

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Ⅱ篇〕 肺換気面に及ぼす炭酸ガス蓄積の影響

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2回日本麻酔学会総会及び第17回近畿結核外科研究会に於いて発表した。)

目 次

緒 言
第1章 検査対象, 検査方法及び検査項目
第1節 検査対象
第2節 検査方法及び検査項目
第2章 検査成績
第1節 肺活量(%肺活量)
第2節 呼吸商及び酸素消費量
第1項 呼吸商
第2項 酸素消費量
第3節 換気量
第1項 分時換気量
第2項 一回換気量
第4節 動脈血酸素飽和度

第5節 動脈血炭酸ガス含量, pH 及び 動脈血炭酸ガス分圧
第1項 動脈血炭酸ガス含量
第2項 動脈血々漿 pH
第3項 動脈血炭酸ガス分圧
第4項 動脈血炭酸ガス分圧と分時換 気量との関係
第6節 肺活量からみたる各値の変動
第7節 死腔率及び有効肺胞換気量
第1項 呼吸死腔量
第2項 有効肺胞換気量の変動
第3章 総括並びに考按
結 論

緒 言

肺結核に対する外科的療法は、麻酔学、特に気管内麻酔法の進歩、及び化学療法剤の発見等によつて著明な発展をみたが、その根底には幾多の病態生理学に関する研究の成果に負うところ大なるものがある。

又、肺結核患者の術前、術後に於ける心肺機能検査は治療方針、手術々式の決定、及び予後の判定に重要な因子となつてゐる。

心肺機能面に於ける予備能力、乃至潜在性の機能低下等を知る手段として在来から種々の負荷試験が行われており、その方法に運動負荷、低酸素負荷、炭酸ガスの負荷及び諸種の薬物負荷等が挙げられるが、その中、炭酸ガス蓄積に関する研究、特に換気面に於ける研究が多数見受けられる。

著者は肺結核患者に於ける炭酸ガス蓄積の心肺機能に及ぼす影響に就いて検索し、その中、第1篇では主として、その血流面に及ぼす影響に就いて論じた。尙、第1篇では肺胞気に近い炭酸ガスの負荷を行つたが、一部に“steady state”への過度期を想像される症例があつたので、今回は3%前後の炭酸ガスの負荷を行つた。又、血流面では炭酸ガス蓄積の影響が、肺の伸展性にも関与していると考え得る所見がある如く見受けられたので、ここでは炭酸ガス蓄積の換気機能面に及ぼす影響、特に病巣別、手術別、及び肺の呼吸能力別に検討した結果を述べる。

第1章 検査対象及び検査方法

第1節 検査対象

検査対象は京都大学結核研究所入所患者で21

才から47才までの肺結核患者32例（男子28例，女子4例）である。その中，肺結核外科的療法の施行前のものは21例であり，その内訳は両側胸成術1例を含む一側5～7本肋骨切除の胸成術後のもの5例，及び一側肺全切除術2例を含む切除療法後のもの6例等であり，切除療法を施行したものは共に肋骨切除を施行しない症例である。

尚，術後の症例はすべて手術施行後3～6カ月を経過したものである。

第2節 検査方法及び検査項目

安静時に於ける呼気分析及び血液ガス分析は第1篇で述べた通りであり，3分間の呼気ガス採取の直後に，上膊動脈より直接注射針にて動脈血を採取し，ガス分析を行い，一部は直ちに3000回転，10分間遠心分離により血漿を分離氷室に貯蔵した。負荷ガスは2.8～3.4 vol%，平均3.02 vol %の炭酸ガスをを用い，酸素は可及的大気中の酸素に等しくし，20.5～21 vol %の間とした。負荷吸入法は第1篇と同じく10～15

分間炭酸ガスの吸入を行い，その末期に3分間呼気を採取し，その直後，安静時の場合と同様動脈血を採取し，安静時と負荷後に於ける呼気ガス，血液ガス，含量及びpH等の変動を比較した。

血漿pHの測定は38°Cの恒温槽内に於いて，吉村型バルブタイプガラス電極を用い⁷²⁾，電位差計メーター（零位方式）により測定した。

血中酸素分圧及び炭酸ガス分圧の測定法としては，Van Slyke-Neill 氏法によつて求めた血中酸素及び炭酸ガス含量と血漿pHとの両者によつて，ヘモグロビン解離曲線から，酸素分圧を求め，さらに Singer-Hasting のノモグラムから炭酸ガス分圧を求めた。

呼吸死腔の測定法は Bohr の公式に基いたが，これに Riley 及び Cournand 等⁵⁴⁾の考へ方を採用し，肺胞気ガス濃度を動脈血中のガス分圧に等しいと仮定し，総て拡散速度の速い炭酸ガスを以て次の式を満足させた。

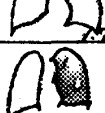
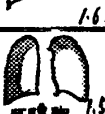
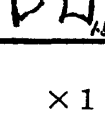
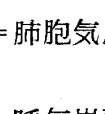
$$\text{呼吸死腔 (cc)} = \frac{X - E}{X - I}$$

第1表 第I群（術前群のうち病巣範囲の比較的小なるもの）

と線像 体表面積	症例 年令 性別	VC % VC	負荷 CO ₂ Vol %	呼 吸 数	RQ	O ₂ 消費 cc/min/m ²	分時 換気量 ℓ/min	一回 換気量 cc	O ₂ 飽和度	O ₂ Vol %	CO ₂ Vol %	pH	Pa CO ₂ mmHg	死腔率 %	分時 換気量 ℓ/min	死腔量 cc
	No. 1 26 男	3500 86 %	3.0	20 24	0.86 0.84	162 193	6.75 12.21	546 826	87.4	17.15 18.33	4.545 4.916	7.38 7.36	38 40	27 27	4.92 8.91	147 223
	No. 2 47 男	3400 92 %	3.0	19 19	0.88 0.88	137 145	6.61 11.09	540 905	93.8 93.8	16.38 16.36	44.90 47.41	7.41 7.40	36.5 39.0	27 22	4.88 8.65	145 199
	No. 3 40 男	3600 88 %	3.0	16 18	0.86 0.88	165 195	5.26 7.64	607 785	95.6 97.5	16.50 16.83	48.58 50.34	7.40 7.39	40.0 42.0	21 20	4.15 6.11	127 157
	No. 4 29 男	4500 109 %	3.4	17 17	0.87 0.83	163 143	6.80 12.17	640 1146	99.0 99.6	20.68 18.94	43.35 44.71	7.44 7.42	34.5 36.5	24 15	5.16 10.34	153 171
	No. 5 24 男	3400 92 %	3.1	12 16	0.78 0.77	155 155	5.53 7.30	783 783	94.2 92.1	19.08 18.70	47.68 48.67	7.41 7.40	41.0 42.5	35 34	4.66 6.13	274 266
	No. 6 32 男	3100 80 %	3.0	17 18	0.79 0.76	150 160	4.83 7.88	523 805	98.0 97.0	19.10 18.80	44.30 46.60	7.43 7.41	34.0 37.5	28 20	3.71 6.15	146 161
	No. 7 37 男	3700 89 %	3.2	19 20	0.79 0.78	160 161	6.31 8.93	590 755	92.8 90.2	18.73 18.22	46.77 47.13	7.43 7.42	37 39	24 21	4.79 7.05	141 158
	No. 8 28 男	3000 72 %	3.0	19 22	0.81 0.80	152 160	6.84 8.91	663 745	93.4 96.8	19.32 20.04	45.8 47.5	7.38 7.37	38 40.0	29 28	4.85 6.41	192 208
	No. 9 42 男	2400 62 %	2.9	13 15	0.80 0.81	168 172	5.66 12.76	723 1412	92.0 98.1	19.06 20.30	46.20 47.74	7.42 7.41	38 40	29 24	4.02 9.69	209 338

上段—負荷前 中段—負荷後 下段—変化率（以下第4表まで同様）

第2表 第Ⅱ群 (術前群のうち病巣及び肋膜の変化の比較的大なるもの)

レ線像 体表面積	症例 年令 性別	VC %VC	負荷 CO ₂ Vol. %	呼吸 数	RQ	O ₂ 消費 cc/min/m ²	分時 換気量 l/min/m ²	一回 換気量 cc	O ₂ 飽和度	O ₂ Vol %	CO ₂ Vol %	pH	P _a CO ₂ mmHg	死腔率 %	分時有効 肺胞換気量 l/min/m ²	死腔量 cc
a	 No. 10 42 男 1.54	3500 91%	3.1	20 20	0.82 0.82	115 116	5.77 7.38	394 568	96.7 98.9	18.74 19.16	48.76 48.32	7.41 7.40	36 37	30.4 26	4.14 5.96	119 147
	 No. 11 26 男 1.60	3600 85%	3.0	19 24	0.74 0.75	147 156	6.31 10.00	531 733	91.5 94.2	17.41 17.92	43.00 43.50	7.44 7.43	35 37	28 24	4.54 8.36	148 175
	 No. 12 34 男 1.82	3700 92%	2.9	16 16	0.74 0.76	146 156	5.66 9.23	644 1050	90.0 96.2	17.60 20.22	41.4 48.90	7.43 7.41	37 44	44 37	3.17 5.81	283 388
	 No. 13 41 男 1.60	2700 70%	3.1	14 20	0.76 0.72	131 144	4.11 8.37	463 661	93.0 95.0	16.26 16.64	51.71 54.15	7.40 7.39	42 45	30 24	2.87 6.35	138 158
	 No. 14 44 男 1.74	2800 74%	3.0	16 19	0.78 0.78	138 141	3.80 6.70	414 614	95.9 98.5	16.27 15.37	51.15 52.85	7.42 7.41	38 40	41.7 20.0	2.2 5.36	172 122
	 No. 15 27 女 1.62	2400 67%	2.9	16 20	0.76 0.78	130 141	7.28 9.30	706 740	90.0 93.1	14.83 15.50	47.0 50.13	7.40 7.39	42 45	35 34	4.66 6.13	247 251
b	 No. 16 32 男 1.51	1200 35%	3.0	19 24	0.75 0.73	141 166	3.72 7.06	296 444	91.6 97.4	16.88 17.93	52.60 55.30	7.40 7.39	50 52.5	48 37	1.93 4.44	142 164
	 No. 17 40 女 1.40	1500 54%	3.0	18 20	0.79 0.82	126 138	4.60 7.90	340 525	87.5 89.7	16.08 16.44	48.62 49.95	7.37 7.35	48.5 52	37 24	2.90 6.00	125 126
	 No. 18 28 女 1.45	1800 48%	2.8	18 20	0.73 0.76	119 126	3.45 6.10	270 430	86.5 87.5	15.9 16.1	44.70 50.47	7.37 7.36	43.5 48.5	49 31	1.76 4.27	132 133
	 No. 19 40 男 1.48	2200 55%	3.0	17 19	0.90 0.90	145 145	6.40 10.30	557 800	93.0 91.4	17.60 17.66	48.2 49.2	7.38 7.37	40 41	32 38	5.06 7.21	178 304
	 No. 20 45 男 1.60	1800 45%	3.1	12 14	0.88 0.85	165 160	5.18 7.56	691 864	92.1 90.2	17.47 17.13	44.6 44.4	7.39 7.39	41 41	40 31	3.10 5.21	276 269
	 No. 21 29 男 1.52	1920 48%	2.9	28 32	0.73 0.70	171 216	7.64 12.96	415 615	81.3 91.5	17.62 18.65	49.21 55.00	7.36 7.34	48 53	42 29	4.43 9.20	174 178

$$\times 1 \text{ 回換気量(cc) - 装置の死腔(cc)}$$

$$X = \text{肺胞気炭酸ガス分圧 } P_{aCO_2}$$

$$= \text{動脈血炭酸ガス分圧}$$

$$E = \text{呼気炭酸ガス分圧 } P_{E}CO_2$$

$$= (\text{大気} - 47) \times \text{呼気炭酸ガス vol\%}$$

$$I = \text{呼気炭酸ガス分圧 } P_{i}CO_2$$

$$= (\text{大気} - 47) \times \text{呼気炭酸ガス vol\%}$$

$$\text{死腔率} = \frac{\text{呼吸死腔}}{1 \text{ 回換気量}} \times 100$$

$$\text{有効肺胞換気量(l)}$$

$$= \text{分時換気量(l/min/M}^2) \times (1 - \text{死腔率})$$

又、当成績の補正、並びに諸種の計算には著者等が臨床的肺機能検査法の体系化に関連して作成したノモグラムを使用した。

検査項目は呼吸商、酸素消費量、換気量、動脈血中酸素及び炭酸ガス含量、酸素飽和度、動脈血血漿の pH、死腔率及び分時有効肺胞換気量等、並びにそれ等の負荷前後に於ける変動である。

尙、肺の呼吸能力を表はす指標として%肺活量を用いた。そして術前例をレ線像によつて分類し肺病巣の比較的軽度のものを第Ⅰ群、病巣

第3表 第Ⅲ群（胸成術後群）

上線像 体表面積	症例 年令 性別	V.C. %VC	負荷 CO ₂ Vol%	呼吸 数	R.Q.	O ₂ 消費量 cc/min/m ²	分時 換気量 l/min	一回 換気量 cc	O ₂ 飽和度	O ₂ Vol %	CO ₂ Vol %	PH	P _a CO ₂ mmHg	死腔率 %	有効肺肥 換気量 l/m ²	死腔量 CC
 右 1.77	No. 22 26 男	2700 64%	3.0	17 22	0.83 0.80	162 212	7.22 11.80	750 909	91.5 91.5	19.52 19.52	47.39 47.51	7.38 7.37	42 44	31 34	4.98 7.78	232 309
 加 1.80	No. 23 38 男	2100 51%	3.0	18 21	0.96 0.93	136 146	5.30 8.49	530 728	92.9 92.0	20.1 19.9	46.80 50.80	7.36 7.35	44 48	33 36	3.55 5.42	174 262
 左 1.50	No. 24 39 男	2050 55%	3.1	14 17	0.77 0.79	144 166	5.87 9.22	630 814	90.0 95.5	18.42 19.51	48.80 53.00	7.40 7.38	39 42.5	35 38	3.80 5.71	220 309
 両 1.60	No. 25 29 男	1450 36%	3.1	27 32	0.89 0.92	179 179	8.30 12.54	491 627	91.3 95.6	18.82 19.71	45.80 48.00	7.40 7.39	35 38	45 42	4.56 7.23	220 215
 右 1.70	No. 26 28 男	3000 72%	2.9	21 21	0.92 0.95	182 194	6.32 9.81	511 794	91.0 96.0	19.0 20.1	46.40 47.30	7.35 7.32	43 44.5	31 28	4.36 7.06	158 222

第4表 第Ⅳ群（切除術後群）

上線像 体表面積	症例 年令 性別	V.C. %VC	負荷 CO ₂ Vol%	呼吸 数	R.Q.	O ₂ 消費量 cc/min/m ²	分時 換気量 l/min	一回 換気量 cc	O ₂ 飽和度	O ₂ Vol %	CO ₂ Vol %	PH	P _a CO ₂ mmHg	死腔率 %	有効肺肥 換気量 l/m ²	死腔量 CC
 左上切 1.70	No. 27 25 男	2050 68%	3.1	15 16	0.81 0.76	169 194	5.65 8.66	640 920	92.4 91.9	20.83 20.43	47.60 48.55	7.35 7.33	40 44.0	23 16	4.35 7.18	147 147
 右下切 1.56	No. 28 28 女	1700 60%	3.1	17 24	0.84 0.85	162 214	5.86 10.15	538 660	84.6 87.3	16.55 17.08	44.1 49.00	7.36 7.35	45 50	37 39	3.69 6.19	199 257
 左区切 1.50	No. 29 42 男	2000 57%	3.0	12 14	0.72 0.74	138 146	4.25 7.13	531 764	91.4 93.2	17.07 18.00	50.35 51.15	7.40 7.36	45.5 50	31 28	2.95 5.13	164 213
 左上切 1.72	No. 30 21 男	1750 42%	3.1	18 26	0.81 0.83	204 220	6.65 13.02	635 861	91.5 93.6	20.63 21.10	48.20 50.50	7.38 7.37	45 48	44 36	4.39 8.33	279 309
 左全切 1.50	No. 31 33 男	1420 38%	2.9	18 18	0.84 0.83	145 148	5.76 9.40	464 757	87.3 90.0	17.37 18.00	47.62 48.30	7.39 7.38	45 46.5	40 30	3.45 6.54	185 227
 左全切 2.00	No. 32 34 男	2000 50%	3.0	15 16	0.78 0.76	142 147	5.9 8.6	786 1075	91.1 93.9	21.07 21.71	45.10 45.50	7.39 7.38	42 43	31 30	4.07 6.02	243 322

及び肋膜の変化の少々強度のものを第Ⅱ群とし、さらに胸成術後例を第Ⅲ群とし、各種肺切除例を第Ⅳ群としてこれ等の各群に加えその各

々について観察した。

第2章 検査成績

第1節 肺活量（%肺活量）

肺活量の、第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ及びⅣ群等の平均は夫々 3077cc, 2443cc, 1720cc, 及び 1850cc で胸成術後群が最低値を示す。

%肺活量 = $\frac{\text{肺活量実測値}}{\text{肺活量予測値}}$ についてみると、第Ⅰ群は109~62, 平均85.6, 第Ⅱ群は92~35, 平均63.6, 第Ⅲ群は72~36, 平均55.6であり、第Ⅳ群は68~38, 平均52.5で2例の全剔を含む肺切除群が最も低値をとっている。尙%肺活量に関して Scherer⁶⁷⁾ は肺結核に対する各種手術の危険限界値を45とし、さらに Hueck³³⁾ 及び佐川等⁵⁸⁾ は60以上を以て手術の安全圏としている。第Ⅰ及び第Ⅱ群はレ線像よりみると共に肺切除術その他何等かの外科的療法の適応群であり、その中第Ⅰ群及び第Ⅱ群の半数はこれ等の値を満足さすが、第Ⅱ群中 No. 16~No. 21はその限界線上にあり、切除療法に代る何等かの手術々式が考慮されるべき症例である。

第2節 呼吸商及び酸素消費量

第1項 呼吸商

安静時に於ける呼吸商は平均0.81で、すべての症例は0.96~0.72の間にあり、健常者の正常範囲(0.8~0.9)内にある。又、負荷後に於ける変化は全例が0.04以内であり、今回に於ける3 vol% の炭酸ガス10~15分間の吸入負荷では、全症例に負荷の前後に於ける著明な変化がみられず、概ね“steady state”に近い状態が保たれているものと考えられる。

第2項 分時酸素消費量(cc/min/m²)

安静時に於ける体表面積当りの分時酸素消費量の平均は、第Ⅰ群平均 157cc/min/m², 第Ⅱ群 140cc/min/m², 第Ⅲ群 161cc/min/m², 及び第Ⅳ群 160cc/min/m² となつている。負荷後には、夫々、165cc/min/m², 150cc/min/m², 179cc/min/m² 及び 178cc/min/m² となり、症例 No. 4 及び No. 20 に夫々12.5%及び3.1%の減少をみた以外は全例に増加がみられた。その増加率は第Ⅰ群5.1%, 第Ⅱ群7.5%, 第Ⅲ群12.1%及び第Ⅳ群11.0%であり、胸成群、肺切除群重症群及び軽症群の順に増加している。

第3節 換気量

第1項 分時換気量(l/min/m²)

安静時に於ける分時換気量の平均は第Ⅰ群 6.06 l/min/m², 第Ⅱ群 5.33 l/min/m², 第Ⅲ群 6.60 l/min/m² 第Ⅳ群 5.68 l/min/m² である。安静時に於ける健常者の換気量としては Courmand 男 3.6 l/min/m², 女 3.2 l/min/m², 笹本 4.5 l/min/m², 篠井 5.99 l/min/m² 及び Gray 6.87 l/min/m² 等の値がみられ、諸家の報告は一定していない。しかし一般に慢性肺疾患では換気量が増加することが知られている。

負荷後に於いては、全例に著明な増加がみられ、第Ⅰ群、平均 9.87 l/min/m², (増加率62.4%) 第Ⅱ群、平均 8.57 l/min/m², (増加率60.7%) 第Ⅲ群、平均 10.37 l/min/m², (増加率57%) (第Ⅳ群、平均 9.49 l/min/m², (増加率67%) とそれぞれ著明な増加率を示している。

尙、負荷後に於ける呼吸数の変動はすべて44%以内で、全例については平均15.6%の増加率であり、第Ⅰ群(11%) 第Ⅱ群(16%) 第Ⅲ群(17%) 第Ⅳ群(20%) の順に増加がみられる。

第2項 一回換気量(cc)

負荷後に於ける一回換気量の変化は症例 No. 5 及び No. 6 に於いて夫々0.5%という僅かの増加を示した以外はすべて著明に増加し、第Ⅰ群平均46%, 第Ⅱ群平均43%, 第Ⅲ群平均34% 及び第Ⅳ群平均40%の増加率を見た。

即ち、換気面では一回換気量の増加率は術後群に比べ術前群に稍高い増加率がみられるが、呼吸数の増加率との間には著明な相関がみられず、前述の分時換気量の増加も炭酸ガス負荷による一回換気量の増加によるものと考えられる。

第4節 動脈血酸素飽和度

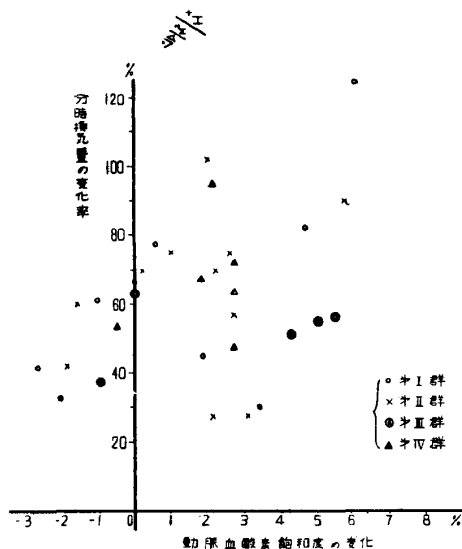
安静時に於ける酸素飽和度は、第Ⅰ群では 82.7~99.0, 平均93.5, 第Ⅱ群では 81.3~96.7, 平均91.0, 第Ⅲ群では 90.0~92.9, 平均91.3, 第Ⅳ群では 84.6~92.4, 平均89.7である。尙、各群とも健常者に比し稍々低値を示している。全

症例中 7 例 (No. 5, 6, 7, 19, 20, 23 及び 25) に於いて 0.5~2.6 平均 1.5 の低下を見た他は全例に増加がみられた。

負荷後に於ける平均値は第Ⅰ群では 95.9 で 0~6.1 平均 2.4 の増加をみ、第Ⅱ群では 93.8 で 0.2~6.2 平均 2.8 の増加をみ、第Ⅲ群では 95.0 で 0~5.5 平均 3.7 の増加をみ、亦第Ⅳ群では 92.1 で 1.8~2.8 平均 2.4 の増加がみられた。

分時換気量の増加率と動脈血酸素飽和度との関係を見ると第 1 図のように第Ⅲ群で僅かに相関々係がみられた以外は凡て有意の相関はみとめられなかつた。

第 1 図 CO₂ 負荷前後に於ける分時換気量の増加率と動脈血酸素飽和度との関係



尚、動脈血酸素含量及び負荷後に於けるその変動は、酸素飽和度及びその変動と畧々同じ傾向を示している。

第 5 節 動脈血炭酸ガス含量, pH 及び動脈炭酸ガス分圧

第 1 項 動脈血炭酸ガス含量 (vol%)

安静時に於ける動脈血炭酸ガス含量は第Ⅰ群では 43.35 vol%~48.58 vol% (平均 45.88 vol%) 第Ⅱ群では 41.40 vol%~52.60 vol% (平均 47.64 vol%) 第Ⅲ群では 45.80 vol%~48.80 vol% (平均 47.04 vol%) 及び第Ⅳ群では 44.10 vol%~50.35 vol% (平均 47.16 vol%) であつて第Ⅱ群が最も高値をとつてい

るが共に健常者の正常範囲内にある。

負荷後に於ける各群の変動をみると、第Ⅰ群では 44.71 vol%~50.34 vol% (平均 47.78 vol%) で、全例に 0.4~2.5 vol%、平均 1.9 vol% の増加がみられた。第Ⅱ群では 43.50~55.30 vol% (平均 50.18 vol%) で 2 例 (No. 10, No. 20) に夫々 0.4, 0.2 vol% の減少がみられた他は 0.5~7.5 vol% (平均 2.54 vol%) の大きな増加をみた。第Ⅲ群では 47.30~53.00 vol% (平均 49.32 vol%) で、全例に 0.1~4.2 vol% (平均 2.28 vol%) の増加がみられた。又第Ⅳ群では 45.50~51.15 vol% (平均 48.83 vol%) で、当然なことながら 0.4~4.9 vol% (平均 1.67 vol%) と全例に増加がみられた。

第 2 項 動脈血血漿 pH

安静時に於ける動脈血血漿 pH は第Ⅰ群は 7.38~7.44 (平均 7.40) 第Ⅱ群は 7.37~7.44 (平均 7.39) 第Ⅲ群は 7.35~7.40 (平均 7.38) 及び第Ⅳ群 7.35~7.40 (平均 7.38) である。

動脈血 pH の諸家の健常者に於ける正常値についての成績をみると Singer, Hastings 等は 7.39±0.03, Alexander 7.42, 笹本 7.36, 篠井 7.39, 服部 7.40 等であり、安静時に於ける著者成績は各群共に健常者の正常範囲にあるか、又は軽度に酸性化している。

負荷後に於ける動脈血血漿 pH は各群共に酸性化しており、第Ⅰ群では 7.36~7.42 (平均 7.39) で全例に 0.01~0.02 (平均 0.01) の酸性化、第Ⅱ群では 7.34~7.43 (平均 7.38) で 0~0.02 (平均 0.01) の酸性化、第Ⅲ群では 7.32~7.39 (平均 7.36) であり 0.01~0.03 (平均 0.016) の酸性化を夫々認めている。又、第Ⅳ群では 7.33~7.38 (平均 7.36) と全例に 0.01~0.04 (平均 0.017) の酸性化がみられ、負荷後には術後群に稍強い酸性化がみられた。尚健常者及び肺気腫患者に 3% 炭酸ガスを負荷した Alexander の成績をみると、血漿は夫々 0.01 及び 0.04 の酸性化をみており、著者の術後例ではそれ等の値の中間値を示している。

第 3 項 動脈血炭酸ガス分圧 (mmHg)

安静時に於ける動脈血炭酸ガス分圧は第Ⅰ群では 34.0~41.0mmHg, (平均 37.4mmHg) 第Ⅱ群 35~50mmHg, (平均 41.7mmHg) 第Ⅲ群 35~44mmHg, (平均 40.6mmHg) であり, 第Ⅳ群では 40~46mmHg, (平均 43.8mmHg) であてそれぞれⅣ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅰ群の順に高い値を示している。

健常者の安静時に於ける動脈血炭酸ガス分圧についての諸家の成績をみると 41.6±2.9mmHg, Singer, Hastiugs 37~46.5mmHg (平均 41.5mmHg) 笹本 41.6 mmHg 及び篠井 41.9 mmHg 等であり, 肺結核患者に於ける著者の成績では, 第Ⅰ及び第Ⅲ群ではその低値を, 第Ⅱ及び第Ⅳ群ではその高値をとっている。

負荷後に於ける変化は, 第Ⅰ群では 36.5~42 mmHg, (平均 39.7 mmHg) であり, 全例に 0.5~3.5mmHg, (平均 2.3 mmHg) の増加がみられ, 第Ⅱ群では 37~52.5 mmHg, (平均 44.7mmHg) であり, 変化のみられなかつた 1 例 (No. 20) を除いて他は凡て 1.0~7.0 mmHg, (平均 3.00mmHg) と増加し, 第Ⅲ群では 38~48mmHg, (平均 43.4 mmHg) と全例に 1.5~4.0mmHg, (平均 2.8mmHg) の増加がみられた。又, 第Ⅳ群では 43~50 mmHg, (平均 47.1mmHg) で, 1.0~5.0mmHg, (平均 3.33mmHg) と各群中最も大きな増加がみられた。

第4項 動脈血炭酸ガス分圧と分時換気量との関係

各群別による動脈血炭酸ガス分圧の変化と, 分時換気量の増加率との関係を見ると, 第Ⅰ群では炭酸ガス分圧が平均 2.3 mmHg の増加に対して, 換気量は 62.4% の増加を見る。又第Ⅱ群では 2.96 mmHg の増加に対し, 60.7% の増加をみ, 第Ⅲ群では 2.8 mmHg の増加に対し, 57% の増加をみ, 又第Ⅳ群では 3.33mmHg の増加に対し, 67% の増加率をみている。これを夫々炭酸ガス分圧 1mmHg の増加に対する換気量の増加率で表わすと, 第Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ群夫々 27.1, 20.8, 20.3, 20.1% となり第Ⅰ群にくらべてⅡ, Ⅲ, Ⅳ群は共に増加率がかなり減少している。

第2図に示すように第2図 分時換気量の増加率と動脈血 CO₂ 分圧の変化との関係
個々に就いてのこれ等の関係をみると, 第Ⅰ群では炭酸ガス分圧の増加は換気量の増加を来たしており, 又, 第Ⅲ, 第Ⅳ群でも或程度平行するが, その傾向は弱く, 第Ⅱ群では相互の明らかな関係はみられない。

第6節 %肺活量よりみたる各値の変動

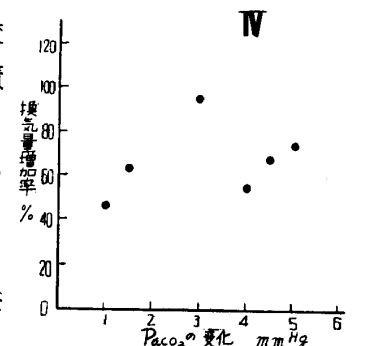
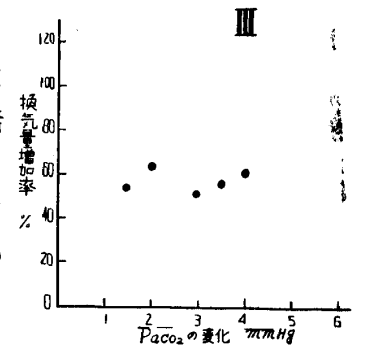
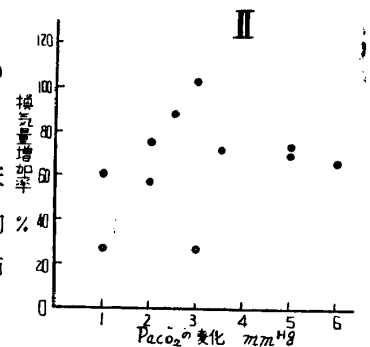
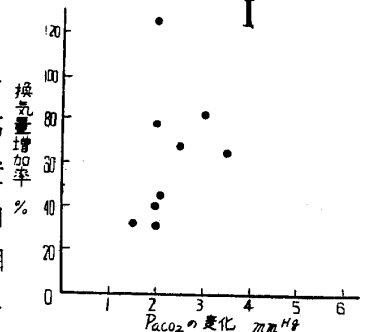
従来から実地臨床上, 肺機能を最も単的に表はす方法として肺活量が用いられているが, 著者も肺換気能力を表はす一指標として肺活量 = $\frac{\text{その実測値}}{\text{その予測値}} \times 100$ で表はした %肺活量を採用した。

今, 第Ⅱ群に於いて %肺活量 60 以上のものを IIa, 60 以下のものを IIb とし, その各々に就いて, 各値を比較してみると, 体表面積当りの分時換気量は, 安静時に於いては IIa, IIb, 夫々平均 5.48, 5.13 l/min/m² であり, その間に著明な差は認められないが, 負

荷後に於けるその増加率をみると, 夫々 59%, 69% となり IIb 群に稍強い増加がみられる。

一回換気量の増加率に就いても同様であり, IIa 群及び IIb 群の平均値は夫々 40%, 46.5% となり, 後者に稍多い増加率がみられる。

次に動脈血酸素飽和度に就いてみると, 安静



時に於いては夫々平均 IIa 92.8, IIb 88.7 となり、後者が相当低値を示している。

負荷後に於ける変化をみると IIa 群では全例に 2.0~6.2 (平均 3.1) の増加をみるが、IIb 群では 2 例 (No. 19, 20) に夫々 1.6, 1.9 の減少をみており、平均 0.9 の増加に過ぎない。このように換気量が増加するにも拘らず、動脈血酸素飽和度の上昇が少ないことは注意すべきことであろう。

又、動脈血炭酸ガス分圧をみると、安静時に於ける IIa, IIb の平均値は夫々 38.3mmHg, 45.1mmHg となり後者に高値がみられるが、負荷後に於ける変化率は夫々平均 3.0mmHg, 2.8mmHg と両者の間に著明な差がみられない。

尙、呼吸数、分時酸素消費量では著明な変化は認められない。

第 7 節 死腔率及び有効肺胞換気量

死腔容積の測定は、真に呼吸に関与していると考えられる肺胞ガス換気を測定するために必要である。有効肺胞換気率の減少は死腔率の増加によつて起るが、死腔量の増加は有効肺血流の減少、及び肺胞膜自体に拡散障害のある場合に起る。又、気管支及び小気管支等の解剖学的変化並びに過換気等の呼吸運動にも影響されることが知られている。

尙、測定方法にも在来からの公式に基づく方法、或いは酸素又は水素呼吸による連続換気法等があるが、著者の目的は炭酸ガス負荷の影響を知ることにあるから、肺胞気炭酸ガス分圧に換えるに動脈血炭酸ガス分圧を以てした Riley 及び Cournand⁵⁹⁾ の方法を採用した。

第 1 項 呼吸死腔量

死腔の測定方法に関しては未だ一般臨床検査法に決定的なものがなく、種々批判もあり、諸種の測定成績もまちまちである。即ち Bohr の方法に基き測定した諸家の成績をみると、Kaltreider 等は 38~63 才の男子で 256cc と云い、Hurtado 等は青年女子で 144cc と云っている。又、連続換気法で行つた Fowler²⁵⁾ の平均値では男子 156cc±28cc, 女子 104cc と云つ

ている。尙、Riley 及び Cournand 等¹⁸⁾ によれば呼吸死腔量は 130cc, であり一回換気量との比率、即ち死腔率は 30% 以下を正常としている。又 Fowler は死腔率の平均は 25.9%±7.67% と述べている。

今、安静時の死腔量をみると第 I 群では 127~274cc (平均 170cc), 第 II 群では 119~283cc (平均 177cc), 第 III 群では 158~232cc (平均 200cc), 第 IV 群では 147~279cc, (平均 204cc) であり、第 I, II, III 及び第 IV 群の順に僅かではあるが死腔量の増加がみられ、Riley 等の正常値 130cc よりは相当高値を示している。

負荷後に於ける死腔量の変動をみると、第 I 群では 8cc の減少をみた 1 例 (No. 5) 以外は 157~338cc, (平均 209cc) と全例に増加をみており、平均増加率 23% であり、第 II 群では 122~388cc, (平均 206cc) で No. 14 及び No. 20 に夫々 50cc, 7cc と減少をみた以外はすべて増加を示し、平均増加率 16% であり、第 III 群では 215~309cc, (平均 263cc) であり、No. 25 に僅かに減少をみた以外はすべて増加を示し、平均増加率 31% であり、第 IV 群では変化をみなかった No. 27 の外は 147~322cc, (平均 246cc) で平均 20% の増加をみた。負荷後に於ける死腔量の変化は第 III 群に強く第 I 群、第 II 群及び第 IV 群には著明な差はみられない。尙 II 群の a 及び b 群に於ける間にも著明な差は認められない。

第 2 項 死 腔 率

安静時に於ける呼吸死腔量と一回換気量の比率をみると、第 I 群 21~35% (平均 27%), 第 II 群 28~49% (平均 38%), 第 III 群 31~45% (平均 31%) 及び第 IV 群は 23~44% (平均 34.3%) であり、安静呼吸時の死腔率は第 II 群が最高で、第 I 群及び第 III 群が Riley 等のいう正常値に畧々近い値である。

負荷後に於けるその変動をみると、第 I 群では 15~34% (平均 23%) となり全例に平均 4% の減少がみられ、第 II 群では 20~38% (平均 29%) であり 6% の増加をみた症例 No. 19 を除く全例に平均 9% の減少をみた。第 III 群では増減相半ばし、28~38% (平均 33.6%) で死腔率

は負荷後に却つて平均2.6%の増加をみている。第Ⅳ群では僅かに増加を示したNo. 28以外は16~39%（平均29.8%）と平均4.5%の減少がみられた。

尙、第Ⅱ群のa、及びb群についてみると、安静時には夫々平均34.8%及び41.3%となり、%肺活量60以下のb群に死腔率の増大がみられ、各群に比し最も高い値を示している。負荷後に於ける変化は夫々、平均27.5%及び31.6%と著明に減少している。

何れにしても、負荷後には死腔量が増大するにも拘らず、胸成術後の第Ⅲ群以外は各群共に死腔率に於いては減少がみられた。

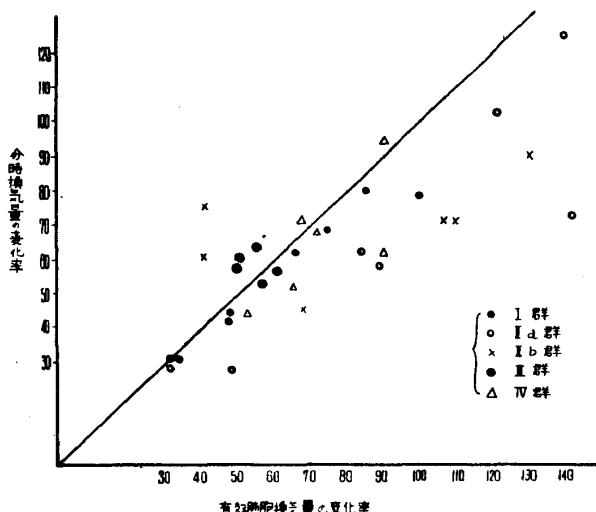
第3項 有効肺胞換気量の変動

安静時に於ける有効肺胞換気量は平均第Ⅰ群 4.57 l/m²、第Ⅱa群 3.69 l/m²、第Ⅱb群 3.19 l/m²、第Ⅲ群 4.25 l/m² 及び第Ⅳ群 3.98 l/m²で、第Ⅱ群に特に低値がみられる。

負荷後に於ける有効肺胞換気量は、分時換気量の増加に従つて、全症例に増加がみられるが、その増加率は第Ⅰ群では32~41%、（平均69%）第Ⅱa群31~143%、（平均73%）第Ⅱb群42~130%、（平均90%）第Ⅲ群50~61%、（平均56%）及び第Ⅳ群48~89%、（平均68%）であり、増加率は第Ⅱ、Ⅰ、Ⅳ及び第Ⅲ群の順に低下し、第Ⅲ群に著明に少なく、第Ⅱb群に於いて著明に多くなっている。

今、分時換気量の増加率を100として、各群

第3図 分時換気量と有効肺胞換気量の増加率との関係



の有効肺胞換気量の増加率をみると、第Ⅰ群 111%、第Ⅱ群a 142%、第Ⅱ群b 121%、第Ⅲ群 97%及び第Ⅳ群107%となり、第Ⅱa、Ⅱb、Ⅰ、Ⅳ、Ⅲ群の順に値は小さくなっている。

個々の症例に於ける分時換気量と有効肺胞換気量の増加率との関係を見ると、第3図のようになり、負荷後第Ⅰ群及び第Ⅳ群の多くは大畧中央値線上にあり、中央線より左の領域、即ち分時換気量の増加に有効肺胞換気量が伴はない領域には、第Ⅲ群及び第Ⅱa群のものが多し。逆に中央線より右の領域、即ち換気量の増加に比べ有効肺胞換気量の増加した群には第Ⅱ群のものが多し。

第Ⅲ章 綜括並びに考按

以上、外科的療法施行前、及び施行後の肺結核患者に対し、非麻酔下に於ける、低濃度炭酸ガスの吸入負荷の換気面に及ぼす影響について述べたが、その成績を綜括すると、以下の如くである。

安静時に於ける分時換気量は各群ともに健常者に於ける笹本の 4.5 l/min/m² と Gray の 6.87 l/min/m² との間あり、又 Cournand の 3.6 l/min/m² よりは著明に増加している。

負荷後に於ける分時換気量の増加率は%肺活量60以下のⅡb群に於いて最大であり、胸成術のⅢ群に最も少ない。しかし、個々の成績よりみると、換気量に及ぼす炭酸ガス蓄積の影響には、炭酸ガスに対する個体の感受性が多分に関係しているようであり、この点に就いては改めて検討する必要があるものと考えらる。

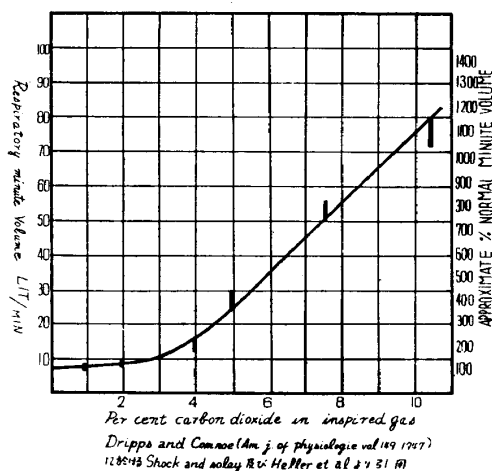
又、負荷後に於ける呼吸数の変化が平均15%の増加に過ぎないことより、換気量の増加は主として一回換気量の増加によるものと思われる。このことは血流面に於ける心搏出量の増加が、心搏数よりも一回搏出量の増加によつていゝのと同様である。

Dripps¹⁹⁾ 等は健常者に 7.6%及び 10.4%の炭酸ガスを吸入させ呼吸、循環系の反応を観察し、循環系よりも呼吸系の変化の強いことを認めている。

Dobkin¹⁷⁾ 及び Haldane²⁷⁾ 等は健常者に於いては、肺胞内の炭酸ガスが 0.2% (1.5 mm Hg) 増加すると換気量は 2 倍に増加すると云い、又 Beecher⁶⁾ は 1% の肺胞内炭酸ガス分圧の上昇は換気量を分時約 50 l 増加させると云っている。

肺結核患者について行つた著者の成績では、換気量の増加はこれ等に比較して少いようである。この点に関して、Schock 及び Soley²¹⁾ 等は健常者について夫々、1, 2, 4 及び 5% の炭酸ガスを大気に混じたものを用いて、換気量の変化をみているが、(第 4 図)、著者の成績ではそれ等の成績に近い値がみられた。

第 4 図



安静時に於ける動脈血酸素飽和度は第Ⅰ, Ⅲ, Ⅱ及び第Ⅳ群の順に減少しているが、各群共に諸家の正常値より少々低下がみられる。

負荷後には各群共著明に増加し、正常値に近い値を示している。

これは低酸素負荷時に於ける血中炭酸ガス含量の減少により、分時換気量が増加した結果と考えられる。

安静時に於ける血中炭酸ガス含量は第Ⅱ, Ⅳ, Ⅲ及び第Ⅰ群の順に低値を示しているが、各群共に諸家の正常値の範囲内にあり、負荷後に増加がみられるのは当然であるが、その増加の割合は第Ⅱ, Ⅲ, Ⅰ及び第Ⅳ群の順に減少している。

安静時に於ける動脈血 pH は各群共 7.38～7.40 で健常者の正常範囲内か、或いは僅かな酸

性化がみられた。

負荷後には各群共に 0.02 以内の軽度の酸性化がみられるが、術後群に少々強い傾向がある。

炭酸ガス負荷時に於ける動脈血炭酸ガス分圧の変化に関して、3% 炭酸ガスの負荷を行つた Alexander²⁾ の実験では、健常者に於いては、0.5～4.5 mmHg, (平均 2.5 mmHg) であり、肺気腫患者では、その変化は 1.0～8.0 mmHg, (平均 5.1 mmHg) と夫々増加をみている。

Alexander の成績と著者のそれとを比較すると、第Ⅰ群では Alexander の健常者に於ける変化に等しく、第Ⅲ群では健常者より少々高い値を示している。

又、肺内病巣及び肋膜に高度の変化がある症例、並びに肋骨切除を行わずに肺を過膨張させた肺切除術後の症例群、即ち最も肺気腫の因子が加味されていると考えられる、第Ⅱ及び第Ⅲ群に於いては Alexander の肺気腫群に比べて、血中炭酸ガス分圧の変動が少ないという事実は、限局性肺疾患である肺結核と肺全体の疾患である慢性肺気腫との相違によるものと考えるが、尙、再考する必要がある。

胸成術は扱おき、肺切除術に於いては、種々の程度に障害された肺病巣の除去により、理論的には無効換気及び無効循環がなくなり、機能的には改善されて少なくとも負とはならないと予想される。しかし、実際には術後肋膜の変化、胸廓運動の異常及び胸廓の変形等を当然来たすであろう。又、特に注目されることは術後の残存肺の過膨張、及び膨張不全を招来することである。即ち、術後に起る、反対側を含む残存肺の代償性肺気腫状態である。

Comroe¹³⁾ は肺切除術後、残存肺の換気量は減少するが、呼吸死腔量は相当増大すると述べており、笹本は残存肺の膨張が良好な場合は過膨張による肺胞機能障害を起すといひ、又膨張不全の場合は拘束性機能障害及び肺胞気能障害等を招来して、共に右心に対する負荷を増大し肺性心を起す危険を警告している。

又、Rossier 及び Bühlmann 等は肺の切除療法後に於ける残存肺の過膨張が切除術後胸成術により防止し得るなら、呼吸死腔量は減少する

といっている。

その他 Fowler²⁵⁾ 及び三宅⁴³⁾ 等も切除術後の呼吸死腔に関し報告している。

又、切除術後の過膨脹に関しては、Birath, Lesler, Gensler²⁶⁾ 及び笹本⁶⁸⁾ 等によると必ずしも切除量にはよらないが、一般に多区域に亘る切除に、その傾向が認められている様である。

負荷後に於ける死腔量は各群とも、安静時に比べて、16~31%の増加がみられるが、胸成群に最も強い増加がみられ、他の各群間には著明な差はみられなかつた。

死腔量は恩地⁴⁸⁾ によると健常者では過呼吸とか意識的な過換気 (voluntary hyperventilation) をすると 45~95cc の増加を示す。即ち、炭酸ガスの負荷による過換気は死腔量を増大させることは予想し得ることである。

しかし、このことを死腔率でみるとどうであろうか。安静時に於ける死腔率は第Ⅰ群以外は、Riley¹⁸⁾ 等のいう健常者の限界 (30%) を越えているが30%に畧々近い値を示している。

負荷後には第Ⅲ群以外は平均値に於いて各群ともに死腔率の減少がみられた。

このことは肺結核患者に於いては肺実質、肋膜等に多少共変化があり、又その為に起る二次的变化が、単独に又は種々合併されているために、或程度の過換気を行つた時に却つて安静時に於けるより換気状態が改善されたものと考えられる。

この点より第Ⅲ群の胸成術後の症例をみると、負荷後死腔率が増減相半ばし、軽度ではあるが却つて増加をみることは、肋骨切除が従隔動揺、奇異呼吸等を誘発し呼吸機能面に於いて、非効率的に作用するためと考える。

又、このことと、切除療法群の安静時に於ける死腔率が正常値に近いことを併せ考えると、術後残存肺の過膨脹による肺の機能低下を防止するための“切除術後胸成術の施行”と言うことに無批判的に賛成し得ないものがある。

負荷後に於ける分時換気量と有効肺泡換気量との増加率の関係をみると、その増加率は第Ⅱa, Ⅱb, 及び第Ⅲ群の順に肺及び肋膜の病変の

高度なものの程高く、術後のものに最も低い傾向を示し、肋膜肺脈の強いものに過換気がより効率的に作用することが分る。

併し、個々の症例についてみると、各値に相当の差違があり、換気面に及ぼす炭酸ガスの影響には尙、個体の感受性をも併せ考えなければならないように思われる。

結 論

肺結核患者に於ける、炭酸ガス蓄積の換気面に及ぼす影響を、病巣の性質及び肺能力等に就いて検討し、又、胸成術及び切除術等の術後例をもこれに加え、炭酸ガス負荷前後に於ける変化に就き観察し、以下の結論を得た。

1) 安静時に於ける成績

分時換気量ではその平均が、肺病巣の比較的軽度の第Ⅰ群、6.06 l/min/m², 病巣及び肋膜の変化の強い第Ⅱ群 5.33 l/min/m², 胸成術後の第Ⅲ群 6.60 l/min/m² 及び切除例群の第Ⅳ群 5.68 l/min/m² であり第Ⅱ群に最も少ない値がみられた。

動脈血酸素飽和度では各群とも正常値より幾分低下をみており、第Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ及び第Ⅳ群の順に減少している。

動脈血炭酸ガス含量及び pH は各群とも略々正常範囲内にあつた。

呼吸死腔量では各群とも健常者に比べて増加しているが、特に術後群では強い増加がみられた。

死腔率の平均は第Ⅰ群27%, 第Ⅱ群38%, 第Ⅲ群31%及び第Ⅳ群34.3%で第Ⅰ群以外は健常者の限界を稍々越えている。

第Ⅱ群の中、%肺活量の60%以上をa群、60%以下をb群として分類すると、有効肺泡換気量は第Ⅰ群4.57, 第Ⅱa群3.69, 第Ⅱb群3.19, 第Ⅲ群4.25及び第Ⅳ群3.98l/m² で、第Ⅱb群に低値をみた。

2) 負荷後に於ける変化

分時換気量の増加率は第Ⅱ群に最大で、胸成術の第Ⅲ群に最も少ない値を示す。

動脈血酸素飽和度は各群とも著明に増加し、正常値に近い値を示す。

動脈血 pH 値の低下は術前群に比し術後群に稍々強い傾向が認められる。

動脈血炭酸ガス分圧の変化は第Ⅰ群では、平均 2.3mmHg, 第Ⅱ群平均 3.0mmHg, 第Ⅲ群平均 2.8mmHg 及び第Ⅳ群平均 3.3mmHg と増加し、第Ⅱ, 第Ⅳ群に、特に第Ⅳ群に著明であつた。

呼吸死腔量では各群とも安静時の16~31%の増加がみられるが第Ⅲ群に最も強い増加をみた。死腔率では、第Ⅲ群以外は減少をみた。

3) 肺結核に於いては安静時には肺、肋膜の病巣及び胸廓の二次的変化等により、程度の差はあるが換気不全が招来される。しかし、炭酸

ガスを負荷することによつて増大する換気運動によつて、機能が幾分恢復し、このために負荷後に於ける死腔率の減少がみられるものと考えられる。

4) 負荷後に於いて第Ⅲ群にみられる死腔率の増加は、肋骨切除が換気機能に非効率的に働くためと考えられる。

5) 以上のことより、肺切除術後の過膨張及び膨張不全を防ぐ意味での胸成術には諸種の検査を施行した上で必要な最少限度の肋骨切除を行うに留めることが望ましい。

(文献は第3篇の末尾に纏めて掲載する)