考按

結 論

全篇綜括並びに結論

参考文献

## 緒 言

従来、呼吸循環面に及ぼす炭酸ガス蓄積の反応、特に呼吸中枢の感受性に関しては数多くの研究がある。しかしながら、それ等の多くは動物に於ける実験的研究又は健常者、慢性肺気腫或いは心疾患等に関するものが多く、肺結核に就いて行われたものは少ないようである。

著者は昭和28年春以降、炭酸ガス蓄積時に於ける病態生理の研究に従事して来たが、肺結核患者に於いては一般に、炭酸ガス負荷による分時換気量、有効肺泡換気量の増加が、健常者に比べて幾分少ないように見受けられ、この点、肺結核患者に於いては呼吸中枢の炭酸ガス感受性なる問題が関与しているように思われた。

その中、非麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性に関しては、慢性肺気腫患者に行つた Alexander<sup>2)</sup>等の方法によつて、肺結核患者に就いて検討した。

麻酔時に於ける検討も、麻酔学の急激な進歩

発展に伴い、極めて多くなり、全身麻酔時には呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性が低下することが知られている。しかしながら、全身麻酔時にそれが如何程低下するかを数量的に示し、これについて詳細に検討したものはない。

そこで著者は麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性、特にその低下度を、換気機能面からする独自の方法により測定し、麻酔時に於ける炭酸ガス蓄積症状の発現閾について検討し得たので、以下それ等の成績について述べる。

## 第1章 非麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性

### 第1節 検査対象並びに検査方法

検査対象は京都大学結核研究所に入所中の肺結核患者23例（22～45才、男子17例、女子6例）で主として外科療法施行前のものである。

検査方法は次の通りである。即ち、被検者に2.9～3.3%（以下3%と称す）の低濃度炭酸ガ

スを20~30分間吸入せしめ、吸入の前後に夫々呼気と動脈血とを採取し、可及的に成績の再現性をはかる意味で、引続き4.6~5.5%（以下5%と称す）の高濃度炭酸ガス（ともに大気混合炭酸ガス）を吸入せしめて、同様20~30分後に呼気及び動脈血を採取し、後述の諸検査を施行した。

試料の採取、ガス分析、諸種数値の測定及び算定方法は第2篇に於けると同様である。検査事項は第2篇に於ける場合と略々同様であるが、肺機能に及ぼす炭酸ガスの影響を示すものとして、体表面積当りの分時有効肺胞換気量及び有効肺胞換気量を2倍にするに必要な水素イオン濃度を選び、動脈血中の炭酸ガス分圧及び動脈血々漿水素イオン濃度等の変化と比較した。

第2節 検査成績

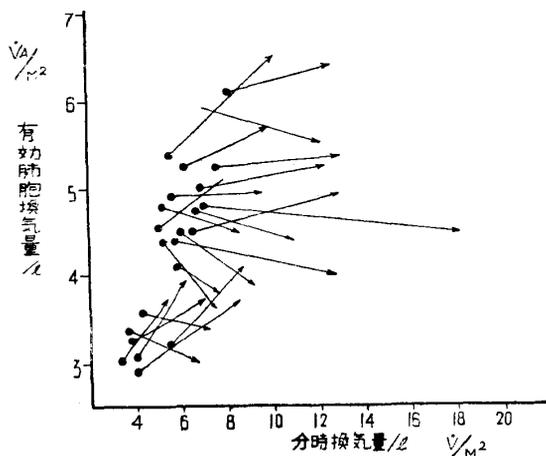
分時換気量は3%及び5%の炭酸ガス負荷により、夫々平均43%及び120%の増加を示し、5%の場合に、より著明に増加した。この様に全例に著明な増加のみられることは当然のことである。

体表面積当りの有効肺胞換気量は、夫々平均34%及び74%の増加を示すが、分時換気量の増加に比べて有効肺胞換気量の増加は少なく、それ等の中に著明な相関はみられない(第1図)。

尚、症例群別による有意の差も認め難く、その変動には個体差が強いように見受けられる。

動脈血 pH の変化は、3%炭酸ガス負荷の場合

第1図 有効肺胞換気量と分時換気量との関係



第1表 CO<sub>2</sub>吸入前後に於ける動脈血諸値の変動

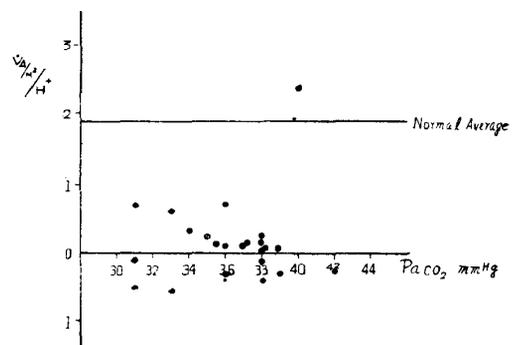
症例	肺能力	吸入ガス	PHs	(H <sup>+</sup> ) <sub>a</sub>	Pa CO <sub>2</sub>	Sa O <sub>2</sub>
No. 33 40 ↑	58%	Room air	7.43 <sub>9</sub>	36.4	41	93.9
		3% CO <sub>2</sub>	7.41 <sub>2</sub>	38.7	42	88.1
		4.5% CO <sub>2</sub>	7.40 <sub>1</sub>	39.8	43	91.4
No. 34 45 ↓	48%	Room air	7.39 <sub>2</sub>	40.5	41	92.1
		3.1% CO <sub>2</sub>	7.38 <sub>7</sub>	41.0	41	90.2
		5.0% CO <sub>2</sub>	7.37 <sub>8</sub>	41.9	45	95.6
No. 35 24 ↑	79%	Room air	7.42 <sub>0</sub>	38.0	41	94.2
		3.1% CO <sub>2</sub>	7.40 <sub>2</sub>	39.6	43	92.1
		5.0% CO <sub>2</sub>	7.37 <sub>7</sub>	42.0	46	92.5
No. 36 27 ♀	80%	Room air	7.40 <sub>7</sub>	39.2	42	90.0
		2.9% CO <sub>2</sub>	7.38 <sub>5</sub>	41.2	46	93.1
		5.5% CO <sub>2</sub>	7.38 <sub>1</sub>	41.6	50	93.0
No. 37 28 ↑	70%	Room air	7.38 <sub>0</sub>	41.7	43 <sub>0</sub>	93.4
		3.3% CO <sub>2</sub>	7.37 <sub>7</sub>	42.1	45	96.8
		5.0% CO <sub>2</sub>	7.36 <sub>5</sub>	43.2	47	98.5
No. 38 32 ↑	78%	Room air	7.43 <sub>1</sub>	37.2	38	98.0
		3.1% CO <sub>2</sub>	7.41 <sub>0</sub>	38.9	41	96.8
		4.7% CO <sub>2</sub>	7.40 <sub>1</sub>	39.8	43	99.1
No. 39 26 ↑	85%	Room air	7.45 <sub>9</sub>	34.8	35	91.5
		3% CO <sub>2</sub>	7.43 <sub>9</sub>	36.5	37	94.2
		5.5% CO <sub>2</sub>	7.43 <sub>1</sub>	37.0	40	99.2
No. 40 37 ↑	89%	Room air	7.48 <sub>6</sub>	32.7	37	92.8
		3.2% CO <sub>2</sub>	7.46 <sub>7</sub>	34.2	39	90.2
		5.0% CO <sub>2</sub>	7.45 <sub>2</sub>	35.2	47	96.0
No. 41 34 ↑	92%	Room air	7.43 <sub>1</sub>	37.1	37	90.0
		2.9% CO <sub>2</sub>	7.41 <sub>4</sub>	38.5	44	96.2
		5.4% CO <sub>2</sub>	7.39 <sub>2</sub>	40.4	49	94.9
No. 42 34 ↑	50%	Room air	7.40 <sub>0</sub>	39.8	42	91.1
		3.0% CO <sub>2</sub>	7.38 <sub>9</sub>	40.8	43	93.9
		4.5% CO <sub>2</sub>	7.38 <sub>0</sub>	41.7	48	90.7

合には平均0.02, 5%の場合には平均0.029の低下がみられた(第1表)。これを水素イオン濃度に換算すると、夫々平均1.86及び2.56(×10<sup>-7</sup>mol/l)の増加となる。

動脈血炭酸ガス分圧の変化は3%、及び5%炭酸ガス負荷で夫々平均3.5mmHg、及び4.7mmHgの増加を示し、分時換気量とは或程度有意の相関々係を有するが、有効肺胞換気量との間には相関はみられなかつた。

又、水素イオン濃度に対する有効肺胞換気量の比を求めると、数例に於いては却つて負の値を得たが、-0.5~2.4l/min, 平均0.2l/minの僅かの増加で、これと炭酸ガス分圧との関係をみると第2図の如く VA/M<sup>2</sup>/H<sup>+</sup> は大部分のも

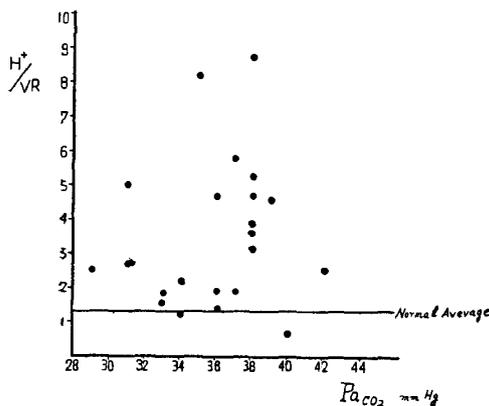
第2図 指標 VA/M<sup>2</sup>/H<sup>+</sup> の動脈血炭酸ガス分圧に対する関係



のが正常値以下の値を示し、それ等の間に著明な相関はみられない。

又、有効肺胞換気量を2倍にする必要な水素イオン濃度 ( $H^+/VR$ ) に就いてみると、半数以上が正常値以上の値を示し、それと動脈血炭酸ガス分圧との間にも相関が認められない(第3図)。

第3図 指標  $H^+/VR$  の動脈血  $CO_2$  分圧に対する関係



### 第3節 小 括

炭酸ガス蓄積時に於ける、呼吸中枢に対する炭酸ガスの直接刺激の結果として現われる一回換気量又は分時換気量の増加は、生体の防禦作用と考えて差支えないものであるが、これが健常者では、分時換気量の増加による Bohr の呼吸死腔の増加と相対的なものであることは Campbell<sup>11)</sup> 等によつて指摘されている処である。このことは健常者では有効肺胞換気量も亦、相対的に増加することを示すものであるが、著者の得た症例群の有効肺胞換気量の増加率に於いては以上の相関は認められない。

即ち、分時換気量の増加は、真の呼吸機能の一つと考えられる有効肺胞換気量の増加を意味せず、単に見掛けの増加に過ぎぬものと思われる。

呼吸感受性の一指標とした ( $VA/M^2/H^+$ ) 即ち、動脈血中の水素イオン濃度の増加に対する分時換気量の増加をみると、Alexander の成績では健常者では  $0.8 \sim 3.8$ , 平均  $1.81/min$  で著者の成績では  $0.21/min$  と非常に低い値をとり、Alexander に於ける慢性肺気腫の値に近い値を示している。

又、他の一指標とした有効肺胞換気量を2倍にするに必要な動脈血水素イオン濃度 ( $H^+/VR$ ) では Alexander の正常値  $0.5 \sim 2.9$ , 平均  $1.3 \times 10^{-7} mol/l$  であり、肺結核患者に於ける著者の成績  $4.06 \times 10^{-7} mol/l$  は、Alexander の健常者と慢性肺気腫患者との中間の値をとっている。

以上の二つにより肺結核患者では健常者に比べて、炭酸ガス蓄積による有効肺胞換気量の増加率が少なく、炭酸ガスに対する呼吸中枢の感受性に於いて健常者に比べて低下しているといふ得る。而も亦、非麻酔下では、感受性の上にも相当個体差が強いように思われる。

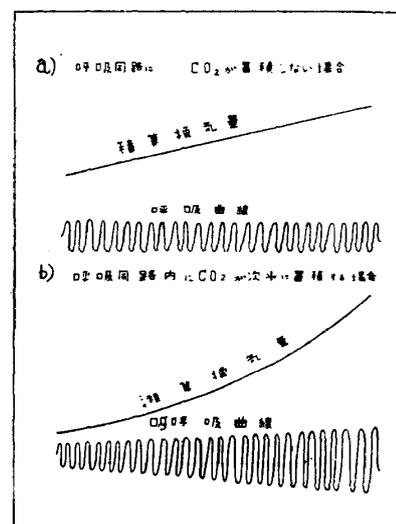
## 第2章 麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性とその低下度

### 第1節 検査対象並びに検査方法

検査対象は、肺結核患者10例、肺疾患を伴わない患者10例、計20例(17~62才の男子13例、女子7例)ですべて外科的療法を必要とした者である。同一患者について非麻酔時及び麻酔時に測定した。

検査方法: Collins 社製呼吸計には分時最大換気量測定用のカイモが附属している。これによつて積算換気量の変動を連続的に記録することが出来る。炭酸ガス蓄積を伴わぬ正常呼吸時には、呼吸計に描記される積算換気量は通常直線的にあらわれる。又、呼吸回路内から炭酸

第4図 Collins 社型呼吸計に描記される積算換気量



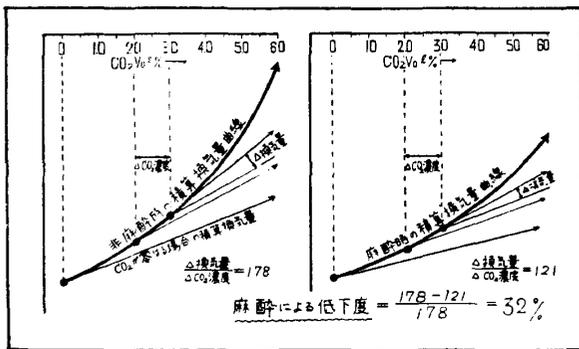
ガス吸収剤を取り除くことにより回路内の炭酸ガスを次第に蓄積せしめると、これに伴って一回換気量が増加し、積算換気量は第4図のような曲線を示す。

そこで縦軸に積算換気量を、横軸に炭酸ガス濃度を表わして描いた曲線について  $\frac{\Delta \text{換気量}}{\Delta \text{CO}_2 \text{濃度}}$  を計算すると、 $\frac{\Delta \text{換気量}}{\Delta \text{CO}_2 \text{濃度}}$  は呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性の鋭敏度を表わす指標となることが判る。

著者は以上の測定を Heidbrink 社製閉鎖循環式麻酔器により、その呼吸囊の代りに Collins 社製呼吸計を接続して行つた。

麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性の低下度は、第5図のようにして算定した。

第5図 積算換気量曲線の解析による呼吸中枢のCO<sub>2</sub>受性の低下度の測定法



又、呼吸回路内に於ける炭酸ガスの最高濃度は 6 vol% 程度に止め、麻酔時には手術開始の直前及びⅢ期2相の麻酔深度において測定し、一回換気量、呼吸数、脈搏数及び血圧等のようないわゆる炭酸ガス蓄積症状に関係ある検査項目についても併せ検討した。

### 第2節 検査成績

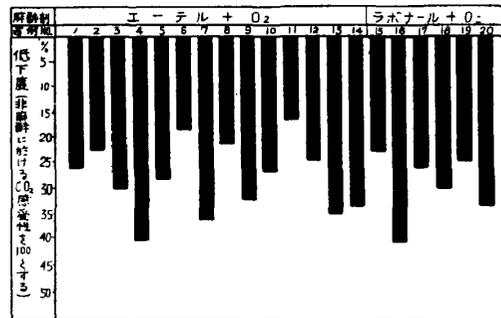
呼吸回路内の炭酸ガス濃度を次第に増加せしめる場合には、積算換気量は第5図の通りになる。即ち、炭酸ガス濃度が増加しても、6 vol% 以下である場合には、 $\frac{\Delta \text{換気量}}{\Delta \text{CO}_2 \text{濃度}}$  は被検者毎に略々一定しており、吸入された炭酸ガス濃度及び一回換気量等のような被検者の生理的条件によつては影響されず、麻酔によつてのみ低下する。

麻酔時における  $\frac{\Delta \text{換気量}}{\Delta \text{CO}_2 \text{濃度}}$  は第2表のように非麻酔時のそれに比べて最高42%、最低18%、

第2表 麻酔時に於ける呼吸中枢のCO<sub>2</sub>感受性の低下度

症例番号	疾患名	性	年齢	換気量		低下度 %
				非麻酔時	麻酔時	
No. 1	乳癌	女	56	165	122	26
No. 2	胃癌	男	59	177	136	23
No. 3	直腸癌	女	60	146	102	30
No. 4	急性肺炎	男	17	192	113	41
No. 5	乳癌	女	52	138	99	28
No. 6	胆石症	男	36	189	153	19
No. 7	胃癌	男	57	174	111	36
No. 8	肺結核	男	24	160	125	22
No. 9	肺結核	男	28	178	121	32
No. 10	肺結核	女	33	159	116	27
No. 11	肺結核	男	42	135	111	18
No. 12	肺結核	女	25	162	122	25
No. 13	肺結核	男	30	173	112	35
No. 14	肺結核	男	34	140	92	34
No. 15	胃癌	男	62	165	127	23
No. 16	胃潰瘍	男	44	184	107	42
No. 17	乳癌	女	49	155	115	26
No. 18	肺結核	女	29	141	99	30
No. 19	肺結核	男	47	132	99	25
No. 20	肺結核	男	34	176	107	39

第6図 麻酔時に於ける呼吸中枢のCO<sub>2</sub>感受性の低下度



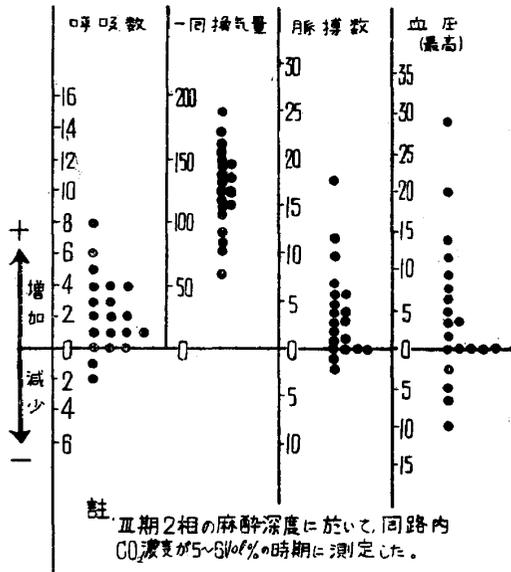
平均29%低下する。非麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性の鋭敏度を 100 として麻酔時に於けるその低下度を示すと、第6図のようになる。又、第6図でも明らかなように、エーテルとペントサール麻酔との間には著明な差違は認められない。

麻酔による炭酸ガスの感受性の低下度自体は、被検者の性、年齢及び肺疾患の有無等のような身体的条件によつては左右されず麻酔深度の如何によつてのみ変動する。

次に、一回換気量の増加、頻脈、多呼吸及び血圧の上昇等のようないわゆる炭酸ガス蓄積症状に就いて麻酔時に検討すると、第7図の通りになる。

即ち、Ⅲ期2相の麻酔深度で呼吸回路内に

第7図 麻酔時に於ける所謂 CO<sub>2</sub> 蓄積症状についての検討



5 vol% 程度の炭酸ガスを蓄積せしめても、頻脈、多呼吸及び血圧の上昇等は招来されず、一回換気量の増加のみが認められる。

### 第3節 小 括

肺結核を含む、各種外科手術の対象患者について全身麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性を、独自の方法で検査し、2, 3の興味ある成績が得られた。以下それ等の点に就いて述べる。

第3表 呼気の CO<sub>2</sub> 含量と換気量の増加との関係 (Haldane)

吸気の CO <sub>2</sub> vol%	換気量の増加%	肺胞内の CO <sub>2</sub> vol%
0.04	0	5.6
2.02	50	5.6
3.07	126	5.5
6.02	756	6.6

第4表 吸気の CO<sub>2</sub> 含量と換気量の増加との関係 (著者)

吸気の CO <sub>2</sub> vol%	換気量の増加%	動脈血の CO <sub>2</sub> 分圧
0.04	0	41 mmHg
1.0	39	
2.0	82	
3.0	125	41
4.0	166	
5.0	218	43
6.0	452	48

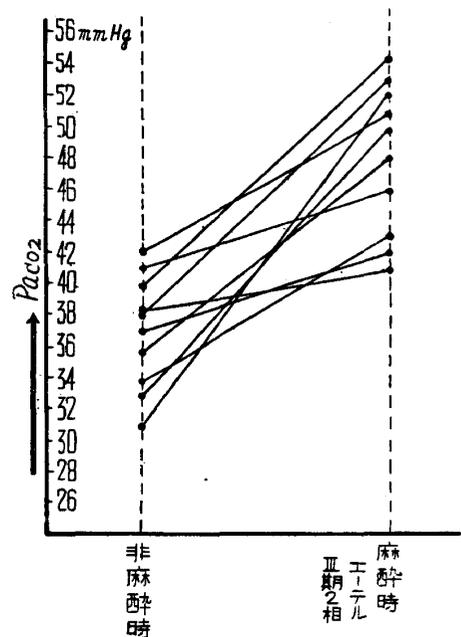
健常者に於ける吸気の炭酸ガス含量と肺換気との関係は、Haldane<sup>27)</sup> によれば第3表の通りであるが、著者の実験方法によれば、この関係を更に詳細且つ極めて容易に知ることが出来、その実験結果は第4表の通りである。

Haldaneの多くの実験結果から考察すると、肺胞内の炭酸ガス含量が 0.2vol% となり、動脈血の炭酸ガス分圧が 1.5mmHg 増加すると、肺換気量は2倍になることが判る。この数値は著者の実験方法によつても辛うじて測定可能な程微小なものであり、正常時に於ける呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性が如何に鋭敏であるかが判ると思う。呼吸中枢の炭酸ガス感受性がこのように鋭敏であるからこそ、吸気中の炭酸ガス濃度が増加しても、呼吸反射によつて直ちに肺換気が増加して、肺胞内の炭酸ガス含量や動脈血の炭酸ガス分圧が恒常に保持されるものと理解される。

しかしながら、麻酔時に於いては呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性が著しく低下する結果、動脈血の炭酸ガス分圧が増加しても正常時にみられるような呼吸反射は起り難い。

著者等が気管内エーテル麻酔下の患者に就いて仰臥位で非開胸下に動脈血を採取し、その炭酸ガス分圧を測定した結果は第8図の通りであ

第8図 麻酔時及び非麻酔時に於ける動脈血 CO<sub>2</sub> 分圧の変動



り、非麻酔時に比べると 12mmHg も高くなっている。

Beecher<sup>6)</sup> 等もこれと略々同様の実験を11例に試み、肺胞内に於ける炭酸ガス含量の平均 2.0 vol% の増加やその分圧の上昇がみられることを報告しているが、これ等の症例では、動脈血の炭酸ガス分圧が上昇しても肺換気量の増加はみられなかつたと述べている。

著者の今回の実験方法は、以上の関係を詳細、且つ容易に知る方法として、著者の協同研究者中村が考案したものである。

本法によれば吸気中の炭酸ガス濃度を漸増せしめる場合に於ける換気量の増加状態を連続的に記録し得るから種々の炭酸ガス濃度に於ける呼吸中枢の感受性の変動を詳細に知ることが出来る。従つて、非麻酔時と麻酔時とにこれを行うことにより、麻酔による呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性の低下度を算定することが可能である。

著者の実験結果からすると、呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性は、吸入された炭酸ガスの濃度が 6 vol% 以下の場合には、炭酸ガスの濃度や一回換気量の如何によつて左右されずに個々の被検者について略々一定であつて、麻酔時にのみ著しく低下するものようである。麻酔によるその低下度は、被検者の性、年齢及び肺疾患の有無等のような身体的条件や、エーテル、ペントタール等のような麻酔剤の種類の種類によつては殆んど影響されずに、麻酔深度の如何によつて変動するものようである。

著者等によつて明らかにされた以上の事実は、呼吸中枢のもつ炭酸ガスに対する感受性の特性として極めて興味深いものと思われる。又、著者の実験結果からすると、日常の臨床的な全身麻酔時においては、呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性は非麻酔時に比べて大凡30%内外低下していると看做して差支えない。

### 第3章 総括並びに考按

呼吸中枢は周知のように第Ⅳ脳室の基底部に於いて正中線の両側にみられ、かなりの広い区域を占めている。中脳を切断しても、すべての

知覚神経を切断しても、尙、呼吸が持続することから、呼吸中枢は自動的に働くものと考えられている。

呼吸中枢にみられるこのような週期的な自働興奮は、循環血液の化学的性状の変動により調節されるもので、血液の炭酸ガス過剰や酸素欠乏により呼吸中枢は刺戟せられ呼吸は促進されるが、その作用は前者に著しい。何れの場合でも血液の水素イオン濃度の増加がみられることから、呼吸中枢の刺戟となるものは血液の水素イオンであろうといわれている。

以上のように、呼吸運動は血液の水素イオンの刺戟による呼吸中枢の自働興奮によつて営まれるものであるが、肺に分布する迷走神経、頸動脈洞に分布する洞神経、喉頭粘膜に分布する上喉頭神経等のような知覚神経や、皮膚、粘膜等に分布する知覚神経等によつても反射的に神経性の調節を受けるものである。

しかしながら、安静時における正常呼吸は主として呼吸中枢の週期的な自働興奮に基き規則正しく営まれるものであり、呼吸中枢の週期的自働興奮は血液の正常な性状により保持されるものである。

かかる場合、恒常に保持されるべきものは、血液の水素イオン濃度であるが、水素イオン濃度それ自体は血液の炭酸ガス含量乃至分圧により最も著明な影響を受けるものであり、従つて呼吸調節に當つて主役を演ずるものは、血液の炭酸ガス含量乃至分圧であると考えられる。

それであるから、もしも健常者の肺胞内の炭酸ガスが 5.6vol%、即ち、その分圧が 40mm Hg あるとするならば、呼吸中枢は動脈血の炭酸ガス分圧を常に 40mmHg 内外に保つように呼吸を調節する機能を持つわけである。

大気中の炭酸ガスは、通常 0.03~0.04vol% であり、これが増加する場合には呼吸中枢は刺戟せられ、その結果として呼吸が促進される。

この場合、吸気中の炭酸ガス濃度が 4vol% 以下の場合には、呼吸の深さを増すことにより、肺換気量が增大するが、肺胞内の空気や動脈血の炭酸ガス分圧は正常に比べて殆んど変化しない。

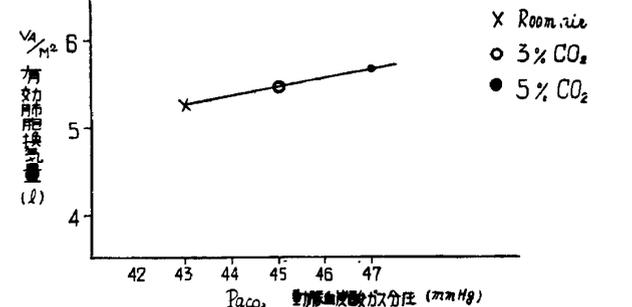
又、呼気中の炭酸ガス濃度が更に増加して5~6 vol% に達すると、呼吸の深さのみならず、呼吸数も亦増加して呼吸困難の徴を示し、肺換気が不完全となつて肺胞内の空気や動脈血の炭酸ガス分圧が僅かながら増加する。

さらに吸気中の炭酸ガス濃度が 10 vol% に達する場合には、呼吸困難は益々著明となり痙攣が起る。次いで呼吸中枢麻痺を招来して呼吸は弱く緩徐となり、遂には全く停止するに至る。即ち、“CO<sub>2</sub> narcosis” の状態に陥るのである。

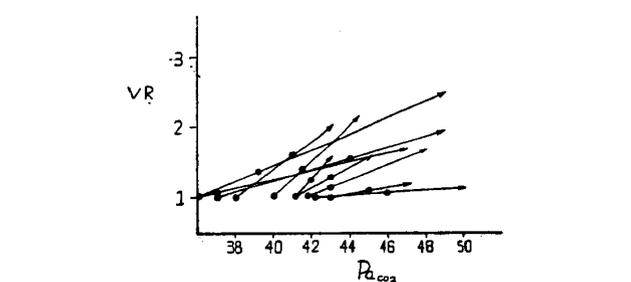
以上のことは著者の第2章での実験方法によつて検討すれば、第4表の如く詳細且つ容易に知ることが出来る。

著者の肺結核患者についての非麻酔時に於ける成績で、肺結核患者は健常者より炭酸ガスに対する感受性が低下していることが判るが、このことは既述の様に肺結核患者では死腔率が健常者の最高値に近いが、もしくはそれ以上にあり、かつ血液 pH が幾分酸性側にかたむいてゐるため、以上の諸条件による馴れのためとも考えられる。

又、高低両レベルの炭酸ガス負荷における個々の成績では第9図の様に、負荷前後の3点が

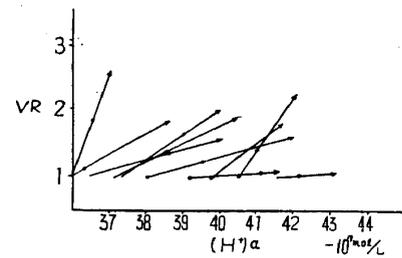


第9図 負荷前及び両レベル CO<sub>2</sub> 負荷後における有効肺換気量の変化



第10図 動脈血 CO<sub>2</sub> 分圧に対する有効肺換気率の変化

第11図 動脈血水素イオン濃度に対する有効肺換気率の変化



略々直線上にあるが、有効肺換気率を総体的にみると、炭酸ガス分圧、水素イオン濃度等と相関をもたぬことにより、(第10, 第11図)、非麻酔時の炭酸ガス感受性には個体差があるように思える。又、以上のことには、非麻酔下では、高濃度の炭酸ガスを長期間吸入することによる頭痛、酸素饑餓感或いは不安感等知覚面、精神面に於ける個体差も幾分介入しているかとも考えられる。

次に、麻酔時に於ける著者の成績からして、炭酸ガスに対する感受性は非麻酔時に比べて大凡30%内外低下していると看做し得るが、著者はこれまでの実験結果から次のような理論的考察を試みた。

もしも呼吸中枢の感受性が正常時のそれに比べて1/3だけ低下したと仮定すると、正常時と同程度の呼吸反射を要求する場合には、呼吸中枢が正常時に比べて1/3だけ強く刺戟されなければならぬことになる。のみならず、刺戟となる炭酸ガスを力学的エネルギーでもつて表わすとするならば、それは圧力でもつて表わさねばならない。麻酔時には呼吸中枢の感受性が低下し、呼吸反射が抑制されて炭酸ガスの蓄積が招来されるが、呼吸状態が恒常的である以上、血中の炭酸ガス分圧が中枢の感受性の低下度に相当するだけ高まつたところで、非麻酔時と同程度の呼吸反射が招来されているものと考えられる。従つて、麻酔による呼吸中枢の感受性の低下度が大凡30%内外だとすると、補助呼吸を行わずに麻酔を行う場合には、動脈血の炭酸ガス分圧が非麻酔時のそれに比べて大凡30%内外上昇しなければならぬことになる。

著者や Beecher<sup>6)</sup> 等の測定値からみると、

麻酔時に於ける動脈血の炭酸ガス分圧は、非麻酔時に比べて平均 12mmHg 乃至 14.6mmHg 上昇しており、これは非麻酔時の値の大凡30%に相当している。この点からみても著者の実験結果が以上の理論的考察の結果と見事に一致しているのが判るのである。

以上のように、麻酔時には呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性は著明に低下しているのであるから、非麻酔時に比べていわゆる炭酸ガス蓄積症状も亦著明に減退しているものと考えられる。

この点について著者が検討した結果は、予期の通りであり、麻酔時に於ける炭酸ガス蓄積症状として確實にとらえ得るものは一回換気量の増加のみである。従つて、麻酔時に於ける呼吸囊の動きが大きくて、肺換気が一見充分に行われているかのように見える場合こそ、炭酸ガス蓄積が疑われるのである。

呼吸数や脈搏数の増加、血圧の上昇等は一般に炭酸ガス蓄積の初期症状として知られているが、麻酔下の手術に於いては、これ等の諸症状は炭酸ガスの蓄積症状としてよりも、寧ろ手術的侵襲自体が原因となつて現われることが多いように思われる。

著者の成績からすると、麻酔時には 5 vol% 程度の炭酸ガスの蓄積があつても、臨床症状からこれを察知することは困難である。

それであるから、麻酔時には調節呼吸や補助呼吸により、患者を正常時に比べて過換気の状態に置くことが必要だと考えられる。これによつて初めて炭酸ガス蓄積を十分に防止し得るものと考えられる。

## 結 論

肺結核患者に於ける呼吸中枢の炭酸ガスに対する感受性を調べる目的で非麻酔時に於いては高低両レベルの炭酸ガスの負荷吸入法により、又麻酔時に於いては呼吸中枢の炭酸ガス感受性の低下度を独自の方法によつて測定し、麻酔時に於ける炭酸ガス蓄積症状の発現閾に就いて検討し、以下の結論を得た。

1) 肺結核患者の非麻酔時に於ける呼吸中枢

の炭酸ガスに対する感受性は健常者に比べて低下していると考えられる。

2) 又、以上の感受性には相当個体差があると考えられる。

3) 麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性は、吸入ガスの濃度や一回換気量等のような被検者のもつ生理学的条件の如何によつては左右されない。

4) 麻酔による呼吸中枢の炭酸ガス感受性の低下度は、被検者の性、年齢及び肺疾患の有無等のような身体的条件やエーテル、ペントタール等のような麻酔剤の種類の如何によつては殆んど左右されず、麻酔深度の如何により変動するものの如くである。

5) 実地臨床的な全身麻酔時に於ける呼吸中枢の感受性の低下度は、大体30%内外と看做して差支えない。

6) 全身麻酔時には呼吸中枢の感受性の低下に伴い、炭酸ガス蓄積症状が現われぬことが多く、補助呼吸を加えぬ限り、動脈血の炭酸ガス分圧は非麻酔時のそれに比べて大凡30%内外上昇することが多い。

7) 炭酸ガス蓄積の初期症状としては従来頻脈、多呼吸及び血圧の上昇等が挙げられているが、これ等の諸症状は麻酔時に於ける炭酸ガス蓄積の診断法としては殆んど役立つぬように思われる。

8) 以上のことより麻酔時には補助呼吸乃至調節呼吸により患者を常に過換気の状態におくことが望ましいと考えられる。

## 全篇総括並びに結論

呼吸・循環面に於いて、何等かの機能障碍の存在が推察される各種外科療法施行前後に於ける肺結核患者に対し、急性炭酸ガス蓄積が如何なる影響を及ぼすかという問題は、興味ある事項であるのみならず、全身麻酔並びに、胸部外科手術の術前、術中及び術後に於ける実地臨床上の観点からみても尙、詳細検討する必要がある。

そこで著者は以上の諸点に関する検索を試みるべく、肺結核患者に炭酸ガスの負荷を行い、

安静時並びに負荷後に於ける肺血流面並びに換気呼吸面の変動を観察し、併せて呼吸中枢の炭酸ガス蓄積に対する感受性の諸問題を1, 2の方法で検討した。

それ等の諸成績を総括すると以下の通りである。

まず非麻酔時に於ける肺結核患者の安静時の肺循環面及び換気面に於ける諸検査の成績を、健常者のそれと比較すると次のとおりである。

循環面に於いては、動脈血酸素含量、肺楔状圧等に就いては健常者との間に差違を認めないが、肺結核患者では Ht 値、動脈血酸素飽和度の若干の低下、心搏出量及び心指数等の若干の増加、肺動脈圧の軽度の上昇及び全肺血管抵抗の増加等が認められた。

又、換気面に於いては、分時換気量は諸家の正常値の高値に相当し、分時酸素消費量は若干の増加を示し、これを症例群別にみると胸成術後群に最も高く、肺及び肋膜に変化の強い症例群に最も低値を示した。

又、真の呼吸機能と看做される有効肺胞換気量は、比較的病巣の軽度のもの以外は減少し、死腔率では Rieley<sup>18)</sup> 等の示した健常者の限界を少々越えている。

以上の換気機能面の諸成績を綜括的にみる時、安静時に於ける換気機能面では健常者に比して特に著明な差違は認められないといひ得よう。

以上、肺結核患者には軽度のヒポキシアが存在するが、赤血球の増加、増大によつては代償されずに寧ろ肺血流量の増加により代償されているものようである。

佐川<sup>6)</sup>等は肺結核に於いては肺血行力学的諸値に変動を与えるものは、肺内病巣自体よりも寧ろ結核によつて二次的に惹起された肺実質、肋膜及び胸廓等の変形、例えば肋膜胼胝、脊椎の側彎及び縦隔の転位その他であると述べているが、著者の成績からみても賛意を表わし得ると考える。

次に炭酸ガスの負荷後に於ける変化に就いて述べる。

換気面では分時換気量の変化が安静時の値の

約3倍に増加し、安静時に於ける成績とは全く反対に胸成術後群に最も少なく、肺及び肋膜の病変の少々多い症例群に最も高い増加率がみられた。

呼吸死腔量では各症例群ともに増加がみられ、特に胸成術後群に於いて最も強い増加がみられた。

又、負荷後に於ける死腔率では、胸成術後群以外は各症例群ともに減少がみられた。このことは、肋膜切除が換気機能面に非効率的に働くためと考えられる。即ち、炭酸ガスの呼吸中枢刺激により、呼吸運動が増大し、そのため肺結核患者では、安静呼吸では肺、肋膜等の病変のため不全換気を行つていた部分が改善されたためと考えられる。

以上のことから、各種肺切除術後に於ける肺の過膨張及び膨張不全による合併症を防止するための肋骨切除の施行に当つては、換気機能の検査その他諸種の検査を施行した上で、必要な最少限度の肋骨切除量に留めるべきであると考えられる。

血液ガスの変化では、動脈血炭酸ガス含量は当然のことではあるが、全症例に著明な増加をみており、安静時に於ける混合静脈血のそれと同様か、又はそれを少々上廻る値を示している。

又、負荷後に於ける血管抵抗は、全肺血管抵抗、肺小動脈抵抗及び全末梢血管抵抗のすべてに減少がみられた。

心搏出量に於ける変化では、全症例に安静時の平均 2.2倍に及ぶ著明な増加をみた。このこと及び、心搏数の増加が僅か10%の増加率を示すに過ぎぬことより、心搏出量の増加は、換気面に於ける分時換気量の増加が、呼吸数の増加によらず、一回換気量の増加によるのと同様、一回搏出量の増加によるものであることが判り、このことは興味あることと考えられる。

又、これ等の所見からみて、肺高血圧の発生に関しては、炭酸ガス蓄積は低酸素症と同様主要な因子であると思われる。

循環各部の血圧の中、肺動脈圧の変化をみると、安静時に比し、大部分の症例に軽度の上昇がみられた。

著者の症例では肺及び胸郭の伸展性の障害があり、肺血管床の減少を来たしていると考え得る症例が多く、それ等の条件の上に著明な心搏出量の増加をみたもので、このことが血管抵抗の低下にも拘らず、肺動脈圧の上昇を来たした原因と考えられる。

又、以上の所見と、肺静脈圧の反映と考えられる楔状圧の上昇及び肺小動脈の拡張等の所見とを併せ考えると、肺鬱血の存在が予測される。

又、このことは長石教授<sup>45)</sup>等の5vol%の炭酸ガスを負荷吸入させた健常家兎の肺に就いての顕微鏡的生体観察に於ける成績と一致する。

第5表 肺水腫の成因に関する因子 (Altschule)

I) 漏出増加

A 肺毛細管圧上昇

1. 心不全, 僧帽弁疾患
2. 肺静脈収縮
  - a. 神経性
  - b. ヒスタミン?

B. 肺内漏過域の増加

1. 血液量増加
2. 血液分布の変化
  - a. 末梢血管収縮

C. 肺血流量増加

D. 血漿蛋白の減少

E. 肺毛細管透過性の亢進

1. 酸素欠乏
2. ヒスタミン?
3. 毒素

F. 気管支痙攣

II) 再吸収の減少

A. リンパ機能の障害

1. 体循環における静脈圧の上昇
2. リンパ管系の炎症性血栓症

III) 全細胞外液量の増加

さて、第5表に示した Altschule<sup>3)</sup> の肺水腫の成因に関する諸条件をみると、著者の得た以上の成績は、これ等諸因子の多数を満足させていることが判るのである。これに肺の予備血管床が何等かの形で代償不全に陥ると、臨床的には肺水腫等の重大な合併症に進展するものと考えられる。

協同研究者佐川<sup>62)</sup>、横山<sup>78)</sup>及び岩田<sup>85)</sup>等の肺水腫の発生病理に関する成績をみると、単に炭酸ガスの蓄積という単一の因子のみでは肺水腫の発生はみられないが、それに低酸素状態が併存すると肺水腫の発生が多いようである。

又、低酸素症の場合には血中炭酸ガスの増加がみられるが、炭酸ガス蓄積症の場合にも血管透過性の亢進、肺淋巴流量の増加等による気道の分泌亢進等のための換気障害が幾多でも存在すれば、低酸素症を誘発する危険を内蔵している。

即ち、以上のことから“肺結核患者に於ける炭酸ガス蓄積の状態は常に肺水腫発生への準備状態である”といえ得ると考えられる。

又、術前、術後に於ける炭酸ガス蓄積の呼吸循環面に及ぼす諸成績を綜括すると、炭酸ガスの負荷吸入検査は心肺機能の予備能力乃至潜在性の変化を追求する意味から、一種の変形された運動負荷試験と看做し得ると考えられる。

次に負荷後に於ける著者の成績に於いて、換気面等で2, 3の項に健常者に比し稍々異つた成績があり、個々の症例によつても亦差違がある如く推察されたので、炭酸ガス蓄積の呼吸中枢に対する感受性につき検討し、次のような成績を得た。

即ち、肺結核患者に於ける非麻酔時の呼吸中枢に対する炭酸ガスの感受性は、健常者に比べて幾分低下しており、又、各症例により個体差があるようである。

次に、麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性及びその低下度に関しては、著者等の創案した独自の方法によつて測定した。その結果は次の通りである。

即ち、麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性及びその低下度は、被検者の生理学的条件、肺疾患の有無のような身体的条件及び麻酔剤の種類等の如何によつては殆んど左右されず、唯麻酔深度の如何によつてのみ変動するものようであり、その低下度は非麻酔時の略々30%内外と看做し得る。

又、実地臨床上、全身麻酔時には従来炭酸ガス蓄積の初期症状として考えられている頻脈、多呼吸及び血圧の上昇等の炭酸ガス蓄積症状は必発ではなく、又、現われても軽微であり見逃されることが多い。

以上のことからして、全身麻酔時の麻酔管理には補助呼吸によつて、患者を常に過換気の状態

態におくことが望ましいと考える。

以上、著者は肺結核患者に於ける炭酸ガス蓄積の呼吸及び循環面に及ぼす影響並びに呼吸中枢の感受性に就いて検討し、以下の結論を得た。

## 結 論

1) 肺結核患者の安静時に於ける呼吸及び循環面に於ける成績を、健常者に就いての諸家の成績と比較し、以下の成績を得た。

換気面に於いては分時換気量は諸家の成績の正常範囲内にあるが、真の呼吸機能の一つと看做される有効肺泡換気量は比較的病巣の軽度のもの以外では減少し、死腔率では健常者の限界より稍々増加している。

又、肺循環面に於いては、Ht 値及び動脈血酸素飽和度の低下、心搏出量及び心指数の若干の増加、及び全肺血管抵抗の増加等が認められたが、動脈血酸素含量、肺動脈圧及び楔状圧等は諸家の成績の正常範囲にあつた。

又、肺結核患者に於いて呼吸及び循環面に変化を与えるものは肺内病巣自体よりも寧ろ二次的に惹起された肋膜併胝及び胸廓の変形等による諸変化であると考えられる。

2) 炭酸ガス負荷の前後に於ける変化に就いてみると次のようである。

イ) 換気面では分時換気量に於いて安静時の3倍に及ぶ著明な増加がみられ、症例群別には安静時に於ける成績とは反対に、胸成術後群に最も少なく、肺及び肋膜の病変の多い症例群に最も高い増加率がみられた。

呼吸死腔量では各症例群ともに増加をみ、その中、胸成術後群に最も強い増加がみられたが、死腔率では胸成術後群以外は減少をみた。

ロ) 以上のことは、肺結核患者では安静呼吸時には不全換気を行っていた部分が、負荷後呼吸運動の増大により改善されたためと考えられる。又、以上のことからして各種肺切除術後の肺の過膨張及び膨張不全による合併症を防止するための補足胸成術の施行に当つては、必要且つ、最少限度の肋骨切除量に留めるべきであると考えられる。

ハ) 肺循環面に於ける諸変化の中、心搏出量は全症例に安静時の平均2.2倍に及ぶ著明な増加がみられたが、これは分時換気量の増加が呼吸数の増加によらず、一回換気量の増加によると同様、心搏数の増加によらず、一回心搏量の増加によるものである。

ニ) 血管抵抗についてみると、負荷後、全肺血管抵抗、全小動脈抵抗及び全末梢血管抵抗のすべてに減少がみられた。しかも尙、負荷後に於ける肺動脈圧に軽度の上昇がみられることは、前述の心搏出量の著明な増加が血管抵抗の減少を上廻つた結果で、このことは肺動脈高血圧症ひいては肺性心への一大因子となるものと考えられる。

ホ) 負荷後に於いては肺動脈圧及び楔状圧は大部分の症例に於いて、安静時に比し僅かに上昇するが、左房圧を反映していると考えられる楔状圧の上昇をみることは、肺鬱血なる観点からして注目すべきことと考えられる。

ヘ) 以上の諸変化は急性肺水腫の成因に関する諸因子の多数を満足させ、肺結核患者に於ける炭酸ガス蓄積の状態は肺水腫発生への準備状態である感が深い。

ト) 又、以上の諸変化をみると、肺結核患者に対する炭酸ガスの負荷試験は、心肺機能の予備能力乃至潜在性の諸変化を追求する意味から、一種の変形された運動負荷試験と看做し得る。

3) 炭酸ガスの呼吸中枢に対する感受性についてみると次のようである。

即ち、非麻酔時に於ける肺結核患者の呼吸中枢の炭酸ガス感受性は、健常者に比べて幾分低下しており、又、各症例により個体差がある如くである。

又、麻酔時に於ける感受性並びにその低下度に関しては、著者独自の方法によつて測定したが、呼吸中枢の感受性は被検者の麻酔深度によつてのみ左右され、その低下度は、非麻酔時の略々30%内外と看做し得る。

又、以上の成績から実地臨床上全身麻酔時の麻酔管理には、補助呼吸により患者を常に過換気の状態におくことが望ましいと考えられる。

4) 以上、肺結核患者に於ける炭酸ガス蓄積は、換気及び肺循環面に大きな変動を与え、しかも麻酔時に於いては、炭酸ガス蓄積の感受性が著明に減少していることが判明した。

以上の諸成績からすると、肺結核外科的療法の観点からみる時、特に重大なことであり、術中に於ける麻酔管理及び術後管理を充分に行い、炭酸ガス蓄積を可及的に除去する必要があると考えられる。

### 参 考 文 献

- 1) Adriani, J.: Techniques and Procedures of Anesthesia. First Edition, Third printing, 1950, Springfield, Illinois, U.S.A.
- 2) Alexander J. K., West J. R. Wood J. A. and Richards D. W. : Analysis of the respiratory response to carbon dioxide inhalation in varying clinical states of hypercapnia, anoxia and acid-base derangement., J. Clin. Invest. 34; 511, 1955.
- 3) Altschule Mark, D. : Acute Pulmonary Edema. Grune and Stratton (1954)
- 4) Aviado D. M. et al : Effects of anoxia on pressure, resistance and blood volume ( $P_{32}$ ) of pulmonary vessels. Am. J. Physiol. 169 ; 460, 1952.
- 5) Beecher, H. K. et al : Acidosis during thoracic surgery J. Thoracic. Surg. 19 ; 50, 1950.
- 6) Beecher, H. K. et al : Effect of position and artificial ventilation on the excretion of carbon dioxide during thoracic surgery. : J. Thoracic. Surg. 22 ; 135, 1951.
- 7) Bijörk, V. O.: Cardiopulmonary Function Test. J. Thoracic, Surg. 22 : 67-85, 1953.
- 8) Bijörk, V. O. et al: The arterial oxygen and carbon dioxide tension during the postoperative period in cases of pulmonary resections and thoracoplasties. J. Thoracic, Surg. 27 ; 5, 1954.
- 9) Borden, C. W., Ebert, R. V., Wilson, R. H., & Wells, H. S. : Pulmonary hypertension in heart disease. New. Eng. J. Med., 242 ; 529-534, 1950
- 10) Brown, E. B., et al : Anesthesiology. 14 ; 226, 1953
- 11) Campbell, J. M. et al : J. Physiol. 46 ; 301, 1913
- 12) Chambers, A. H., et al: The respiratory to anoxemia of the normal unanesthetized dog and their causes. Am. J. Physiol. 148 ; 392, 1947
- 13) Comroe, J. H. : Methods in Medical Research II. The Year Book Publishers, Inc., Chicago 1950
- 14) Cournand, A. et al : Circulation 2 ; 641, 1950
- 15) Cullen, S. C. et al : Problems on ventilation. Anesthesiology, 15 ; 416, 1954
- 16) Dexter, L. : Studies of the pulmonary circulation in man at rest. J. Clin. Invest., 29 ; 602-613, 1950
- 17) Dobkin, A. B. et al : Anesthesia with controlled positive and negative pressure respiration., Brit. J. Anesthesia., 28 ; 296, 1956
- 18) Donald, K. W., Renzetti, A., Riley, R. L. & Coarnand, A. : Analysis of factors affecting partial pressures of oxygen and carbon dioxide in gas and blood of lungs. Results, J. Appl. physiol., 4 ; 497-525, 1952
- 19) Dripps, R. D., & Comroe, J. H. : The respiratory and circulatory responses of normal man to inhalation of 7.6 and 10.4% carbon dioxide. Am. J. Physiol., 149 ; 43, 1947
- 20) Dripps, R. D.: The immediate decrease in blood pressure seen at the conclusion of cyclopropane anesthesia : "Cyclopropane Shock." Anesthesiology, 8 ; 15, 1947
- 21) Dripps, R. D. and Comroe: Am. J. Physiol. : 149 ; 43, 1947 より引用
- 22) Dripps, R. D. et al. : The effect of narcotics on the balance between central and chemoreceptor control of respiration, J. Pharm. Exp. Therap. 77 ; 290, 1948.
- 23) Etslen, B. E.: Respiratory acidosis dur-

- ing intrathoracic surgery. *J. Thoracic Surg.*, 25 ; 286, 1953.
- 24) Fishmann, A. P., Mc Clement, J., Himmelstein, A. & Cournand, A.: Effects of acute anoxia on the circulation respiration in patients with chronic pulmonary disease studied during the "Steady State". *J. Clin. Invest.*, 31; 770-781, 1952
- 25) Fowler et al : Further studies of the relationships between pulmonary arterial resistance and pulmonary artery pressure. *Am. Heart. J.*, 46 ; 1, 1953
- 26) Gensler, E. A. and Strieber, J. W.: Progressive changes in pulmonary function after pneumonectomy. *J. Thoracic Surg.* 22 ; 1, 1951
- 27) Haldene, J. S. & Priestley, J. G. : Respiration. (Oxford). 1935
- 28) 服部孝雄 : 外科に於ける肺循環の研究 . 日胸外会誌, 3巻 ; 8号, 1955.
- 29) Hervey, R. W., & Cournad, A.: Influence of chronic pulmonary disease on the heart and circulation. : *Am. J. Med.*, 10 ; 719-738, 1951
- 30) Hellens, H. K.: The pulmonary capillary pressure in man. *J. Clin. Invest.*, 27 ; 540-541, 1948
- 31) Helrich, M. et al : Influence of opiates on the respiratory response of man to thiopental., *Anesthesiol.*, 17 ; 459, 1956
- 32) Hicham, J. B., & 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 ; 10-23, 1948
- 33) Hueck, : *Thoraxchirurgie.*, B. 2, H. 5, 1955
- 34) 石井正文 : 気管内麻酔に関する研究. 急性炭酸ガス蓄積及び急性酸素欠乏について, 日胸外会誌, 2巻 ; 5号, 1954.
- 35) 岩田明 : 肺水分量を中心とした, 急性肺水腫の実験的研究, 未発表.
- 36) 日下芳郎 : 肺機能から見た虚脱療法と肺切除療法. 日外誌, 55巻 ; 5号, 1954.
- 37) 楠田博他 : 胸部外科に於ける肺循環の研究, 安静時及び anoxia 負荷時における肺循環諸量. *日本臨床結核*, 12巻 ; 8号, 1953.
- 38) Lilijstrand : Regulation of pulmonary arterial blood pressure. *Arch. Int. Med.*, No. 2. 1948
- 39) Lundy, J. S. : Carbon dioxide and acid in general anesthesia. *J. Am. Med. As.*, 85 ; 1153, 1925
- 40) Maloney, J. V. et al : A method for the management of pulmonary ventilation during anesthesia : *Anesthesiol.*, 13 ; 571, 1952
- 41) Miller, F. A. et al: Respiratory acidosis its relationships to cardiac function and other physiologic mechanism: *Surg.*, 32 ; 171, 1952
- 42) 三瀬淳一 : 肺循環, 所謂肺毛細管圧を中心として. 診療, 7巻 ; 5, 6号, 1954.
- 43) 三宅有 : 肺結核に於ける肺切除術の呼吸循環機能に関する研究. 日胸外会誌, 3巻 ; 6, 7号, 1955.
- 44) Motley, H. L., Cournand, A., et al: The influence of short periods of induced acute anoxia upon pulmonary artery pressure in man. *Am. J. Physiol.*, 150 ; 315-320, 1947
- 45) 長石忠三他 : 肺結核患者に於ける急性肺水腫の発来起転に関する臨床的並びに実験的研究. 肺, 4巻 ; 3号, 1957. 4647
- 46) Nagaishi T. & Nakamura T. et al: Pulmonary circulation with reference to venous admixture *Jap. J. Tuberculosis.* 4 ; 23, 1956
- 47) Nathan, W., Shock and Mayo, H. Soley: *Am. J. Physiol.*, 130 ; 777, 1940
- 48) 恩地裕 : 麻酔の反省. 南江堂, 1955.
- 49) Patrick, R. T. et al: Respiratory studies during anesthesia with ether and with pentothal sodium. *Anesthesiol.*, 13 ; 253, 1952
- 50) Peters L. R. and Van Slyke, D. D. : *Quantitative Clinical Chemistry. Vol. II. (Methods)*
- 51) Rahn, H., Otis, A. B. : Continuous an-

- alysis of alveolar gas composition during work, hyperpnea, hypercapnea and anoxia, : J. Appl. Physiol., 1 ; 717, 1948
- 52) Riley, R. L., et al : Studies of the pulmonary circulation at rest and during exercise in normal individuals and in patients with chronic pulmonary disease. Am. Heart. J., 152 ; 372-382, 1948
- 53) Riley, R. L., & Cournand, A. : "Ideal" alveolar air and the analysis of ventilation-perfusion relationships in the lungs. J. Appl. Physiol., 1 ; 821-847, 1949
- 54) Riley, R. L., & Courneud, A. ; Analysis of factors affecting partial pressures of oxygen and carbon dioxide in gas and blood of lungs. Theory, J. Appl. Physiol., 4 ; 77-101, 1951
- 55) Riley, R. L., Cournand, A., Donald, K. W. : Analysis of affecting partial pressures of oxygen and carbon dioxide in gas and blood of lungs. Methods, J. Appl. Physiol., 4 ; 102-120, 1951
- 56) 佐川弥之助他 : 肺結核に於ける肺循環. 結核研究の進歩, 9号 (昭30.4.)
- 57) 佐川弥之助 : \*呼吸と循環, 4巻 ; 1号 (昭31) \*肺結核外科に於ける心肺機能, 特に心肺機能面からする研究.
- 58) 佐川弥之助 : \*結核研究の進歩, 16号 (昭31.) 10) \*手術適応なる観点からみた両側性重症肺結核患者の心肺機能.
- 59) 佐川弥之助他 : 肺循環の研究. 日本循環器会誌, 20 ; 213, 1954.
- 60) 佐川弥之助他 : 手術適応なる観点からみた両側性重症肺結核患者の換気機能. 呼吸器診療, 12巻 ; 6号, 29, 1957.
- 61) 佐川弥之助 : 肺結核外科に於ける急性肺水腫の発生病理. 日胸外会誌, 6巻 ; 5号, 1958.
- 62) 佐川弥之助他 : 麻酔時に於ける呼吸中枢の炭酸ガス感受性とその低下度. 麻酔, 6巻 ; 114, 1957.
- 63) 笹本浩 : 肺循環, 総合医学, 9巻 ; 10号 (昭27)
- 64) 笹本浩, 細野清士 : 新しい心機能検査法 (I) 最新医学, 8巻 ; 3号 (昭28)
- 65) 笹本浩 : 診断と治療, 41巻 ; 6号 (昭28)
- 66) 笹本浩 : 呼吸と循環, 1巻 ; 1号 (昭28)
- 67) Scherrer : Thoraxchir., B. 2, H. 5, 1955
- 68) 関英郎 : 吸入麻酔に於ける炭酸ガス蓄積とそれの肺循環に及ぼす影響. 日胸外会誌, 4巻 ; 5号 (昭31)
- 69) Singer, R. B. and Hasting, a. B. : An improved clinical method for the estimation of disturbance of the acid-base balance of human blood., Medicine, 27 ; 1948
- 70) Spencer, et al : J. Pharmacol and Exp. Therap., 98 ; 366, 1950
- 71) Stacy, R. W., & Hitchcock, F. A. : Dynamic effects of low oxygen tension of inspired air on alveolar gas tension. J. Appl. Physiol., 5 ; 665-671, 1953
- 72) 正路倫之助, 吉村寿人 : pH の理論と測定法 (昭15)
- 73) Tayler, F. H.: Disturbances in acid base balance during ether anesthesia. J. Thoracic. Surg., 20 ; 289, 1950
- 74) 友松達弥 : 診療, 6巻 ; 225, 1953.
- 75) 上野一晴 : 生理学南山堂1944.
- 76) Williams, C. W. et al: Interrelationships of cardiac output, blood pressure, and peripheral resistance during normal respiration in normotensive and hypertensive individuals. Circulation, 4; 278-287, 1951
- 77) West, J. R., Baldwin, E. F., Cournand, A. Richards, D. W. : Physiopathologic aspects, & of chronic pulmonary emphysema. Am. J. Med., 10 ; 481-496, 1951
- 78) 横山崇 : 肺結核外科に於ける急性肺水腫の発来起転, 未発表.