

調節呼吸による肺の機能的並びに形態学的変化に関する実験的研究

金沢大学医学部第一外科学教室(主任 卜部美代志教授)

山 田 修

(昭和34年12月10日受付)

(本論文の要旨は第2回および第3回日本麻酔学会総会において発表した)

近年における外科手術の目覚ましい進歩は抗生物質の発見や高性能の Sulfa 剤の登場による強力な化学療法と共に麻酔学の発達に負うところが大きい。就中開胸手術に対して気管内挿管麻酔が果たす役割は極めて大きく、これと関連して麻酔中行われる調節呼吸の意義もまた大きい。

手術中の呼吸を人為的に調節しようとする試みは、古くは Sauerbruch の陰圧手術室に始まり、陽圧麻酔器に発展し、さらに Crafoord¹⁾等の Spiropulsator, Mautz²⁾の Respirator と次第に改良発達して現在使用されている陽陰圧呼吸型式による Respirator となった。

気管内挿管麻酔により開胸術を施行する場合には炭酸ガス蓄積が起り易いことは既に多くの報告によつて明らかなることであるが、炭酸ガス蓄積は酸塩基平衡の失調をきたして循環系や神経系に悪影響を及ぼし、諸種の合併症に関係が深い。この原因は換気不全によるものであり、これを排除するためには何らかの人為換気を行つて有効な換気量を増加させねばならない。この目的を満足させるものとして間歇的陽圧呼吸及び陽陰圧呼吸の両呼吸型式による調節呼吸法がある。

著者は犬について、この両呼吸型式による調節呼吸がどのような肺の機能的並びに形態学的変化を起すか、また閉胸時と開胸時により相違があるか否か、加圧の安全な限界はどの程度かを決定しようと試みた。

実験方法

1. 実験対照及び実験群の分類

健康な雑種成犬89頭を使用し、これを次の各群に分けて実験を行つた。

対照群(閉胸下自然呼吸群) 4例

閉胸下間歇的陽圧呼吸群	21例
形態学的検索	8例
機能的検索	15例
開胸下間歇的陽圧呼吸群	17例
形態学的検索	13例
機能的検索	4例
閉胸下陽陰圧呼吸群	36例
形態学的検索	23例
機能的検索	14例
開胸下陽陰圧呼吸群	18例
形態学的検索	14例
機能的検索	4例

2. 麻 酔

Thiopental Sodium (Ravonal) あるいは Amobarbital Sodium (Isomital) 30~40mg/kg の筋注によつて深麻酔に至らしめ、犬を背位に固定して気管内挿管を行つた。対照群においてはそのまま放置して自然呼吸を行わせ、他の実験群においてはここで d-Tubocurarine Chloride (Amelizol) 0.4mg/kg の静注によつて筋弛緩を得て自発的呼吸運動を消失せしめ、気管 Tube に人工呼吸装置を連結して調節呼吸を開始した。調節呼吸中 Hyperventilation の状態にあるときは筋弛緩剤の効果が消退した後にも自然呼吸運動を再開して調節呼吸に逆らうことはなかつたが、換気圧が小さく従つて換気量の比較的少ない場合筋の緊張回復によつて調節呼吸に対する抵抗が大になると思われたときには適宜筋弛緩剤を追加投与し、終始充分な筋弛緩の下で全く機械的に調節呼吸を行われるように留意した。

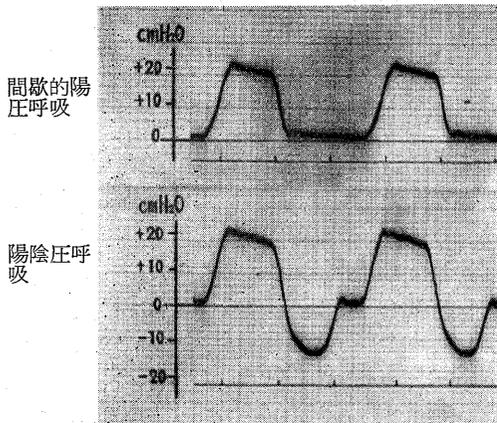
3. 呼吸装置

本研究に使用した電動式人工呼吸装置は東京泉工舎

Experimental Studies on the Functional and Morphological Changes of Lung Caused by Controlled Respiration. Osamu Yamada, Department of Surgery (Director: Prof. M. Urabe), School of Medicine, University of Kanazawa.

の初期の製品で、その主要成分は電動機による槓桿の往復運動によつて伸縮する蛇腹型の呼吸囊、加圧時に開く吸気弁、除圧時に開く呼気弁よりなり、蛇腹の伸縮の振幅の毎分伸縮回数を変化させることによつて調節呼吸の圧及び回数をおる程度任意に調節することが出来る。呼吸圧の調節は単に蛇腹の振幅の大小によつて行われるのみなので、陽圧及び陰圧の大小を変えることは可能であるが、その間歇期の圧、いかえれば全体的な気管内圧の Level を上下することは不可能である。またこの装置による加圧相と陰圧相の時間的比率は概そ 1 : 1 で、呼吸数を変えることは出来てもこの比率を変化させることは出来ず、且つ、これによつて作られる気管内圧曲線の波形も第 1 図の如き曲線で、これも一定不変である。

第 1 図 閉胸下間歇的陽圧呼吸時及び陽陰圧呼吸時における気管内圧曲線 (犬 No. 51 +20cmH₂O, 間歇的陽圧呼吸, No. 30 +20~-15cmH₂O 陽陰圧呼吸)



調節呼吸が生体に及ぼす機能的影響就中循環動態に及ぼす影響が調節呼吸の加圧相と陰圧相の時間的比率並びに気管内圧曲線の波形によつても異なることは既に Motley^{3,4)} 等、Price⁵⁾ 等によつて研究されているが、著者の使用した装置ではこれらの点に関する吟味は不可能である。従つて本論文における論述はすべて加圧相と陰圧相の時間的比率 1 : 1 で、気管内圧曲線は第 1 図に示した如き曲線であるという限られた条件を前提としたものである。

4. 調節呼吸の圧、回数及び持続時間

間歇的陽圧呼吸では吸気相に +10~40cmH₂O の圧を加え、呼気相は平圧に開放、陽陰圧呼吸では吸気相に +10~40cmH₂O の陽圧、呼気相に -5~30cmH₂O の陰圧を加えた。呼吸回数は毎分 20 回前後、調節呼吸

の持続時間は原則として連続 2 時間とし、特に長時間続けた場合の形態学的変化を見る目的で数例のものには 6 時間持続した。

5. 開胸例は両側第 5 肋間で開胸し、開胸器を装着して肋間を開大し、胸廓運動を妨げたままの状態で調節呼吸を行った。

6. 機能的検索

各部血圧の測定：外頸静脈及び股静脈より心臓 Catheter を挿入、X 線透視下にその先端を右心房、肺動脈（左右枝の分岐部）、肺毛細管（wedge）、下大静脈（第 3 腰椎の椎体上面の高さ）に達せしめ、各部位の圧の測定を行った。これらの圧は前腋窩線の高さを原点として水柱 Manometer により測定し、水銀柱に換算した。末梢動脈圧は股動脈に Canula を挿入して水銀 Manometer で測定した。これらの各部位の圧には多少とも呼吸性の動揺が認められるので、すべて陽圧相の圧すなわち自然呼吸では呼気時の圧、間歇陽圧呼吸及び陽陰圧呼吸では吸気時の圧を読むことに統一した。

血液の分析：股動脈から末梢動脈血を、肺動脈においた心臓 Catheter から混合静脈血を同時に採取し夫々血液 Gas 及び pH の測定に供した。血液 Gas の測定には Van Slyke 氏檢圧装置を用い、Van Slyke & Neill 氏法⁶⁾ により血中 O₂ 含量 (Vol%) 及び CO₂ 含量 (mM/l) を測定した。血液の pH は硝子電極 pH 計を用いて室温における全血 pH を測定し Rosenthal⁷⁾ あるいは斎藤等⁸⁾ の係数によつて温度補正を加え 38°C の全血 pH を求めた。

呼吸気の測定：呼気及び吸気の採取は常に血液の採取と同時に、通常 3 分間行つた。自然呼吸の際には吸気は大気であり、呼気は一方弁を用いてその全量を Douglas Bag に採取した。間歇的陽圧呼吸の際には吸気は人工呼吸器の吸気回路の途中の側孔から直接 Sampling Tube に採取し、呼気は全量を Douglas Bag に採取した。陽陰圧呼吸の場合にも吸気は同様に吸気回路の途中から採取したが、呼気はこれを Douglas Bag に集めることは出来ないので、呼気回路の途中で CO₂ 吸収装置の口側に Gas-meter を挿入して呼気回路の流量を測定して呼気量となし、且つ呼気 Sample を Sampling Tube に採取した。これら Gas Sample は Van Slyke & Sendroy 氏⁹⁾ 法或いは Scholander 氏¹⁰⁾ 法によつて分析して O₂ 含量 (Vol%) 及び CO₂ 含量 (Vol%) を求めた。一方 Douglas Bag に集めた呼気は Gas-meter でその量を測定し、同時に測定した気温と気圧によつて STPD (Standard Temperature, Pressure and Dry) 及び BTPS (Body

Temperature, Pressure, Saturated with Water Vapor) に換算した。

肺循環諸値の算出：以上の各測定値から次の諸式を用いて肺循環諸値を算出した。

$$\text{O}_2 \text{ 消費量 } \dot{V}_{\text{O}_2} \text{ cc/min (STPD)} = \text{換気量 l/min (STPD)} \times \frac{1}{10} (\text{吸気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} - \text{呼気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%})$$

$$1 \text{ 回換気量 } \dot{V}_T \text{ cc/Vent (BTPS)} = 1000 \frac{\text{換気量 l/min (BTPS)}}{\text{換気数/min}}$$

肺胞気 O₂ 分圧 P_AO₂ mmHg = 吸気 O₂ 分圧 mmHg

$$\frac{\text{動脈血 CO}_2 \text{ 分圧 mmHg} \times \frac{1}{100} \text{ 吸気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} \times (1 - \text{呼吸商})}{\text{呼吸商}} - \frac{\text{動脈血 CO}_2 \text{ 分圧 mmHg}}{\text{呼吸商}} \quad 11)$$

有効肺胞換気率 $\dot{V}_A^e / \dot{V}_E\%$ =

$$\frac{\text{呼気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} - \text{肺胞気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%}}{\text{吸気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} - \text{肺胞気 O}_2 \text{ 含量 Vol\%}} \times 100$$

有効肺胞換気量 \dot{V}_A^e l/min (BTPS)

$$= \text{換気量 l/min (BTPS)} \times \frac{\text{有効肺胞換気率\%}}{100}$$

動静脈血 O₂ 較差 Vol% = 動脈血 O₂ 含量 Vol% - 混合静脈血 O₂ 含量 Vol%

動脈血 O₂ 飽和度%

$$\frac{\text{動脈血 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} - \text{解離 O}_2 \text{ Vol\%}}{\text{飽和血 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} - \text{解離 O}_2 \text{ Vol\%}} \times \frac{\text{飽和血 Ht}}{\text{動脈血 Ht}} \times 100$$

動脈血 CO₂ 分圧 P_aCO₂, 緩衝塩基 (B_s⁺)_b :

Singer-Hastings 氏 Nomogram¹²⁾ による。

心搏出量 \dot{Q}_t l/min = $\frac{1}{10}$

$$\times \frac{\text{酸素消費量 cc/min (STPD)}}{\text{動脈血 O}_2 \text{ 含量 Vol\%} - \text{混合静脈血 O}_2 \text{ 含量 Vol\%}}$$

$$1 \text{ 回搏出量 cc/beat} = 1000 \frac{\text{心搏出量 l/min}}{\text{心搏数/min}}$$

有効肺血流量 \dot{Q}_p / \dot{Q}_t %

$$= \frac{\text{動脈血 O}_2 \text{ 飽和度\%} - \text{混合静脈血 O}_2 \text{ 飽和度\%}}{\text{肺毛細管血 O}_2 \text{ 飽和度\%} - \text{混合静脈血 O}_2 \text{ 飽和度\%}}$$

肺胞毛細管血 O₂ 飽和度は直接測定出来ない
ので、肺胞毛細管血 O₂ 分圧 = 肺胞気 O₂ 分
圧と仮定して求める

$$\text{有効肺血流量 } \dot{Q}_p \text{ l/min} = \text{心搏出量 l/min} \times \frac{\text{有効肺血流量\%}}{100} \quad 13)$$

全肺血管抵抗 dyne/sec. cm⁻⁵

$$= \frac{\text{肺動脈圧 cmmHg}}{\text{心搏出量 cc/sec}} \times 1332 \quad 13)$$

肺小動脈抵抗 dyne/sec. cm⁻⁵

$$= \frac{\text{肺動脈圧 mmHg} - \text{肺毛細管 mmHg}}{\text{心搏出量 cc/sec}} \times 1332 \quad 14)$$

右心対圧仕事 W_R joule/min = 心搏出量 l/min × 肺動脈圧 mmHg × 0.1332

7. 形態学的検索：所定の実験終了後動物を殺して肺を剔出，肉眼的及び組織学的に検索した。動物の屠殺から肺の剔出まではこの操作による肺の鬱血及び損傷を極力避けるように留意した。すなわち Thio-penal Sodium (Ravonal) あるいは Amobarbital Sodium (Isomital) 急速静注によつて心停止を起させ、直ちに調節呼吸を停止し、前胸壁を一塊として切除し、気管内圧を +10cmH₂O に加圧して肺を膨らませ気管を clamp してから心肺を一塊として剔出し、肺門部で気管、脈管を結紮して肺を分離し、肺の所見を肉眼的に観察した。次いで肺を 10% Formalin 液で固定、両側肺の各葉から組織片をとり、Paraffin 包埋後切片として Hematoxylin-Eosin 染色を行つて検鏡した。

実験成績

調節呼吸中に死亡した例はなく、全例よく間歇的陽圧呼吸あるいは陽陰圧呼吸に耐えることが出来た。

A. 機能的検索成績

1. 閉胸下における間歇的陽圧呼吸 (第1表)

開胸することなく間歇的陽圧呼吸を行つた例につきその機能的変化を自然呼吸時のそれと比較して述べる。間歇的陽圧呼吸時に用いた圧は +10cmH₂O 程度のもの 6 例、+20cmH₂O 程度のもの 5 例、+30cmH₂O 以上の大きな圧を用いたもの 4 例である。

換気量は陽圧の大なる程大となり、+10cmH₂O では 11.37 l/min である。自然呼吸時の全換気量と比較すると、+10cmH₂O では自然呼吸時と大差はなく、+20cmH₂O、+30cmH₂O では自然呼吸時に比して夫々 2.3 倍、4.5 倍と増大している (第 2 図)。1 回換気量の変化は略々同様の傾向を示している。

O₂ 消費量は換気量の増加にもかかわらず間歇的陽圧呼吸によつて殆んど増加しない。従つて O₂ 摂取は甚だしく低下し、その程度は加える圧が大なる程著しくなる。いいかえれば肺において吸気中から O₂ を摂取する能率が低下している。

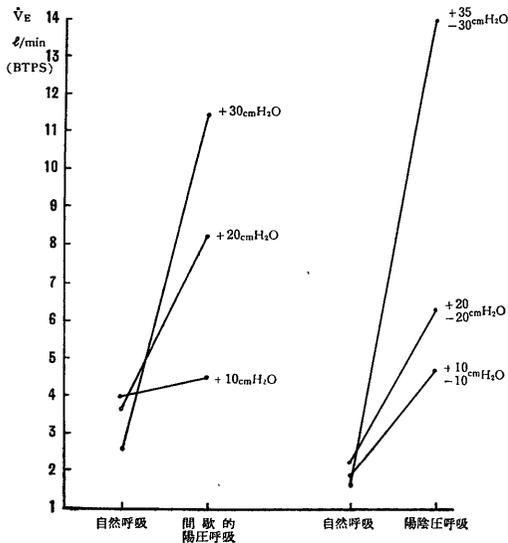
Alveolar Equation によつて算出した肺胞気 O₂ 分圧は +10cmH₂O の加圧によつて自然呼吸時と殆んど変わりなく、+20cmH₂O によつて自然呼吸時の 101mmHg に比して約 30% 上昇して 134mmHg となる。しかし一層陽圧を大にしても肺胞気 O₂ 分圧は上昇を示さ

第1表 閉胸下における間歇的陽圧呼吸時の肺循環の変動 上段は自然呼吸時 下段は間歇的陽圧呼吸時

犬 No.	性 体 重 kg	呼吸圧 cmH ₂ O	呼吸数 /min	脈搏数 /min	全換気量 l/min (BTPS)	1回換気量 cc/vent (BTPS)	酸素消費量 cc/min (STPD)	肺 泡 酸 素 分 圧 mmHg	有 効 肺 泡 酸 素 分 圧 %	動 脈 血 酸 素 含 量 Vol%	血 動 脈 血 酸 素 飽 和 度 %	動 脈 血 酸 素 較 差 Vol%	心 搏 出 量 l/min	1 回 搏 出 量 cc/beat	有 効 肺 血 流 率 %	混 合 靜 脈 血 酸 素 分 壓 mmHg	下 大 靜 脈 圧 mmHg
79	♂ 8	+ 10	24	136	3.70	154	104	122	75.6	11.4	97.6	2.7	3.85	28.3	62.2	39	
			20	164	3.30	165	82	112	49.0	12.7	94.7	3.6	2.28	13.9	66.2	46	
80	♀ 11	+ 10	24	172	4.00	117	70	124	17.5	10.8	75.4	3.0	2.33	13.5	48.4	28	
			20	178	5.14	257	110	121	68.5	8.0	59.0	3.9	2.82	15.3	42.6	19	
81	♀ 12	+ 10	14	120	5.12	366	115	95	41.8	12.7	92.4	4.2	2.74	23.1	87.4	33	1.9
			20	108	6.42	321	92	102	26.6	12.5	91.9	4.6	2.00	18.5	86.5	32	2.1
82	♂ 13	+ 12	16	156	4.85	301	105	90	32.1	15.2	92.5	4.1	2.59	17.0	89.3	33	5.5
			20	140	5.50	275	87	81	20.3	11.0	71.7	6.4	1.35	9.6	64.8	20	7.8
78	♂ 8	+ 7	31	140	4.31	139	82	93	29.5	16.6	89.2	7.4	1.11	7.9	83.9	26	4.2
			20	164	3.75	183	76	99	32.8	14.7	78.9	1.4	0.54	3.3	28.3	39	3.9
45	♂ 16	+ 10	14	142	2.02	144	47	91	35.0	13.9	77.4	3.3	1.41	9.9	48.2	31	
			20	158	3.13	156	63	115	52.2	14.7	82.4	5.1	1.22	7.8	64.1	27	
平		均	21	144	4.00	204	87	103	44.1	13.4	87.4	4.1	2.23	16.6	69.9	32	3.9
			20	152	4.54	226	85	105	41.6	12.3	79.3	4.2	1.70	11.5	58.8	31	4.6
85	♂ 9	+ 20	28	160	3.02	109	89	123	92.5	12.0	90.0	3.2	2.78	18.5	7.50	39	2.9
			20	142	7.26	363	87	132	54.2	13.1	98.5	6.0	1.45	10.2	99.6	29	3.5
51	♂ 10	+ 20	17	162	3.75	221	60	106	32.4	12.4	91.1	3.1	1.93	11.9	78.7	38	
			20	168	6.26	313	57	139	84.6	13.4	97.9	7.6	0.75	4.5	96.5	19	
86	♀ 13	+ 18	16	176	2.47	154	72	81	37.0	13.8	81.9	2.0	3.57	20.3	47.6	39	1.1
			20	128	9.90	494	72	135	46.2	16.4	96.8	6.1	1.19	9.3	93.6	30	1.5
84	♂ 9	+ 18	32	120	2.57	80	47	90	25.9	13.9	87.2	3.9	1.20	10.0	74.9	36	1.2
			19	96	8.41	442	54	133	35.4	15.5	96.9	9.7	0.56	5.8	96.3	19	1.9
50	♀ 16	+ 20	22	136	6.30	285	97	105	30.5	10.6	87.4	4.6	2.11	15.5	79.2	28	
			20	128	9.10	455	122	133	43.8	12.1	99.2	8.6	1.42	11.1	99.9	15	
平		均	23	149	3.62	170	73	101	44.1	12.5	87.5	3.4	2.32	15.2	71.1	36	1.7
			20	132	8.19	344	78	134	43.7	14.1	97.9	7.6	1.07	8.2	97.2	22	2.8
87	♀ 8	+ 34	25	118	2.85	188	69	189	36.5	11.7	87.6	2.9	2.38	20.2	71.2	41	1.7
			20	138	13.50	675	75	137	37.5	12.7	94.7	6.6	1.13	8.2	91.9	26	3.4
83	♂ 12	+ 32	15	160	3.10	207	74	102	44.6	11.7	88.5	3.8	1.95	12.2	78.7	37	1.2
			20	168	13.88	693	88	136	50.0	13.0	94.8	9.0	0.98	5.8	94.2	15	4.6
55	♂ 16	+ 30	8	156	2.30	288	91	95	64.1	15.7	82.9	4.6	1.98	12.7	74.8	33	
			20	158	9.54	476	100	133	57.8	18.7	98.5	8.9	1.13	7.2	99.4	28	
62	♂ 14	+ 40	14	164	1.87	75	85	98	77.5	10.1	76.3	3.1	2.74	16.7	53.0	30	
			20	168	8.55	427	78	130	42.3	13.2	98.8	7.0	1.11	6.6	98.2	20	
平		均	16	150	2.53	165	80	121	55.7	12.3	83.8	3.6	2.26	15.5	69.4	35	1.5
			20	158	11.37	568	85	134	46.9	14.4	96.7	7.9	1.09	7.0	95.9	22	4.0

右房圧 mmHg	下静脈 右房圧 勾配 mmHg	股動脈圧 mmHg	肺動脈圧 mmHg	肺毛細 管 圧 mmHg	全肺血 管抵抗 dyne/cm ⁵ sec-cm ⁻⁵	肺小動 脈抵抗 dyne/cm ⁵ sec-cm ⁻⁵	右心対 庄仕事 joule/ min	動脈血 pH	動脈血 炭酸分 圧 mmHg	動脈血 緩衝塩基 mEq/l
		124	7.8	3.1	162	98	4.0	7.27	20	31
		128	9.1	3.8	319	133	2.8	7.14	32	30
		132	5.9	3.5	202	82	1.8	7.41	24	40
-	1.7	130	8.1	3.7	230	125	3.0	7.35	29	39
-	0.5	125	6.4	3.4	185	87	2.3	7.39	40	46
		95	7.0	1.5	279	219	1.9	7.36	42	46
		113	9.0	2.4	279	201	3.1	7.38	42	54
		104	11.8	2.9	698	527	2.1	7.32	64	52
		158	6.3	4.1	454	159	9.3	7.42	45	52
		123	15.0	3.8	2220	1655	10.8	7.38	48	50
		140	13.2		749		2.5	7.40	37	45
-	0.4	132	8.1	3.3	338	125	3.0	7.38	34	45
+	2.2	122	10.7	3.1	766	532	2.0	7.33	41	45
		132	8.2	3.5	236	135	2.9	7.30	20	41
		100	10.3	5.2	571	284	1.2	7.38	13	32
		122	11.2	3.6	314	464	4.7	7.35	34	41
		100	12.4	5.9	1321	694	2.1	7.58	11	38
-	1.9	104	9.9	5.5	222	99	7.2	7.37	46	48
+	1.1	87	13.4	6.8	903	444	6.9	7.48	13	36
-	0.9	90	4.5		300		2.5	7.32	44	44
+	1.2	72	9.2		1300		2.0	7.50	11	35
		140	8.8		335		2.5	7.36	35	41
		150	10.3		579		2.0	7.56	15	41
-	0.9	118	8.5	4.2	281	233	4.1	7.34	36	43
+	1.4	102	11.1	6.0	935	474	2.8	7.50	13	36
		132	6.7	4.0	225	91	2.1	7.25	49	41
-	2.1	92	10.9	7.0	765	274	1.6	7.36	9	27
+	3.2	0.2	12.1	6.2	497	242	3.1	7.31	42	42
-	2.3	3.5	13.0	9.7	1083	275	1.7	7.44	9	31
+	5.0	-0.4	10.3		416		2.7	7.32	38	41
		110	10.3		726		1.6	7.39	15	38
		160	6.6		193		2.4	7.35	35	42
		150	7.4		533		1.1	7.59	18	42
-	2.2	138	8.6	5.1	333	167	2.6	7.31	41	42
+	4.1	113	10.7	8.4	777	275	1.5	7.45	13	35

第2図 閉胸下における調節呼吸時の全換気量の変動



ない。

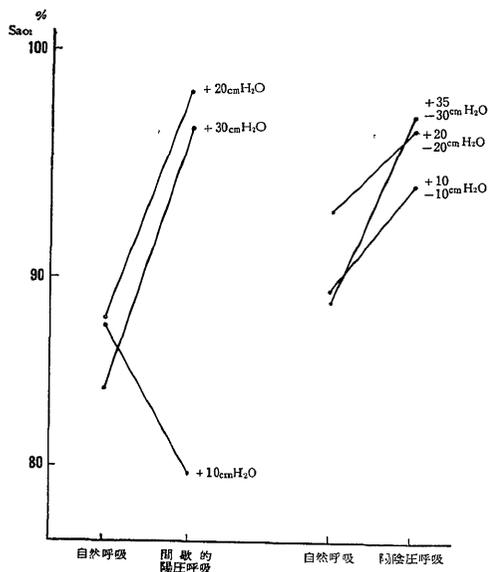
有効肺胞換気率は主として肺胞毛細管への血流分布の良否を現わすものである。間歇的陽圧呼吸ではその圧の程度如何にかかわらず有効肺胞換気率は自然呼吸時に比して低下する。すなわち自然呼吸時 44.1%が +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸時には 41.6%に、自然呼吸時 44.1%が +20cmH₂O 間歇的陽圧呼吸時には 43.7%に、更に自然呼吸時 55.7%が +30cmH₂O 以上の間歇的陽圧呼吸では 46.9%に低下している。

有効肺血流率は主として肺胞の換気の良否を表現するもので、自然呼吸時には 70% 程度であるが +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸の時 58.8%で自然呼吸時に及ばず、+20cmH₂O 間歇的陽圧呼吸の時 97.2%と著しく上昇し、+30cmH₂O 以上の間歇的陽圧呼吸の時 95.9%と再び低下の傾向が現われてくる。すなわち有効肺血流率は +20cmH₂O 間歇的陽圧呼吸時に最高値を示している。

末梢動脈血 O_2 含量は $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群において自然呼吸時 (13.4 Vol%)より減少して 12.3 Vol%となり、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群においては自然呼吸時 12.5 Vol%が 14.1 Vol%と増加し、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群においては自然呼吸時 12.3 Vol%が 14.4 Vol%と増加した。

末梢動脈血 O_2 飽和度は $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群において 79.8%で、自然呼吸時の 87.4%よりかなり低下し、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸例において夫々 97.5%、96.7%と充分な O_2 飽和度を示している (第 3 図)。

第 3 図 閉胸下における調節呼吸時の末梢動脈血 O_2 飽和度の変動

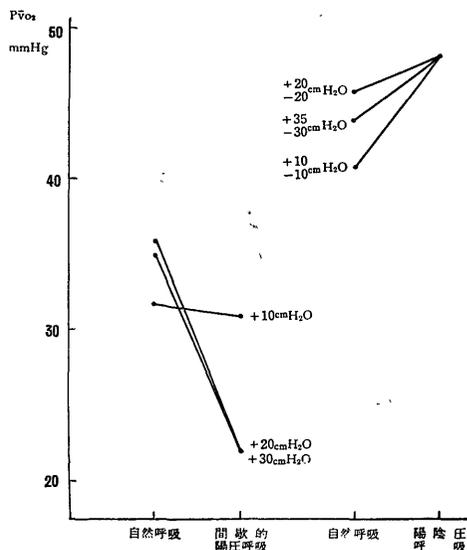


混合静脈血 O_2 分圧は $+10\text{cmH}_2\text{O}$ の間歇的陽圧呼吸例では 31mmHg で自然呼吸時と大差はないが、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以上の大きな圧を用いた間歇的陽圧呼吸例においては平均 22mmHg を示しこれらの自然呼吸時の平均 36mmHg に比して低下が著しい (第 4 図)。

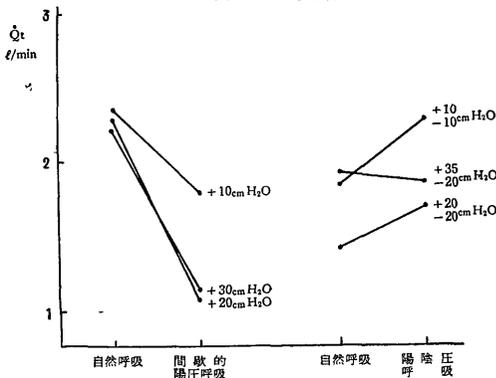
動静脈血 O_2 較差は大きな圧を用いた間歇的陽圧呼吸時増大する。 $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群においては動静脈血 O_2 較差 4.2 Vol%で自然呼吸時と殆んど同じく、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 群において 7.6 Vol%、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 群において 7.9 Vol%となり、これらの群の自然呼吸時動静脈血 O_2 較差 3.4 Vol%、3.6 Vol%に比して甚だしく増大している。

心搏出量は大きな圧を用いた間歇的陽圧呼吸に際して減少する。 $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群において 1.70 ℓ /min、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 群において 1.07 ℓ /min、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 群において 1.09 ℓ /min で夫々の自然呼吸時の

第 4 図 閉胸下における調節呼吸時の混合静脈血 O_2 分圧の変動



第 5 図 閉胸下における調節呼吸時の心搏出量の変動



心搏出量 2.34 ℓ /min、2.32 ℓ /min、2.26 ℓ /min に比して減少し、殊に $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以上の圧を加えた例では減少が甚だしく、自然呼吸時の $\frac{1}{2}$ 以下になっている (第 5 図)。

心搏数の増減は種々で一定の傾向を示さない。

1 回搏出量は心搏出量の増減と同様に間歇的陽圧呼吸によつて減少し、加える圧が大なる程 1 回搏出量は少なくなる。すなわち $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群において自然呼吸時 16.6cc/beat が調節呼吸時 11.5 cc/beat に、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群においては 15.2cc/beat が 8.2cc/beat に、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 以上の群においては 15.5cc/beat が 7.0cc/beat に減少した。

末梢動脈血圧 (股動脈圧) は間歇的陽圧呼吸の際には加圧の大なる程低下し、 $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼

吸例において平均 10mmHg の低下, +20cmH₂O 例において平均 16mmHg の低下, +30cmH₂O 例においては平均 25mmHg の低下を示した。

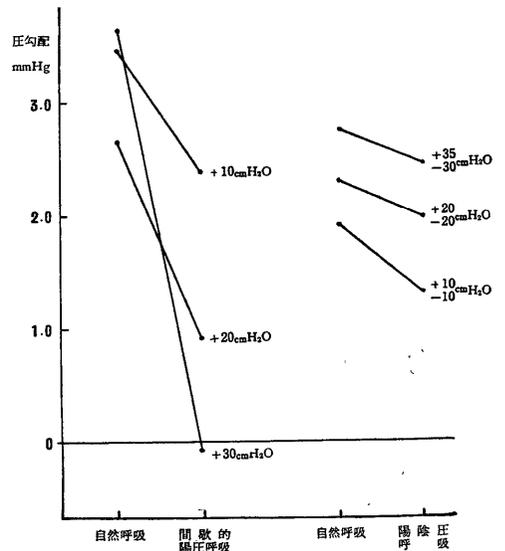
肺動脈圧は間歇的陽圧呼吸によつて上昇する。自然呼吸時の肺動脈圧は平均 8.1~8.6mmHg で, +10cmH₂O の間歇的陽圧呼吸群においては肺動脈圧 10.7mmHg, +20cmH₂O 群においては 11.1mmHg, +30cmH₂O 群においては 10.7mmHg と上昇した。肺毛細管圧 (wedge pressure) も大きな圧を用いた間歇的陽圧呼吸によつて上昇し, +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸群においては自然呼吸時に比して殆んど変わらず, +20cmH₂O 群において 4.2mmHg が 6.0mmHg に, +30cmH₂O 群において 5.1mmHg が 8.4mmHg に夫々上昇した。

従つて肺動脈圧並びに肺毛細管圧と心搏出量から算出された全肺血管抵抗並びに肺小動脈抵抗は間歇的陽圧呼吸によつて著しく増大している。すなわち全肺血管抵抗は +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸群において自然呼吸時 338 dyne/sec·cm⁻⁵ のものが間歇的陽圧呼吸時には 766 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +20cmH₂O の群においては 281 dyne/sec·cm⁻⁵ が 935 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +30cmH₂O の群においては 333 dyne/sec·cm⁻⁵ が 777 dyne/sec·cm⁻⁵ に夫々増大した。肺小動脈抵抗は +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸群において自然呼吸時 125 dyne/sec·cm⁻⁵ が間歇的陽圧呼吸時には 532 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +20cmH₂O の群においては 233 dyne/sec·cm⁻⁵ が 474 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +30cmH₂O の群においては 167 dyne/sec·cm⁻⁵ が 275 dyne/sec·cm⁻⁵ に夫々増大している。而して肺小動脈抵抗の増大と気管内に加える陽圧の大きさの関連をみると, 大きな陽圧を加えた例では肺小動脈抵抗の増大は却つて軽度である。これは間歇的陽圧呼吸を行った場合, 肺動脈圧, 肺毛細管圧共に上昇するが, 後者の上昇の方が一層著明なために大きな陽圧を加える程肺動脈-肺毛細管の圧勾配は縮小し, 肺小動脈抵抗は減少するものである。

圧に対する右室の仕事は間歇的陽圧呼吸によつて却つて減少する。すなわち +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸例においては自然呼吸時に比して増減種々であり, +20cmH₂O 間歇的陽圧呼吸群においては自然呼吸時 4.1 joule/min が間歇的陽圧呼吸時には 2.8 joule/min に, +30cmH₂O 群においては 2.6 joule/min が 1.5 joule/min に夫々減少している。間歇的陽圧呼吸によつて肺血管の圧が上昇するにもかかわらず右室の仕事が減少するのは心搏出量の甚だしい減少に基くものである。

間歇的陽圧呼吸による右心への静脈還流の変化を窺うために数例について下大静脈圧及び右房圧を測定した。下大静脈圧及び右房圧は共に間歇的陽圧呼吸によつて上昇し, その上昇の程度は後者の方が大である。従つて間歇的陽圧呼吸によつて下大静脈-右房の圧勾配は縮小し, 且つ大きな陽圧を用いた間歇的陽圧呼吸その縮小が著しい (第6図)。

第6図 閉胸下における調節呼吸時の下大静脈-右房圧勾配の変動



末梢動脈血の酸塩基平衡を動脈血の pH, CO₂ 分圧, 緩衝塩基についてみると, +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸群において自然呼吸時 pH 7.38 P_aCO₂ 34mmHg (B_s⁺)b 45 mEq/l が間歇的陽圧呼吸時には pH 7.33 P_aCO₂ 41mmHg (B_s⁺)b 45 mEq/l となつて呼吸性 Acidosis を示し, +20cmH₂O 及び +30cmH₂O 間歇的陽圧呼吸群において pH は上昇して 7.50 及び 7.45, P_aCO₂ は甚だしく低下して 13mmHg, (B_s⁺)b も減少して 36及び 35mEq/l となり呼吸性 Alkalosis と代謝性 Acidosis の状態を示している。

2. 閉胸下における陽陰圧呼吸 (第2表)

動物を開胸することなく陽陰圧呼吸を行った例についてその機能的変化を自然呼吸時と比較すると第2表の如くである。陽陰圧呼吸に用いた圧は +10, -5~10cmH₂O 6例, +20, -15~20cmH₂O 4例, +30~40, -20~30cmH₂O 4例であり, 陽陰圧呼吸の際の換気数は20回/分である。

全換気量は陽陰圧の 大なる 程大となり +10, -10cmH₂O 陽陰圧呼吸群においては平均 4.70l/min (BTPS), +20, -20cmH₂O 群においては 6.17l/min,

第2表 閉胸下における陽陰圧呼吸時の肺循環の変動 上段は自然呼吸時 下段は陽陰圧呼吸時

犬 No.	性 体 重 kg	気管内圧 cmH ₂ O	呼吸数 /min	脈博数 /min	全血氧量 \bar{V} /min (BTFS)	1回換気量 cc/vent (BTFS)	酸素消費量 cc/min (STPD)	肺泡酸素分圧 mmHg	気有効肺泡酸素分圧換気率 %	動脈血酸素含量 Vol%	動脈血酸素飽和度 %	酸動脈血酸素差 Vol%	心博出量 \bar{V} /min	1回搏出量 cc/beat	有効肺血流量 %	混合静脈血酸素分圧 mmHg	下大静脈 圧 mmHg
2	♀ 11	± 10	16	130	2.76	173	54.7	110	48.7	15.1	88.4	2.9	1.86	14.3	63.0	33	
		± 5	20	138	6.06	303	50.0	78	22.0	15.2	88.6	2.9	1.74	12.6	75.0	48	
3	♀ 16	± 10	13	162	1.97	151	57.1	98	55.0	12.6	95.0	2.3	2.52	15.5	90.0	54	
		± 5	19	166	5.46	287	84.0	108	33.0	13.0	98.0	3.2	2.64	15.9	100.0	40	
7	♂ 9	± 10	15	170	1.33	89	19.8	126	25.7	16.3	84.5	3.4	0.58	3.4	70.2	36	
		± 10	20	162	5.53	276	59.3	101	23.2	18.1	94.0	3.5	1.68	10.4	76.2	47	
8	♂ 13	± 10	13	110	2.35	181	56.3	106.4	51.0	14.8	92.0	2.0	2.79	25.4	71.0	49	2.4
		± 10	20	124	4.23	211	82.0	106.6	87.7	17.7	98.0	2.3	3.60	29.1	100.0	51	3.0
9	♂ 10	± 10	21	136	1.73	82	54.0	112	74.5	17.7	89.0	3.5	1.56	11.5	63.5	39	3.1
		± 10	20	118	2.59	129	64.0	122	100.0	19.3	97.0	2.6	2.46	20.8	92.4	57	5.0
10	♀ 14	± 10	10	138	1.24	124	62.0	101	60.2	14.8	86.7	3.9	1.58	11.4	68.0	32	1.7
		± 10	20	128	4.35	218	54.0	117	79.0	16.4	95.8	3.6	1.50	11.7	91.4	43	4.3
平		均	15	141	1.90	133	50.7	109	51.7	15.2	89.3	3.0	1.82	13.6	71.0	41	2.4
			20	139	4.70	237	65.6	106	57.5	16.6	95.2	3.0	2.27	16.8	89.2	48	4.1
29	♂ 15	± 20	14	144	2.54	182	53.0	109	44.7	18.9	97.0	5.1	1.04	7.2	96.0	37	
		± 15	20	138	5.50	275	58.9	121	30.2	18.4	99.6	4.7	1.26	9.1	100.0	33	
30	♂ 11	± 20	10	170	1.93	193	43.3	116.4	57.7	19.7	95.0	2.7	1.61	9.5	95.9	59	1.3
		± 15	20	168	6.06	303	70.0	122	77.0	20.3	98.0	4.1	1.72	10.2	100.0	49	1.9
31	♀ 10	± 20	15	170	1.42	95	33.0	121	70.0	19.2	87.2	2.0	1.62	9.5	91.0	51	
		± 20	20	178	4.72	236	35.0	125	54.5	20.0	98.0	1.7	2.10	11.8	95.0	68	
32	♂ 16	± 20	14	166	2.76	197	54.7	110	40.7	15.1	88.4	3.9	1.40	9.7	63.0	35	
		± 20	20	174	8.40	420	65.0	138	20.0	16.3	95.5	3.7	1.74	10.0	86.1	46	
平		均	13	163	2.16	167	46.0	114	53.3	18.2	91.9	3.4	1.42	9.0	86.5	46	
			20	165	6.17	309	57.2	127	45.4	18.8	97.8	3.6	1.71	10.3	96.0	48	
37	♂ 12	± 30	24	142	2.18	91	24.0	112	52.0	19.8	90.7	1.3	1.80	12.7	87.5	62	4.1
		± 20	20	154	8.26	413	34.0	120	24.5	21.3	96.2	1.7	1.86	12.0	92.1	68	4.8
75	♂ 18	± 35	11	168	2.10	191	47.0	96	36.5	12.2	81.7	2.1	2.24	13.3	49.2	36	
		± 30	20	180	10.80	543	50.0	113	23.0	14.9	98.5	2.3	2.17	12.0	98.0	46	
76	♀ 16	± 40	22	134	2.42	110	54.0	110	50.0	14.8	93.1	3.2	1.68	12.5	80.8	42	2.0
		± 30	20	158	15.30	764	63.0	116	25.0	16.1	98.2	3.5	1.80	11.4	88.0	39	4.7
77	♂ 10	± 40	26	164	2.76	106	54.7	110	43.7	15.1	88.4	3.0	1.85	12.0	63.0	37	
		± 30	20	182	21.41	1072	62.7	134	14.3	16.9	99.0	4.1	1.51	8.3	100.0	39	
平		均	21	152	1.58	125	44.9	107	45.6	15.5	88.5	2.4	1.89	12.6	70.1	44	3.5
			20	169	13.94	698	52.3	121	21.7	17.3	98.0	2.9	1.84	10.6	94.5	48	4.8

右房圧 mmHg	下大静脈 右房圧 勾配 mmHg	股動脈圧 mmHg	肺動脈圧 mmHg	肺毛細 管 圧 mmHg	全肺血管 抵抗 dyne/ sec-cm ⁻⁵	肺小動脈 抵抗 dyne/ sec-cm ⁻⁵	右心対 庄仕事 joule/ min	動脈血 pH	動脈血炭 酸ガス分 圧 mmHg	動脈血緩 衝塩基 mEq/l
		120	11.0	1.7	473	400	2.7	7.51	29	48
		120	10.45	2.6	480	360	2.4	7.39	31	42
		135	14.4	3.5	457	345	4.9	7.38	37	45
		104	9.6	-	291	300	3.34	7.44	29	44
		120	11.5	3.2	1600	1150	0.8	7.37	25	38
		125	11.0	1.5	523	451	2.5	7.32	29	37
1.3	1.1	126	14.0	3.1	400	311	5.2	7.32	42	43
2.0	1.0	109	21.3	5.9	535	392	8.0	7.45	25	42
0.8	2.3	115	12.1	2.35	620	497	2.7	7.36	27	38
3.3	1.7	115	13.8	5.15	448	278	7.5	7.29	32	37
-	0.5	100	8.5	3.6	168	97	17.9	7.41	32	44
3.0	1.3	95	8.8	15.8	469	160	12.6	7.32	42	43
+	0.5	119	11.9	12.9	620	467	5.7	7.34	32	43
+	2.8	111	12.4	3.5	458	324	6.1	7.37	31	41
		126	10.3	2.1	794	630	1.4	7.39	35	45
		120	16.5	6.2	652	522	1.7	7.43	30	44
-	1.0	85	9.1	0.5	452	427	2.0	7.14	50	35
-	0.1	80	6.0	3.0	239	114	1.4	7.32	32	39
		132	14.1	7.0	700	348	3.0	7.26	37	37
		140	13.0	9.2	429	126	5.3	7.32	29	37
		118	11.0	1.7	549	455	2.1	7.38	35	44
		115	10.4	3.08	509	331	2.4	7.54	16	43
		115	11.1	2.8	624	465	2.1	7.29	39	40
		114	11.5	5.4	455	273	2.7	7.40	27	41
-	0.5	102	13.4	3.0	473	377	4.3	7.21	42	37
+	1.2	100	13.4	3.7	613	438	3.3	7.30	30	37
2.2	3.6	124	15.2	2.5	542	454	4.6	7.36	34	42
2.7		124	13.0	3.0	483	369	1.9	7.48	21	42
0	2.0	100	13.2	-	626	661	4.9	7.34	35	41
3.3	1.4	78	9.2	+	412	320	3.7	7.46	10	33
		98	11.0	1.7	473	450	2.7	7.39	37	45
		102	10.9	4.6	580	335	2.1	7.42	12	33
0.6	2.8	107	12.7	1.6	529	486	4.1	7.32	37	42
2.4	2.5	101	11.6	3.7	522	366	2.8	7.42	18	36

+35, -30cmH₂O 群においては 13.94ℓ/min で、自然呼吸時の換気量に比して夫々 2.5倍, 2.9倍, 8.9倍に増加している (第2図)。1回換気量も略々同様の傾向を示した。

O₂ 消費量は自然呼吸時に比して何れの群も軽度の増加を示している。すなわち, +10, -10cmH₂O 陽陰圧呼吸群においては自然呼吸時 50.7cc/min (STPD) が陽陰圧呼吸時には 65.6cc/min, +20, -20cmH₂O の群においては 46.0cc/min が 57.2cc/min, +35, -30cmH₂O の群においては 44.9cc/min が 52.3cc/min となり、陽陰圧の大小と O₂ 消費量の増加の程度の間には特別な関係は認められない。

肺泡気 O₂ 分圧は +10, -10cmH₂O 陽陰圧呼吸群では自然呼吸時に比して殆んど変化なく, +20, -20cmH₂O 群及び +35, -30cmH₂O 群においては軽度の増加を示し、夫々 114mmHg が 127mmHg に、107mmHg が 121mmHg に増加した。

有効肺泡換気率は +10, -10cmH₂O 陽陰圧呼吸群においては増減不定, +35, -30cmH₂O 群においては陽陰圧呼吸によつて全例低下した。

有効肺血流率は陽陰圧呼吸によつて著しく改善される。+10, -10cmH₂O 陽陰圧呼吸群においては自然呼吸時 71.0% であつた有効肺血流率は陽陰圧呼吸により 89.2%に増加し, +20, -20cmH₂O 群においては 86.5%が 96.0%と更に著明な増加がみられ, +35, -30cmH₂O 群においても 70.1%が 94.5%に増加している。

末梢動脈血 O₂ 含量は +10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時 15.2 Vol%のものが陽陰圧呼吸時には 16.6 Vol%に, +20, -20cmH₂O 群においては 18.2 Vol%が 18.8 Vol%に, +35, -30cmH₂O 群においては 15.5 Vol%が 17.3 Vol%となり各群共陽陰圧呼吸によつて末梢動脈血 O₂ 含量に軽度の増加がみられた。

末梢動脈血 O_2 飽和度も陽陰圧呼吸によつて上昇する。+10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時 89.3% のものが陽陰圧呼吸により 95.2% に, +20, -20cmH₂O 群においては 91.9% が 97.8% に, +35, -30cmH₂O 群においては 88.5% が 98.0% に夫々上昇した。これら各群の末梢動脈血 O_2 飽和度の上昇は、陽陰圧呼吸に用いる圧が大なる程著しい傾向がみられる(第3図)。

混合静脈血 O_2 分圧は陽陰圧呼吸によつて軽く上昇する。すなわち自然呼吸時の混合静脈血 O_2 分圧は平均 41~46mmHg であるが、陽陰圧呼吸時には各群とも平均 68mmHg とかなり著しい上昇を示した。(第4図)。

動静脈血 O_2 較差は一定の傾向を示さず、+10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時に比して増減種々であり、+20, -20cmH₂O 群においては4例中3例に軽度の減少、+35, -30cmH₂O 群においては全例に軽度の増加をみた。

心搏出量は軽い陽陰圧呼吸によつて増加し、加える圧が大きい場合には却つて減少する例もみられる。すなわち、+10, -10cmH₂O 陽陰圧呼吸群においては6例中5例が増加し、その平均値は自然呼吸時 1.82 l/min, 陽陰圧呼吸時 2.27 l/min であり、+20, -20cmH₂O 群においては全例に増加をみ、その平均値は自然呼吸時 1.42 l/min 陽陰圧呼吸時 1.71 l/min である。+35, -20cmH₂O 群においては4例中2例は心搏出量の増加を来たしたが他の2例は却つて軽度の減少を来たした(第5図)。

心搏数は陽陰圧呼吸に用いる圧の小さな例では増減不定であるが、大きな圧を用いた例では増加傾向を示した。

1回搏出量は加える圧の小さな例において増加し、大きな圧を用いた例において減少する。すなわち+10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時 13.6 cc/beat が陽陰圧呼吸時には 16.8 cc/beat に, +20, -20cmH₂O 群では 9.0 cc/beat が 10.3 cc/beat に夫々増加し、+35, -30cmH₂O 群では自然呼吸時 12.6 cc/beat が陽陰圧呼吸時には 10.6 cc/beat に減少した。

末梢動脈血圧は各群とも軽度の低下を来たす例が多く、+10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時 119 mmHg が陽陰圧呼吸時には 111 mmHg に, +20, -20cmH₂O 群においては 115 mmHg が 114 mmHg に, +35, -30cmH₂O 群においては 107 mmHg が 101 mmHg に低下した。

肺動脈圧の変動は各群とも種々で、増加例減少例相半ばし、一定の傾向を示さない。

肺毛細管圧(Wedge Pressure)は+10, -10cmH₂O 程度の陽陰圧呼吸時には増減一定しないが、大きな圧を用いた場合には明らかに上昇する。すなわち+20, -20cmH₂O 群においては自然呼吸時 2.8 mmHg が陽陰圧呼吸時には 5.4 mmHg, +35, -30cmH₂O 群においては 1.6 mmHg が 3.7 mmHg と上昇した。

全肺血管抵抗は増減種々であるが、平均値では各群とも軽度の減少の傾向を示した。すなわち+10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時平均 620 dyne/sec·cm⁻⁵ が陽陰圧呼吸時には 458 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +20, -20cmH₂O 群においては 624 dyne/sec·cm⁻⁵ が 455 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +35, -30cmH₂O 群においては 529 dyne/sec·cm⁻⁵ が 522 dyne/sec·cm⁻⁵ に何れも減少の傾向を認めた。肺の小動脈抵抗は殆んど全例に減少し、+10, -10cmH₂O 群においては自然呼吸時 467 dyne/sec·cm⁻⁵ が陽陰圧呼吸時には 324 dyne/sec·cm⁻⁵ に+10, -20cmH₂O 群においては 465 dyne/sec·cm⁻⁵ が 273 dyne/sec·cm⁻⁵ に, +35, -30cmH₂O 群においては 486 dyne/sec·cm⁻⁵ が 366 dyne/sec·cm⁻⁵ に減少した。

圧に対する右心の仕事は+10, -10cmH₂O 群, +20, -20cmH₂O 群において増減一定傾向なく、+35, -30cmH₂O 群において陽陰圧呼吸によつて全例減少した。

下大静脈圧及び右房圧は両者とも陽陰圧呼吸によつて上昇し、且つその上昇の度は右房圧の方が著しいので下大静脈-右房の圧勾配は陽陰圧呼吸によつて縮小する。但しその縮小の程度は先に述べた閉胸下間歇的陽圧呼吸の場合に比すれば遙かに軽度である(第6図)。

動脈圧の酸塩基平衡は小さな圧を用いた時の陽陰圧呼吸の場合、呼吸性 Acidosis, 呼吸性 Alkalosis 相半ばし、中等度の圧を用いる時は呼吸性 Alkalosis となり、さらに大きな圧を用いた場合にはこれに代謝性 Acidosis の傾向が加わってくる。すなわち中等度の圧+20, -20cmH₂O 群においては自然呼吸時 pH 7.29, Paco₂ 39 mmHg, (B_v+)_b 40 mEq/l が陽陰圧呼吸時には pH 7.40, Paco₂ 27 mmHg, (B_v+)_b 41 mEq/l となつて過呼吸による呼吸性 Alkalosis の状態を呈する。一層大きな圧+35, -30cmH₂O 群においては自然呼吸時 pH 7.32, Paco₂ 37 mmHg が陽陰圧呼吸時には pH 7.42, Paco₂ 18 mmHg で呼吸性 Alkalosis となる。4例中2例はさらに (B_v+)_b が自然呼吸時 43 mEq/l, 陽陰圧呼吸時 33 mEq/l と減少して代謝性 Acidosis をも伴っている。

3. 開閉下における陽陰圧呼吸と間歇的陽圧呼吸(第

第3表 開胸下における陽陰圧呼吸時及び間歇的陽圧呼吸時の肺循環の変動

犬 No.	性 体重 kg	気管内圧 cmH ₂ O	呼吸数 /min	脈搏数 /min	全換気量 ℓ/min (BTPS)	1回換気量 cc/vent (BTPS)	酸素消費量 cc/min (STPD)	動脈血酸素飽和度 %	動脈血酸素較差 Vol%	心搏出量 ℓ/min	1回搏出量 cc/beat	混合静脈血酸素分圧 mmHg	下大静脈圧 mmHg	右房圧 mmHg	下大静脈圧-右房圧勾配 mmHg	股動脈圧 mmHg	肺動脈圧 mmHg	全肺血管抵抗 dyne/cm ² sec-cm ⁻⁵
70	♂ 12	+23, -23 +25	20 20	164 200	8.78 8.30	434 415	78 75	98.2 98.0	6.3 6.3	12.4 1.19	7.6 6.0	45 33	+1.1 +1.5	0.3 +	1.4 0.3	110 140	13.3 16.2	859 1090
71	♀ 12	+22, -23	20 20	120 132	14.5 13.6	725 560	55 67	98.3 97.4	4.7 6.6	1.17 1.02	8.9 7.7	61 23	+2.0 +2.2	+1.6 +1.0	0.4 1.1	70 68	11.4 14.7	780 1150
73	♂ 9	+20, -17 +20	20 20	162 184	10.5 9.9	525 495	47 43	99.4 100.0	3.4 3.7	1.38 1.16	8.5 6.3	43 43	+1.4 +2.2	0 +	1.4 1.7	140 140	9.7 10.9	560 755
74	♂ 10	+18, -18 +20	20 20	138 160	12.5 11.6	656 611	33 33	99.8 98.9	2.6 3.3	1.26 0.99	9.2 6.2	47 43				115 120	12.5 14.6	790 1180
平均		+21, -22	20 20	146 169	11.6 10.9	586 520	53 55	98.9 97.6	4.3 5.0	1.20 1.09	8.6 6.6	49 36	+1.5 +2.0	+0.4 +	+1.1 +1.0	109 117	11.7 14.1	747 1044

3表)

調節呼吸は臨床的には開胸手術に行われることも多いので次に開胸下の調節呼吸による循環動態の変化を追求した。犬においては縦隔は極めて菲薄で、偏側開胸を行つても反対側肺も半ば虚脱し、その呼吸運動も著しく減弱し、開胸して自然呼吸のまま放置すれば呼吸障害に基く低 O₂ 状態が急速に進行して Steady State を得ることなく死亡するので、この状態にあつては Fick の原理を応用した循環動態の検索は不可能である。そこで本実験では両側開胸を行い、同時に筋弛緩剤によつて自発的呼吸運動を消失せしめ直ちに陽陰圧呼吸を開始し、約2時間の後 Steady State に達してから開胸下陽陰圧呼吸時の各種測定を行い、次いで調節呼吸を間歇的陽圧呼吸に切換えて再び約2時間の後 Steady State の状態にあることを確かめて開胸下間歇的陽圧呼吸時の循環動態を測定した。調節呼吸に用いた圧は陽陰圧呼吸の場合 +21, -19cmH₂O 内外、間歇的陽圧呼吸の場合 +22cmH₂O 程度で、換気数は毎分20回である。各例とも陽陰圧呼吸と間歇的陽圧呼吸の吸気相には略々同じ陽圧を加えているので、各検索結果における陽陰圧呼吸時と間歇的陽圧呼吸時の差異は呼気相に陰圧を加えるか否かの相異に由来するものである。

全換気量及び1回換気量は何れも陽陰圧呼吸の方が間歇的陽圧呼吸よりも大である。全換気量は陽陰圧呼吸時平均 11.6ℓ/min (BTPS) であるが、間歇的陽圧呼吸時には 10.9ℓ/min である。1回換気量は陽陰圧呼吸時平均 586cc/vent (BTPS) であるが間歇的陽圧呼吸時には 520cc/vent と減少している。

O₂ 消費量は陽陰圧呼吸時と間歇的陽圧呼吸時の間に有意の差を認めない。

末梢動脈血 O₂ 飽和度は陽陰圧呼吸時の方が間歇的陽圧呼吸時よりも高値を示す例が多く、平均値として陽陰圧呼吸時 98.9%、間歇的陽圧呼吸時 97.6%である。

混合静脈血 O₂ 分圧は陽陰圧呼吸時において間歇的陽圧呼吸におけるよりも高値を保ち、間歇的陽圧呼吸においては陽陰圧呼吸に比してかなり低下する。その平均値は陽陰圧呼吸時 49mmHg、間歇的陽圧呼吸時 36mmHg である。

心搏出量は全例陽陰圧呼吸の方において高値を示し、その平均値として陽陰圧呼吸時 1.26ℓ/min、間歇的陽圧呼吸時 1.09ℓ/min で減少している。心搏数は間歇的陽圧呼吸時に増加する。従つて心の1回搏出量は間歇的陽圧呼吸時小さく、陽陰圧呼吸時平均 8.6cc/beat、間歇的陽圧呼吸時平均 6.6cc/beat である。

末梢動脈血圧は種々で両調節呼吸の間に一定の傾向を認めない、

肺動脈圧は全例間歇的陽圧呼吸時に高値を示し、陽陰圧呼吸時平均 11.7mmHg, 間歇的陽圧呼吸時 14.1 mmHg である。

全肺血管抵抗は間歇的陽圧呼吸時において陽陰圧呼吸時に比して甚だしく増大し、その平均値は陽陰圧呼吸時 747 dyne/sec·cm⁻⁵, 間歇的陽圧呼吸時 1044 dyne/sec·cm⁻⁵ である、

下大静脈圧及び右心房圧は何れも陽陰圧呼吸から間歇的陽圧呼吸に移ると上昇するが、下大静脈-右房の圧勾配は測定し得た 3 例中増加 2 例, 減少 1 例であった。

B. 形態学的検索成績

調節呼吸による肺の形態学的変化の主なるものを概観すると次の如くである。

肉眼的には各実験群とも出血, 肺肋膜の裂け, 肺実質の破裂, 肋膜腔内異常浸出等の著明な変化はみられない。

組織学的には各実験群とも全く正常ではなく、循環障碍, 含気量増大, 炎症性変化, 修復性変化などがみ

られた。すなわち肺胞中隔血管の拡張充盈 (第 9 図), 肺胞内出血 (第 14, 15 図), 肺胞内浸出 (第 16 図), 気管枝内出血 (第 12, 13 図), 気管枝周囲出血 (第 17 図), 動脈周囲出血 (第 18 図), 無気肺 (第 8 図), 肺胞壁の伸展 (含気量増大) (第 10, 11 図), 限局性化膿巣, 肉芽組織, 肉変 (第 19 図) 等である。無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈は程度の差はあるが対照群をも含めた全実験群にみられた。これらの病変は限局性で瀰漫性ではなく、また一定の病変が肺の一定部位に好発することなく肺全体に散在性にみられた。調節呼吸の持続時間との関係については調節呼吸 6 時間の例も 2 時間の例も大差はない。

各実験群の形態学的変化は次の如くである

1. 対照群 (麻酔閉胸下自然呼吸群) (第 4 表)

全例に軽度乃至中等度の無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈があり肉芽組織, 限局性化膿巣を有するものが各 1 例みられた、

2. 閉胸下における間歇的陽圧呼吸

犬を開胸することなく閉胸のままの間歇的陽圧呼吸を行った例の組織学的変化は次の如くである (第 5 表)。間歇的陽圧呼吸に用いた圧は +10cmH₂O, +15

第 4 表 対照群の形態学的変化

犬 No.	病 変 の 程 度								
	無気肺	中隔血管 拡張充盈	含気量 増大	肺胞内 出血	肺胞内 浸出	気管枝 内出血	気管枝周囲 出血	肉芽	限局性 化膿巣
4	+	+	-	-	-	-	-	-	-
5	+	+	-	-	-	-	-	+	-
88	++	++	-	-	-	-	-	-	-
89	+	+	-	-	-	-	-	-	+

各例についての病変の評価は、正常 (-) 略々正常 (±), 軽度 (+) 中等度 (++)、高度 (+++) を以て記載した。

第 5 表 閉胸下における間歇的陽圧呼吸時の肺の形態学的変化

犬 No.	気管内圧 cmH ₂ O	病 変 の 程 度						
		無気肺	中隔血管 拡張充盈	含気量 増大	肺胞内 出血	肺胞内 浸出	気管枝内 出血	気管枝周囲 出血
45	+ 10	++	++	+	-	-	-	-
47	+ 15	+	+	-	-	-	-	-
50	+ 20	+	+	++	-	-	-	-
51		++	++	-	-	-	-	-
55	+ 30	++	++	+	++	-	-	+
56		+	+	+	+	-	+	-
61	+ 40	+	+	++	++	-	+	-
62		+	+	+	+	-	-	±

(・印は 6 時間)

cmH₂O 各 1 例, +20cmH₂O, +30cmH₂O, +40cmH₂O 各 2 例, 間歇的陽圧呼吸の持続時間は原則として 2 時間で, No. 56, 62 は 6 時間である。

比較的低い圧を用いた例においては肺の組織学的所見は対照例のそれと大差はないが, 大きな圧を加えた例においては肺胞内, 気管枝内, 気管枝周囲に出血を伴うものが多い。

+10~15cmH₂O 間歇陽圧呼吸例においては対照群の場合と同様に無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈が軽度乃至中等度にみられ, また軽度の含気量増大がみられた。+20cmH₂O 群においても略々同様の所見がみられるが, 含気量の増大は一層著明である。+30~40cmH₂O の例においては無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈は +20cmH₂O 以下の圧の群と同様であるが, その他に中等度の肺胞内出血, 軽度の気管枝内及び気管枝周囲の出血がみられた。+30cm 及び 40 cmH₂O 間歇陽圧呼吸を 6 時間持続した例 (No. 56, 62) においても肺の組織学的所見は 2 時間持続例のそれと特に相違しない。

3. 開胸下における間歇的陽圧呼吸

開胸下に間歇的陽圧呼吸を行った際の肺の組織学的変化は次の通りである (第 6 表)。間歇的陽圧呼吸に用いた圧は +10cmH₂O 1 例, +15cmH₂O 2 例, +20cmH₂O 3 例, +30cmH₂O 4 例, +40cmH₂O 3 例で, 間歇的陽圧呼吸の持続時間は 2 時間, No. 60, 65 における持続時間は 6 時間である。

+10, 15, 20cmH₂O 間歇的陽圧呼吸例においては

全例に軽度乃至中等度の無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈が認められるのみで, 先に述べた対照群と異なることはない。

+30cmH₂O 及び +40cmH₂O 間歇的陽圧呼吸例においては軽度の無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈等対照例あるいは +20cmH₂O 以下の間歇的陽圧呼吸例におけると同様な所見他には重要な所見として全例に含気量の軽度乃至高度の増大, 大部分の例に肺胞内及び気管枝内に軽度の出血を認め, また +40cmH₂O の間歇的陽圧呼吸の 1 例においては肺胞内に浸出液の貯溜を認めた。これらの異常所見の出現及び程度は +30cmH₂O 群及び +40cmH₂O 群においても殆んど同じで, 両群の間に相違は認められない。また, +30 cmH₂O, +40cmH₂O を以て間歇的陽圧呼吸を 6 時間持続した例 (No. 60, 65) と, 2 時間持続した例との間にも特別な相違は認められず, No. 65 においては異常所見はむしろ軽度である。

4. 閉胸下における陽陰圧呼吸

閉胸のまま陽陰圧呼吸を行った場合の肺の組織学的変化は次の通りである (第 7)。

陽陰圧呼吸に用いた圧は +10, -15cmH₂O 3 例, +15, -5cmH₂O 2 例, +20, -5cmH₂O 1 例, +10, -10cmH₂O 4 例, +15, -10cmH₂O 1 例, +20, -10cmH₂O 2 例, +30, -10cmH₂O 1 例, +40, -10cmH₂O 2 例, +15, -15cmH₂O, +20, -15cmH₂O, +15, -20cmH₂O, +20, -20cmH₂O 各 1 例, +30, -20cmH₂O 3 例で, 陽陰圧呼吸の持続

第 6 表 開胸下における間歇的陽圧呼吸時の肺の形態学的変化

犬 No.	気管内圧 cmH ₂ O	病 変 の 程 度							
		無気肺	中隔血管 拡張充盈	含気量 増大	肺胞内 出血	肺胞内 浸出	気管枝内 出血	気管枝周囲 出血	限局性 化膿巣
46	+ 10	+	+	-	-	-	-	-	-
48	+ 15	+	+	-	-	-	-	-	-
49		++	++	-	-	-	-	-	-
52	+ 20	+	+	-	-	-	-	-	-
53		+	+	-	-	-	-	-	-
54		+	+	-	-	-	-	-	-
57	+ 30	+	+	++	+	-	-	-	-
58		+	+	+	-	-	+	-	-
59		+	+	++	++	-	-	-	-
• 60		+	+	+++	+	-	+	-	-
63	+ 40	+	+	++	+	-	+	-	-
64		+	+	+	++	+	-	-	-
• 65		+	+	++	-	-	-	-	-

(• 印は 6 時間)

第7表 閉胸下における陽陰圧呼吸時の肺の形態学的変化

犬 No.	気管内圧 cmH ₂ O	病 変 の 程 度								
		無気肺	中隔血管 拡張充盈	含気量 増 大	肺胞内 出 血	肺胞内 浸 出	気管枝 内出血	気管枝周 囲 出 血	動脈周 囲出血	限局性 化膿巣
1	+ 10	+	+	-	-	-	-	-	-	
2		+	+	-	-	-	-	-	-	
3	- 5	##	##	-	-	-	-	-	-	
12	+ 15	##	##	-	-	-	-	-	-	
13	- 5	+	+	-	-	-	-	-	-	
23	+ 20 - 5	+	+	+	-	-	-	-	-	
7		+	+	-	-	-	-	-	-	
8	+ 10	+	+	-	-	-	-	-	-	
9	- 10	##	##	-	-	-	-	-	-	
10		+	+	-	-	-	-	-	-	
15	+ 15 - 10	+	+	-	-	-	-	-	-	
25	+ 20	##	##	-	-	-	-	-	-	
41	- 10	+	+	-	-	-	-	-	-	
40	+ 30 - 10	+	+	##	+	-	-	-	+	
35	+ 40	+	+	##	##	-	+	-	-	
36	- 10	+	+	##	+	-	-	-	-	
19	+ 15 - 15	##	##	-	+	-	+	-	+	
29	+ 20 - 15	+	+	-	-	-	-	-	-	
21	+ 15 - 20	+	+	-	##	-	+	-	-	
31	+ 20 - 20	+	+	-	##	+	+	-	+	
37	+ 30	##	##	-	+	-	-	-	-	
43		+	+	+	##	+	-	-	-	
44	- 20	+	+	+	+	-	-	+	-	

(.印は6時間)

時間は2時間, No. 44 のみは6時間である。

第7表は各実験例を陽陰圧呼吸時の呼吸相に加える陰圧の大きさの順に配列したものであるが, この表を一見して明らかなように, 陰圧 $-10\text{cmH}_2\text{O}$ 以内で, 且つ陽圧 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以下の13例においては肺の組織学的異常所見は軽度乃至中等度の無気肺と肺胞中隔血管の拡張充盈のみで, その程度においても対照群と殆んど差異はない。陽圧が $+20\text{cmH}_2\text{O}$ を越えた6例 (No. 40, 35, 36, 37, 43, 44) では無気肺, 肺胞中隔血管の拡張充盈の他に含気量の増加, 肺胞内, 気管枝内への出血がみられ, さらに動脈周囲にも出血がみられる。一方陽圧は $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以内でも陰圧が $-10\text{cmH}_2\text{O}$ を越える4例 (No. 19, 29, 21, 31) において無気肺, 肺胞中隔血管の拡張充盈の他に比較的著明な肺胞出血並びに気管枝内出血が認められ, 動脈周囲の

出血及び肺胞内浸出液の貯溜がみられることもある。

5. 開胸下における陽陰圧呼吸

開胸下に陽陰圧呼吸を行った場合の肺の組織学的変化は次の如くである (第8表)。

陽陰圧呼吸に用いた圧は $+10, -5\text{cmH}_2\text{O}, +15, -5\text{cmH}_2\text{O}, +20, -15\text{cmH}_2\text{O}, +10, -10\text{cmH}_2\text{O}, +15, -10\text{cmH}_2\text{O}$ 各1例, $+20, -10\text{cmH}_2\text{O}$ 2例, $+30, -10\text{cmH}_2\text{O}, +15, -15\text{cmH}_2\text{O}, +20, -15\text{cmH}_2\text{O}, +15, -20\text{cmH}_2\text{O}$ 各1例, $+20, -20\text{cmH}_2\text{O}$ 2例, $+30, -20\text{cmH}_2\text{O}$ 1例で, 陽陰圧呼吸の持続時間は2時間, No. 34 のみは6時間である。

この場合にも陰圧 $-10\text{cmH}_2\text{O}$ 以内で, 且つ陽圧 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以下の7例においては肺の所見は対照例と大差なく, 軽度乃至中等度の無気肺と肺胞中隔血管の拡張充盈がみられるのみでその他の異常所見はみら

第8表 開胸下における陽陰圧呼吸時の肺の形態学的変化

犬 No.	気管内圧 cmH ₂ O	病 変 の 程 度							
		無気肺	中隔血管 拡張充盈	含気量 増大	肺胞内 出血	肺胞内 浸出	気管枝内 出血	気管枝周囲 出血	動脈周囲 出血
6	+ 10 - 5	++	++	-	-	-	-	-	-
14	+ 15 - 5	+	+	±	-	-	-	-	-
24	+ 20 - 5	+	+	±	-	-	-	-	-
11	+ 10 - 10	++	++	-	-	-	-	-	-
16	+ 15 - 10	+	+	-	-	-	-	-	-
28	+ 20	++	++	-	-	-	-	-	-
42	- 10	+	+	±	-	-	-	-	-
39	+ 30 - 10	+	+	++	+	-	-	-	-
20	+ 15 - 15	+	+	-	-	-	-	+	+
30	+ 20 - 15	+	+	-	+	-	-	-	-
22	+ 15 - 20	+	+	-	++	+	-	-	-
33	+ 20	++	++	-	+	-	-	-	-
34	- 20	+	+	-	+	+	-	+	-
38	+ 30 - 20	+	+	++	+	-	-	-	-

(・印は6時間)

第9表 閉胸下陽陰圧呼吸後生存例の肺の形態学的変化

犬 No.	気管内圧 cmH ₂ O	生存 期間 (日)	病 変 の 程 度							
			無気肺	中隔血管 拡張充盈	含気量 増大	肺胞内 出血	肺胞内 浸出	気管枝内 出血	気管枝周囲 出血	肉 変
17	+ 15	1	+	+	-	-	-	-	-	-
18	- 10	7	++	++	-	-	-	-	-	-
26	+ 20	2	++	++	-	-	-	-	-	-
27	- 10	5	+	+	-	-	-	-	-	-
66	+ 30	1	++	++	-	-	-	-	-	+
67		7	+	+	-	-	-	-	-	-
68		1	+	+	-	-	-	-	-	-
69	- 20	10	++	++	-	-	-	-	-	-

れない。陽圧が +20cmH₂O を越えた2例 (No. 39, 38) においては含気量のかかなりの増大と軽度の肺胞内出血がある。陽圧は +20cmH₂O 以下であるが陰圧が -10cmH₂O を越える6例 (No. 20, 30, 22, 33, 34, 38) においては無気肺, 中隔血管の拡張充盈と共に軽度乃至中等度の肺胞内出血がみられ, その他気管枝周囲や動脈周囲に小出血が散見され, 肺胞内に少量の浸出液が認められる。

6. 閉胸下陽陰圧呼吸後数日間生存例

以上各項に述べた調節呼吸による肺の形態学的変

化, 就中組織学的変化が永続的なものかどうか, また, 一過性の可逆的なものであればどれ位の期間で回復するものかを検討するために, 数例の犬について閉胸下で陽陰圧呼吸を行つた後1~10日間生存させてからこれを屠殺して肺の形態学的変化を追求した (第9表)。陽陰圧呼吸に用いた圧は陽圧 +15~30cm H₂O, 陰圧 -10~20cmH₂O で, 陽陰圧呼吸の持続は2時間, 生存期間は第9表に示す如く1~10日間である。

実験後犬は外見上特に異常なく, 麻酔の覚醒と同時

に元気に活動し始めた。肺の変化は第9表の如くで肉眼的には全例異常所見なく、組織学的には8例における主な所見は軽度乃至中等度の無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈で、1日生存例中の1例(No. 66)において肉変と考えられる所見が認められたに過ぎない。すなわち無気肺の病変の中に円形細胞浸潤と線維の増殖があり、中性好白血球の浸潤が僅かに認められた。

総括並びに考按

A 機能面からの考察

間歇的陽圧呼吸時及び陽陰圧呼吸時の肺機能並びに循環動態を検討し、調節呼吸として何れの呼吸型式がよりすぐれているか、また、その際用いる圧はどの程度の大きさが最も適当であるかを考察する。

まず閉胸下間歇的陽圧呼吸時及び陽陰圧呼吸時の肺の換気機能の面について観察すると、+10cmH₂O程度の圧を用いた間歇的陽圧呼吸の時全換気量、1回換気量共に平均値において自然呼吸時に比して軽度の増加がみられるが、個々の値において却つて減少したのもも存する。本実験では調節呼吸を開始する前の自然呼吸は既に深麻酔の状態におけるもので、麻酔前の正常な呼吸に比較すればある程度呼吸抑制の状態におかれている訳である。従つて調節呼吸を行つた場合には換気量については単に麻酔下自然呼吸時の換気量を維持するのみでは不十分で、これを凌駕して麻酔前自然呼吸時の換気量を得ることを目標としなければならない。この考えに基く時は+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸では充分な換気量は得られない場合が多く、一層大きな圧を用いることによつて大なる換気量を得ることが望ましい。陽陰圧呼吸では+10、-10cmH₂O陽陰圧呼吸によると換気量は既に術前自然呼吸時の値を大きく上廻り、適用する圧が大なる程換気量も大きくなるが、単に換気量の面だけからみれば陽陰圧呼吸は+10、-10cmH₂Oで充分である(第2図)。

間歇的陽圧呼吸時のO₂消費量は自然呼吸時に比してさ程増加しないが、+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸群においては間歇的陽圧呼吸によつてO₂消費量が却つて減少した例が多く、+20cm以上の圧を用いた間歇的陽圧呼吸群においては殆んど全例O₂消費量は軽く増加している。+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸でO₂消費量の減少した例でも呼気吸気のO₂較差は決して縮小していないので、この場合O₂の消費量の減少は換気量の不足によるものと考えられる。

肺泡気O₂分圧についてもO₂消費量と全く同様な傾向がみられ、+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸群においては間歇的陽圧呼吸によつて肺泡気O₂分圧が却つ

て低下する例があり、+20cmH₂O以上の圧を用いた間歇的陽圧呼吸群においては肺泡気O₂分圧はすべて上昇している。

更に有効肺血流率の増減によつて換気の肺内分布の状態を窺うと+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸群においては殆んど全例に有効肺血流率の低下がみられる。先にもふれたように有効肺血流率は主として肺換気の肺胞への分布の良否を反映するものであつて、+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸時の有効肺血流率の低下はこの圧を以て気管内へ吸気を送入してもその吸気は各肺胞に均等に分布されるにはなお不足で、その結果肺胞壁への血流は充分に行われているにもかかわらずこれに相当すべきGasの出入りが充分に行われぬ肺胞が増加することを示すものである。+20cmH₂O以上の圧を用いた例においては間歇的陽圧呼吸によつて有効肺血流率は全例上昇し麻酔下自然呼吸時を凌駕する良い値を示している。陽陰圧呼吸時の有効肺血流率は+10、-10cmH₂Oの圧の下に平均89.2%となり自然呼吸時に比して大きな改善がみられ、+20、-20cmH₂Oの圧の下にはさらに上昇するが、一層大きな陽・陰圧を用いても有効肺血流率にはそれ以上の上昇はみられない。

これらの点を総合すると+10cmH₂O間歇的陽圧呼吸においては自然呼吸に比して換気機能は明らかに低下し、+20cmH₂Oの圧を用いることによつて始めて充分な肺換気を保持することが出来る。陽陰圧呼吸の場合は+10、-10cmH₂Oの圧の下で略々充分な換気機能を得ることが出来るが、+20、-20cmH₂Oの圧によつて一層良好な換気を得ることが出来る。閉胸下調節呼吸時の換気量あるいは換気圧に関しては従来多数の報告がみられ^{15,2,16,17,18,19)}、これらを総合すると間歇的陽圧呼吸においてはおよそ8~25cmH₂Oの圧を用いて6~10l/minの換気量を得ているものが多く、陽陰圧呼吸においては陽圧は+15~20cmH₂O陰圧は-10~15cmH₂Oで8~10l/minの換気量が最適とされ、著者の得た上述の成績と大差はない。

次に調節呼吸による循環動態の変動をみると、まず体循環の面で、間歇的陽圧呼吸時の股動脈圧は自然呼吸時に比して殆んど全例低下している。その低下の程度と間歇陽圧の加圧の度との関連をみると、+10cmH₂O群においては10mmHg(7.6%)、+20cmH₂O群においては16mmHg(13.5%)、+30cmH₂O以上の群においては25mmHg(18.1%)の低下で、間歇的陽圧呼吸に用いる圧が大きい程血圧下降が著しい。陽陰圧呼吸においては何れの圧によつても血圧の変動は軽度で、且つ一定の傾向を示さず、間歇的陽圧呼吸の際に

みられた如き血圧の低下はみられない。従つて間歇的陽圧呼吸時の血圧の低下は次に述べる気管内加圧に基づく心搏出量の減少によるものと考えられる。

心搏出量は +10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸時、自然呼吸時に比して25%の減少、+20cmH₂O 時58%の減少、+30cmH₂O 時52%の減少を示した(第5図)。1回搏出量も分時心搏出量と同様の態度をとり、+10cmH₂O 間歇的陽圧呼吸時 30.7%の減少、+20cmH₂O 時 46.0%の減少、+30cmH₂O 時 54.9%の減少を示した。間歇的陽圧呼吸による心搏出量及び1回搏出量の減少は Frank²⁰⁾等、Humphreys等^{21,22)} Holt²³⁾、Taylor²⁴⁾等、卜部等²⁵⁾、秋山²⁶⁾、Motley等³⁾も述べている如く吸気時気管内加圧による胸腔内陰圧相の消失によつて胸腔内外の大静脈系の圧勾配が縮小し、静脈還流が障碍されることがその主因をなしていると考えられる。實際著者の実験で右房圧及び下大静脈圧を測定し得た例において、間歇的陽圧呼吸によつて右房圧、下大静脈圧共に上昇し、両者の圧勾配は減少し、且つこの圧勾配の減少は間歇的陽圧呼吸に用いる圧の大なる程その減少は著しい(第6図)。De Lalla²⁷⁾は気管内に陽圧を加えて大静脈の圧が上昇し、圧勾配が縮小すると、直ちに末梢静脈の反射性収縮や循環系内に貯溜されていた血液の動員などの代償機能によつて末梢静脈圧を高めて圧勾配の縮小を防ぎ静脈還流を保持しようとするもので、この代償機能の効果が減少するかあるいは気管内に加えられる陽圧が代償能力以上に大なるとき静脈還流は減少して心搏出量の減少を来し遂に循環不全に陥るものであると述べている。著者の実験においては調節呼吸の開始に際して d-Tubocurarine Chloride を用いているので、これによる完全な筋緊張の消失は末梢静脈圧の低下を来たして静脈還流を妨げる作用の一つとなるであろうし、さらに大量の Curare は自律神経系の反射抑制作用を有するので、Burstein等²⁸⁾、卜部等²⁹⁾も述べているように大量の Curare 投与によつて静脈圧勾配の減少に対する合目的な生体の反射である末梢静脈の反射性収縮が抑制されることも充分考えられるので、これらの機能が相乗的に働いて静脈圧勾配を縮小せしめ、右心の静脈還流は減少し、肺循環系の抵抗の増大と相俟つて心搏出量を甚だしく減少させているものと考えられる。

一方 Price等⁵⁾、Motley等³⁾、Maloney等¹⁷⁾、秋山²⁶⁾、恩地³⁰⁾は間歇的陽圧呼吸においても、その加圧相と除圧相の時間的比率を適当に選び、且つ気管内圧曲線においてその上行脚は緩徐に、下行脚は急峻になるような加圧型式をとれば、特に個体の側に循環系や脈管運動性に関して異常のない限り長時間の間歇的

陽圧呼吸を行つても心搏出量や末梢動脈血圧に変化のないことを動物実験や臨床例について認めている。著者の実験においては先に述べたように、使用した装置の性能上これらの点について検討出来なかつたことはまことに遺憾であつた。

間歇的陽圧呼吸は上に述べたように循環系殊に静脈還流、心搏出量に対して大きな障碍を伴うものであるが、陽陰圧呼吸がこれらに及ぼす影響は遙かに軽度である。すなわち +10、-10cmH₂O 及び +20、-20cmH₂O の陽陰圧呼吸においては心搏出量は軽く増加し、+35、-30cmH₂O 陽陰圧呼吸のとき心搏出量は軽度の減少を来たすにすぎない(第5図)。下大静脈、右房の圧は陽陰圧呼吸の際にも上昇するが、その圧勾配の縮小は加圧相においても僅微である(第6図)。調節呼吸における静脈還流及び心搏出量への障碍が陽陰圧呼吸の際に間歇的陽圧呼吸時よりも遙かに軽微なのは、陽陰圧呼吸の場合には呼気相に陰圧をかけることによつて、同程度の圧を用いた間歇的陽圧呼吸の場合に比して平均気管内圧が低く、静脈還流に及ぼす障碍が軽度であり、また陰圧時には胸腔内圧が急激に低下して静脈還流をむしろ促進することになり、さらに間歇的陽圧呼吸時にみられるような肺循環系の抵抗の増大も殆んど起らないことなどによるものと考えられる。これらの点に関しては Hörnicke等³¹⁾、片根¹⁸⁾、Poppelbaum等³²⁾、Maloney等¹⁷⁾も同じ見解を發表している。

肺動脈圧、肺毛細管圧、全肺血管抵抗及び肺小動脈抵抗は何れも間歇的陽圧呼吸によつて上昇する。肺動脈圧と肺毛細管圧の上昇の程度は後者の方がより大きく、肺動脈-肺毛細管の圧勾配は間歇的陽圧呼吸の圧が大きくなる程減少し、従つて肺小動脈抵抗の増大の程度は圧の大なる程軽減される。間歇的陽圧呼吸時の肺毛細管圧及び肺動脈圧の上昇は、気管内圧の上昇によつて肺胞壁を介して肺毛細管が圧迫される機械的な影響が主になつていると考えられ、Poiseuille の式によつて算出された全肺血管抵抗、肺小動脈抵抗の著しい増大に対しては肺血管圧の上昇と共に心搏出量の減少も大きく影響しているであろう。

陽陰圧呼吸時には肺循環系の圧の上昇、抵抗の増大は殆んど認められない。肺毛細管圧は軽度の上昇するが肺動脈圧は殆んど変化せず、全肺血管抵抗、肺小動脈抵抗は却つて減少している。間歇的陽圧呼吸は肺循環系に大きな障碍を及ぼすのに比し陽陰圧呼吸は殆んど肺循環系に障碍を来たさないのは、やはり呼気相に陰圧を負荷することによる平均気管内圧の低下によるものと考えてよいであろう。

要するに閉胸下調節呼吸によつて惹起される大小循環系の変動からみると、間歇的陽圧呼吸よりも陽陰圧呼吸の方が軽いことが窺われる。

末梢動脈血 O_2 飽和度は $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸群においては自然呼吸時に比してかなり低下している(第3図)。さきに O_2 消費量、肺胞気 O_2 分圧、有効肺血流量などの変動から $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸においては換気量が不十分であることを指摘したが、このことは末梢動脈血 O_2 飽和度の動きからも肯定される。 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ の間歇的陽圧呼吸においては末梢動脈血は充分な O_2 飽和度が得られる。陽陰圧呼吸を行った例においては用いた圧に関係なく全例に動脈血 O_2 飽和度の上昇が認められている(第3図)。すなわち末梢動脈血 O_2 飽和度に関しては $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以上の間歇的陽圧呼吸及び各種の圧を用いた陽陰圧呼吸は共に良好な結果が得られた訳である。しかし、ここで注意すべきことは末梢動脈血 O_2 飽和度の上昇は肺における血液の酸素化が良好であることを意味するものであつても、必ずしも末梢組織への酸素供給の充分なことを意味するものではないことである。末梢組織への O_2 の供給は、そこへ流入する動脈血の流量と、その O_2 分圧に左右される訳で、陽陰圧呼吸の場合には動脈血 O_2 飽和度は高く、心搏出量は減少していないので組織毛細管への血流も特に減少せず、末梢組織への O_2 供給は充分行われている。しかし $+20\text{cm}$ 、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸の場合には組織に到達する動脈血の O_2 飽和度は高く、従つて O_2 分圧は高いが、心搏出量の甚だしい減少に伴つてその流量が著しく減少し、ために組織への O_2 供給は低下し、動脈血 O_2 飽和度が高くして所謂低 O_2 血症ではないにもかかわらず組織 Anoxia の状態に追込まれることになると思えられる。このことは間歇的陽圧呼吸時に混合静脈血の O_2 分圧が低下することによつて実証されている。組織毛細管において血液と組織間の O_2 の拡散自体に特別障碍がない状況の下では、組織毛細管において O_2 は組織と血液間の O_2 分圧勾配に従つて血中から組織中に移行し、毛細管を去る血液の O_2 分圧は組織の O_2 分圧と全く平衡には達しないまでもかなり敏感に組織 O_2 分圧を反映すると思えられる。従つて Gibbon³³⁾ も述べている如く、混合静脈血の O_2 分圧の低下をもつて組織 Anoxia の程度の概略を知ることが可能である。陽陰圧呼吸の場合には大小何れの圧を用いた場合でも混合静脈血 O_2 分圧は全部上昇し(第4図)、しかもその際動脈血 O_2 較差は決して縮小していないので末梢組織への O_2 供給が非常に良好な状態で行われていることが推定される。こ

れに反して間歇的陽圧呼吸時の混合静脈血 O_2 分圧をみると、 $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 群においては自然呼吸時に比して増減種々であり、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸においては全例 $5\sim 19\text{mmHg}$ の低下をみ(第4図)、大きな圧を用いて間歇的陽圧呼吸を行った場合には体組織への O_2 供給は不十分で組織は却つて Anoxia に陥ることが明らかとなつた。調節呼吸の最大の目的は体の組織に充分に O_2 を供給することであるから、上の一事実のみを以てしても大きな圧を以て間歇的陽圧呼吸を行うことは甚だ不適当であり、この点でも陽陰圧呼吸の方が勝れている。調節呼吸乃至補助呼吸に関する従来の報告においては、その病態生理学的検索に當つて動脈血 O_2 含量乃至動脈血 O_2 飽和度の変動をとりあげているものは多数みられるが、混合静脈血 O_2 分圧乃至その O_2 飽和度に注目した報告はない。動脈血の O_2 飽和度は肺における O_2 の摂取状態を知るには勿論重要な指標となるものであるが、肺における O_2 摂取の良否を以て体組織への O_2 供給の良否を類推することは調節呼吸の如き血流量の変動が予測される場合には不可能であり、動脈血 O_2 飽和度の変動を測定して調節呼吸の効果を判定せんとする如きは重大な過誤を侵す危険を包含するものである。著者は調節呼吸の効果優劣を論ずるに際しては動脈血 O_2 飽和度の変動と共に混合静脈血の O_2 の変動にも注目すべきことを強調したい。

調節呼吸による酸塩基平衡の変化をみると、 $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 間歇的陽圧呼吸においては呼吸性の Acidosis となつて pH は低下し、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ の間歇的陽圧呼吸においては呼吸性 Alkalosis と代謝性 Acidosis の状態となつて pH は上昇している。前者の呼吸性 Acidosis は肺における換気の不足による CO_2 排泄不良によるものであり、後者の呼吸性 Alkalosis は機械的な過大換気によるもの、またその代謝性 Acidosis は心搏出量の減少によつて末梢組織への O_2 供給が不十分となり、組織 Anoxia のために代謝異常を来し、乳酸、焦性葡萄糖等の中間代謝産物を生じて固定酸が増加し、緩衝塩基が減少して Acidosis となつたものと推定される。陽陰圧呼吸の際、 $+10$ 、 $-10\text{cmH}_2\text{O}$ 程度の圧においては呼吸性 Acidosis を呈する例が多く、 $+20$ 、 $-20\text{cmH}_2\text{O}$ 以上の圧を用いた例においては呼吸性 Alkalosis となり、 $+40$ 、 $-30\text{cmH}_2\text{O}$ の2例においてはさらに代謝性 Acidosis が加わつている。間歇的陽圧呼吸、陽陰圧呼吸何れの場合にも Seevers 等³⁴⁾、Watrous 等³⁵⁾ の述べているような Alkalosis shock の危険は認められない。さきに肺の換気量、 O_2 消費量、末梢動脈血 O_2 飽和度の

面から陽陰圧呼吸においては +10, -10cmH₂O で充分な換気が得られることを述べたが, +10, -10cmH₂O で陽陰圧呼吸を行った例に呼吸性 Acidosis の傾向が多くみられる点から, O₂ の摂取に関しては +10, -10cmH₂O で充分であるが, CO₂ 排泄に関してはこれでは稍々不足で, +20, -20cmH₂O あるいはこれ以上の圧が望ましい,

以上閉胸下に行われた調節呼吸時の変化を総括すると, 間歇的陽圧呼吸時, +10cmH₂O においては換気量が不足し, +20cmH₂O 以上においては循環系に対する障壁が強い. 陽陰圧呼吸時, +10, -10cmH₂O においては稍々換気不足の嫌いがあり, +20, -20cmH₂O において略々満足すべき結果が得られた. 従つて閉胸下における調節呼吸としては機能の面からみれば間歇的陽圧呼吸よりも陽陰圧呼吸の方がすぐれており, その圧は +20, -20cmH₂O の程度が適当である.

次に閉胸下の調節呼吸について考察するに閉胸下間歇的陽圧呼吸が循環系に及ぼす悪影響は気管内圧並びに胸腔内圧の上昇に基くものが多いので, 開胸した状態ではその循環系への影響は閉胸時とかなり相違のあることが予測される. そこで少数の例であるが両側閉胸下に間歇的陽圧呼吸を行いこれを略々同じ圧で行つた陽陰圧呼吸と比較吟味する(第3表). 心搏出量は閉胸下における間歇的陽圧呼吸時には陽陰圧呼吸時よりも減少している. 開胸した状況の下では間歇的陽圧呼吸時及び陽陰圧呼吸時胸腔内圧は常に大気圧に等しく, 胸腔内圧の変化による静脈還流の変動という点では両呼吸型式の間に相違はない筈である. 一方, 小循環系の抵抗をみると間歇的陽圧呼吸時には陽陰圧呼吸時に比して肺血管抵抗は非常に大きい. 従つて閉胸下においても心搏出量の減少が間歇的陽圧呼吸時に著明なのは主として肺循環系の抵抗の増大によるものと考えられる. また, 動脈血 O₂ 飽和度, 混合静脈血 O₂ 分圧共に間歇的陽圧呼吸時には陽陰圧呼吸時よりも低い値を示している.

B. 形態学的な変化からの考察

調節呼吸が肺組織に及ぼす形態学的変化に関する実験的研究は過去においては殆んど閉胸下に限定されていた. また間歇的陽圧呼吸と陽陰圧呼吸との比較も余り行われていない. 著者は間歇的陽圧呼吸及び陽陰圧呼吸を夫々閉胸時と開胸時とについて行つた際の肺の形態学的変化から両呼吸型式の優劣, 至適加圧条件について考察を加える.

まず調節呼吸時の肺の形態学的変化を検討する.

肉眼的には両呼吸型式とも閉開胸に関せず著しい変

化を認めない. 加圧操作を加えなかつた対照群と異なるところはない. しかし実験初期で不慣れのうちは肺の剔出操作が拙劣のために, 肺に著明な鬱血を起し肉眼的に肝臓様の外観を呈し明らかに組織切片の作製に不適な状態になつた例もみられた. この点に関しては Orth 等³⁶⁾, Waltz 等³⁷⁾ が指摘しているように, 肺の形態学的変化の研究には肺剔出時迅速な心及び呼吸停止が極めて重要で, 心が Dy'ing Gasp を呈している例では高度の鬱血を起すものである. Waltz 等³⁷⁾ は閉胸下 +40cmH₂O 間歇的陽圧呼吸の1例に肉眼的に明らかな直径 1~2cm の出血巢の散在するのを認めているが, 著者の成績ではいかなる条件の調節呼吸においても肉眼的出血は認められなかつた.

組織学的には各実験群に共通に認められた変化は無気肺(第2. 3図)及び肺胞中隔血管の拡張充盈(第4図)で, これらは対照例を含めてすべての例に存在し, その程度は圧の高低に関係せず, また呼吸型式によつて差異がなかつた. 従つてこれらは調節呼吸の結果起つたものと考え難い. この点については Waltz 等³⁷⁾, Orth 等³⁶⁾ も同様な見解を持ち, 何れも動物の屠殺, 肺の剔出及び固定の操作によるものと考えている. 肺に限局性の化膿巣をみたものが2例あるが, これを約2時間の調節呼吸の間に形成されたものとは考えられない. Orth 等³⁶⁾, Waltz 等³⁷⁾ は肺炎様あるいは気管支肺炎様の像を記載しているが実験とは関係のないものとみなしている. また対照群の1例にみられた肉芽も実験に関係のあるものとは考えられない.

含気量の増大は対照群には認められない変化で調節呼吸では閉胸下でも開胸下でも, 間歇的陽圧呼吸, 陽陰圧呼吸とも陽圧が +30cmH₂O 以上になると含気量の増大が起り易い傾向がみられた. Waltz 等³⁷⁾ は閉胸下 +40cmH₂O 間歇的陽圧呼吸及び開胸下 +15, -40cmH₂O 陽陰圧呼吸で肺気腫がみられたことを報告しているが, 著者の成績においては含気量の増大した例でも真の肺気腫というべき所見は認められない.

犬で +136cmH₂O, 2秒間の加圧で初めて肺気腫や肺胞破裂をみたという Schwerma 等³⁸⁾ の実験的報告に徴しても +15~40cmH₂O 程度の圧で肺気腫を惹起することは極めて稀な例と考えてよいであろう.

肺胞内出血は対照群には認められなかつたが調節呼吸群においては一定圧以上の圧の下では高率に認められた. すなわち閉胸下間歇的陽圧呼吸の際 +20cmH₂O の圧までは起らないが, +30cm, +40cmH₂O の圧になると全例に起つている. しかし +40cmH₂O 圧群において +30cmH₂O 圧群におけるよりも高度であるとはいえない. 開胸例においても同様に +20cmH₂O の

庄の例に認められず、+30, 40cmH₂O の庄の大部分の例に認められた。閉胸下の陽陰圧呼吸の際 +20, -10cmH₂O 以内の陽陰圧を用いた例においては肺胞内出血は認められず、+30cm 以上の陽圧あるいは -15cm 以上の陰圧をかけた例においては殆んど全部に肺胞内出血を来している。閉胸下の陽陰圧呼吸の際 +20, -10cmH₂O 以内の例においては肺胞内出血は全くみられず、+15cmH₂O 以上の陽圧あるいは -15cmH₂O 以上の陰圧を用いたもの全例に出血がみられた。以上のことから、閉胸閉胸を問わず、間歇的陽圧呼吸でも陽陰圧呼吸でも陽圧が +20cm を越えるかあるいは陰圧が -10cmH₂O よりも強くなると極めて高率に肺胞内出血が起ることが確認された。Waltz 等³⁷⁾ は閉胸下においては高陰圧が、閉胸下では高陽圧が有害で著明な肺内出血を起すと報告しているが、著者の得た成績からは閉胸開胸の間にそのような相違は認め難い。

肺胞内浸出は閉胸下の間歇的陽圧呼吸例には起らず、閉胸下間歇的陽圧呼吸例において +40cmH₂O の3例中1例に軽度の肺胞内浸出液貯溜をみたにすぎない。閉胸下陽陰圧呼吸の際には +20, -20cmH₂O 及び +30, -20cmH₂O の例に肺胞内浸出がみられ、閉胸下陽陰圧呼吸時には +15, -20cmH₂O と +20, -20cmH₂O の各1例に肺胞内浸出を認めた。しかしその程度は何れも軽度のものである。この結果から閉胸・開胸何れの場合にも -15cmH₂O 以内の弱い陰圧では肺胞内へ液の浸出するおそれはなく、-20cmH₂O 以上の強い陰圧を用いた際には肺胞内浸出を起し易いものと考えなければならぬ。Birnbaum 等³⁸⁾, Schwerma 等³⁹⁾, Coryllos⁴⁰⁾, Maloney 等⁴¹⁾ も比較的弱い陰圧を用いた陽陰圧呼吸においては肺胞内への異常な浸出が促進されることはなく、従つて肺水腫を惹起するおそれのないことを動物実験あるいは臨床例について報告している。

気管枝内出血は閉胸下間歇的陽圧呼吸の際 +30cmH₂O の1例に、閉胸下間歇的陽圧呼吸 +30cmH₂O の際4例中2例に、+40cmH₂O の3例中1例に、軽度に見られている。+30cmH₂O 以上の圧を加えた例に起り易いと考えてよいようである。閉胸下陽陰圧呼吸の際 +40, -10cmH₂O の2例中1例に、+15, -15cmH₂O, +15, -20cmH₂O, +20, -20cmH₂O の各1例に軽度に観察された。閉胸下調節呼吸例には認められなかつた。従つて陰圧 -15cmH₂O 以上の庄の下で閉胸例に起り易いと考えられる。

気管枝周囲出血は、閉胸下間歇的陽圧呼吸時 +30cmH₂O の1例のみにみられ、閉胸下間歇的陽圧呼吸時

にみられない。閉胸下陽陰圧呼吸時 +30, -20cmH₂O の1例のみみられ、閉胸下陽陰圧呼吸時 +15, -15cmH₂O 及び +20, -20cmH₂O の各1例にみられた、従つて気管枝周囲出血も +30cmH₂O 以上、-15cmH₂O 以上の庄の下に調節呼吸を行う時に起る可能性が考えられる。

動脈周囲出血については間歇的陽圧呼吸時に認められず、陽陰圧呼吸時には閉胸下 +30, -10cmH₂O の1例、+15, -15cmH₂O の1例及び +20cm, -20cmH₂O の1例に認められ、閉胸下で +15, -15cmH₂O の1例に認められた。従つて動脈周囲出血は陰圧の作用とみなしたい。

調節呼吸を行つた後数日間生存させた1群の実験例は調節呼吸によつて起つた肺の形態学的変化が可逆性のものであるかどうか、またどの位の時日で消失するかを検したものであるが、閉胸下陽陰圧呼吸時8例について検索した結果、+30, -20cmH₂O の下に調節呼吸を行つた後、生存7日の1例に一部肉変のような変化を認めたが、その他は無気肺及び肺胞中隔血管の拡張充盈をのみで対照例の所見と変わらない。+30, -20cmH₂O の下に調節呼吸を行つて生存1日の2例には何ら著変は認められなかつた。調節呼吸直後にみられた変化と一定期間生存させた群における変化とを考え合わせると、調節呼吸に直接して起つた変化は可逆性のもので略々1日以内に消退するものと推定される。

Handford⁴²⁾ は実験的に Curare 中毒に対して陽陰圧蘇生法を行つた例において同時に肺損傷についても多数の注意深い Test を行つてゐるが、+19, -12cmH₂O の限界圧を以ての調節呼吸時には如何なる型の有害な損傷も起らないと述べており、Schwerma 等³⁸⁾, Birnbaum 等³⁹⁾, Coryllos⁴⁰⁾ は +19, -12cmH₂O の庄の下に調節呼吸を行つて肺損傷の証拠を得ていない。著者の実験成績を総括すると、+20cmH₂O の間歇的陽圧呼吸及び +20, -10cmH₂O の陽陰圧呼吸によつては著しい肺の形態学的損傷は証明されない。それ以上の庄の下に調節呼吸を行うと肺胞内出血及び浸出、気管枝内及びその周囲の出血、動脈周囲出血を起す可能性が起る。しかしこれらの病変は可逆性のものであり、遅くも1日以内に回復するものと推定される。Waltz³⁷⁾ のいう閉胸と開胸による病変の差は一般に認め難い。肺の形態学的変化からみて間歇的陽圧呼吸と陽陰圧呼吸との優劣はつけ難く、両呼吸型式において陽圧 20cmH₂O, 陽陰圧 +20, -10cmH₂O 以内ならばまず安全な調節呼吸を行いうると考える。

次に調節呼吸の持続時間と病変との関係を検討して

みよう。閉胸下の間歇的陽圧呼吸の場合 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ の圧の下に2時間の調節呼吸例と、同じく6時間の調節呼吸例とを比較すると、全般的にみて病変の程度の差はない。閉胸下間歇的陽圧呼吸の際に同様の圧の下に行つた調節呼吸を比較すると、むしろ2時間呼吸例の方が病変の程度を強く示している。 $+40\text{cmH}_2\text{O}$ の圧の下における実験は同様の関係を示した。閉胸下陽陰圧呼吸の際 $+30, -20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧の下に2時間呼吸例と6時間呼吸例とを比較すると2時間呼吸例において病変が高度であり、閉胸下陽陰圧呼吸の実験においては両者の間に差はない。従つて調節呼吸の持続時間は病変の程度また発生に対して重要な因子とはならないと考えたい。

C. 要 約

以上に述べた調節呼吸時の機能的並びに形態的变化を要約すると、調節呼吸による機能的な変動は閉胸下と開胸下とは程度の差はあるが略々同じ傾向を示すものである。間歇的陽圧呼吸においては $+10\text{cmH}_2\text{O}$ 程度の圧の下には換気量はなお不足であり、循環系に対しては軽い陽圧が負荷となる。 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧を越えると循環系に対する障害が極めて強く、組織は低酸素状態に陥る。陽陰圧呼吸においては $+10, -10\text{cmH}_2\text{O}$ の圧の下には換気が稍々不足し、 $+20, -20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧の下には充分な換気が得られる。且つこの程度の圧によつては循環系に対して障害はない。 $+20, -20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧を越えると循環負荷の傾向が現われる。組織への酸素の供給は何れの陽陰圧においても充分に行われている。

調節呼吸による肺の形態学的変化は、適用した圧に従つて出現し、間歇的陽圧呼吸と陽陰圧呼吸との間、また閉胸と開胸との間に殆んど差異をみない。すなわち陽圧側において $+20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧を越えると肺胞内出血、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ の圧を越えると肺の含気量の増大が起り、気管枝内及びその周囲の出血を伴うこともある。陰圧側において $-10\text{cmH}_2\text{O}$ の圧を越えると肺胞内出血、肺胞内浸出、 $-15\text{cmH}_2\text{O}$ の圧を越えると動脈周囲に出血を来すことがある。

これらを総合すると、調節呼吸としては閉胸下においても開胸下においても至適圧 $+20, -10\text{cmH}_2\text{O}$ を以てする陽陰圧呼吸が最もよい結果を示している。

結 論

健康な雑種成犬89頭を用い麻酔下に実験的調節呼吸を行い、その機能的変動並びに形態学的変化を検索して次の知見を得た。

1) 閉胸下における間歇的陽圧呼吸の場合 $+10\text{cm}$

H_2O 程度の圧によると換気量が不足し、 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ あるいはそれ以上の圧によると換気は充分に得られ肺における血液中への酸素の移行は充分みられるが、末梢動脈血圧の下降、心搏出量の減少、静脈環流の減少、肺動脈圧の上昇等、循環系に対して大きな影響を及ぼし、末梢組織は却つて低酸素状態に陥る、

2) 閉胸下における陽陰圧呼吸の場合 $+10, -10\text{cmH}_2\text{O}$ の圧によると換気が稍々不足するが、 $+20, -20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧によると充分な換気を得られ且つ循環系に対する障害も少ない。圧が $+20, -20\text{cmH}_2\text{O}$ を越えると循環系への障害が現われてくる。末梢組織への酸素供給は何れの圧によつても充分に行われる。

3) 閉胸下の間歇的陽圧呼吸及び陽陰圧呼吸においても、機能的には閉胸下の場合と略々同様な傾向がみられる。

4) 調節呼吸の病態生理を追究する際生体への酸素供給が充分であるか否かの標準として混合静脈血酸素分圧に注目することが重要である。

5) 間歇的陽圧呼吸の際 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ 以下の圧によると肺に形態学的に証明される障害は起らない。 $+20\text{cmH}_2\text{O}$ を越えた圧によると肺胞内出血 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ を越えた圧によると肺の含気量の増加、その他の変化を伴う。

6) 陽陰圧呼吸の際 $+20, -10\text{cmH}_2\text{O}$ 以下の圧によると肺に形態学的な損傷は起らない。陽圧が $+20\text{cmH}_2\text{O}$ を越えると肺胞内出血、 $+30\text{cmH}_2\text{O}$ を越えると肺含気量の増加、その他の変化を伴い、陰圧が $-10\text{cmH}_2\text{O}$ を越えると肺胞内出血、肺胞内浸出、その他の障害を伴う。

7) 調節呼吸による肺の形態学的変化については閉胸下の場合と開胸下の場合との間に殆んど差異がない。

8) 調節呼吸による肺の形態学的変化は、調節呼吸を開始して2時間以内に起り、以後調節呼吸を長時間持続しても特に進行しない。

9) 調節呼吸による肺の形態学的変化は可逆的で、調節呼吸を終了して後1日以内によく回復する。

10) 以上の成績を総合すると、調節呼吸としては閉胸下においても、また開胸下においても至適圧 $+20, -10\text{cmH}_2\text{O}$ を以てする陽陰圧呼吸が最もよい結果を示している。

稿を終るに臨み御懇篤な御指導と御校閲を賜つた恩師ト部教授に感謝の意を捧げ、相原一郎、瀬川安雄、土川恵二郎、小林長の諸氏の御協力を謝す。

文 献

- 1) Crafoord, C., Anderson, E. & Frenkner, P. : Acta otolar. Scand., 28, 95 (1940).
 2) Mautz, F. R. : J. Thorac. Surg., 14, 220 (1945). 3) Motley, H. L., Courmand, A., Dresdale, D. T., Himmelstein, A. & Richards, D. W. : J. A. M. A., 137, 370 (1948). 4) Motley, H. L., Werko, L., Courmand, A. & Richards, D. W. : J. Aviat. Med. 18, 417 (1947). 5) Price, H. L., Couter, E. H. & Dripps, R. D. : J. Appl. Physiol. 6, 517 (1954). 6) Van Slyke, D. D. & Neill, J. M. : J. Biol. Chem., 61, 523 (1924). 7) Rosenthal, T. B. : J. Biol. Chem., 173, 25 (1948). 8) 斎藤幸一郎・本田良行 : 日新医学, 42, 167 (1955). 9) Van Slyke, D. D. & Sendroy, J., Jr. : J. Biol. Chem. 95, 509 (1932). 10) Scholander, P. F. : J. Biol. Chem. 167, 235 (1947). 11) Riley, R. L. & Courmand, A. : J. Appl. Physiol., 1, 825 (1949). 12) Singer, R. B. & Hastings, A. B. : Medicine (Baltimore), 27, 223 (1948). 13) Dexter, L. : Bull. N. England Med. Center, 11, 240 (1949). 14) Riley, R. L., Himmelstein, A., Motley, H. L., Weiner, H. M. & Courmand, A. : Amer. J. Physiol., 152, 372 (1948). 15) Crafoord, C. : J. Thorac. Surg., 9, 237 (1940). 16) 米沢利英・石川義信 : 麻醉, 2, 167 (1953). 17) Maloney, J. V. & Handford, S. W. : J. Appl. Physiol., 6, 453 (1954). 18) 片根敏郎 : 日胸外会誌, 5, 1043 (1957). 19) 渡利容己 : 日胸外会誌, 5, 745 (1957). 20) Frank, H. A., Galson, A. M. & Bank, H. : J. Thorac. Surg., 23, 465 (1952). 21) Humphreys, G. H., Moore, R. L., Maier, H. C. & Apgar, Y. : J. Thorac. Surg., 7, 438 (1938). 22) Humphreys, G. H., Moore, R. L. & Barkley, H. : J. Thorac. Surg., 8, 553 (1939). 23) Holt, J. P. : Am. J. Physiol., 142, 594 (1944). 24) Taylor, G. & Gerbode, F. : Surg., 30, 56 (1951). 25) 卜部美代志・林周一・飯田文良・石井正文・穴沢雄作・水野明 : 最新医学, 8, 44 (1953). 26) 秋山文彌 : 日胸会誌, 4, 1015 (1956), 日胸会誌, 4, 1023 (1956), 日胸会誌, 4, 1140 (1956). 27) De Lalla, V. : Am. J. Physiol., 152, 122 (1948). 28) Burstein, C. L., Jackson, A., Bishop, H. F. & Rovenstine, E. A. : Anesthesiol., 11, 409 (1950). 29) 卜部美代志, 飯田文良・石井正文・穴沢雄作・川俣健二・稲田豊 : 呼吸と循環, 1, 93 (1953). 30) 恩地裕 : 麻醉, 5, 526 (1956). 31) Hörnicke, H. & Etoffregen, J. : Langenbecks Arch. u. Dtsch. Z. Chir., 283, 185 (1956). 32) Poppelbaum, H. F. u. Lüftkehöfiter, G. : Anaesthesist, 6, 363 (1957). 33) Gibbon, J. H. : Arch. Surg., 34, 1105 (1937). 34) Seevers, M. H. & Waters, R. M. : J. A. M. A., 99, 961 (1932). 35) Watrous, W. G., Davis, F. E. & Anderson, B. : Anesthesiol., 11, 661 (1950), *ibid.*, 12, 33 (1951). 36) Orth, O. S., Rosaline, L. W. & Rolph, M. W. : J. Thorac. Surg., 14, 220 (1945). 37) Waltz, R. C., Hubay, C. A., Ankeny, J. L. & Merrill, J. : Surg. Gyn. Obester., 99, 580 (1954). 38) Schwerma, H. & Ivy, A. C. : J. A. M., A. 129, 1256 (1945). 39) Birnbaum, G. L. & Thompson, S. A. : Surg. Gyn. Obester., 75, 79~86 (1942). 40) Coryllos, P. N. : Surg. Gyn. Obester. 66, 698 (1938). 41) Maloney, J. V. & Whittenberger, J. L. : Am. J. Med. Sc., 221, 425 (1951). 42) Handford, S. W. & Ricchuti, N. V. : J. Appl. Physiol. 3, 535 (1951).

Abstract

The author has performed the experimental controlled respiration under anesthesia using 89 adult mongrel dogs and studied the functional and morphological changes of the lung. The results obtained were as follows ;

1) In the case of intermittent positive pressure respiration in the closed chest dog, the breathing under pressure of about +10cm H₂O caused the deficient ventilation and if the

pressure was +20cm H₂O or above, the sufficient ventilation was obtained which enabled the enough oxygenation of the pulmonary blood, whereas the damages to the circulatory system such as the fall of peripheral arterial pressure, the decrease of cardiac output, the decrease of venous return and the elevation of pulmonary arterial pressure, followed so that, the peripheral tissues fell into hypoxic state, despite of good oxygenation of blood.

2) In the case of positive-negative pressure respiration under closed chest dog, the breathing under pressure of +10 and -10cm H₂O brought the slight deficit of ventilation, but with the pressure of +20 and -20cm H₂O, the sufficient ventilation was obtained and the damages to the circulatory system were little. If the pressure was over +20 and -20cm H₂O, there appeared the damages to the circulatory system. The oxygen supply to the peripheral tissues could be maintained well in any pressure breathing.

3) In the intermittent positive pressure as well as positive-negative pressure respirations in open chest dogs, too, nearly the same tendency as was seen in the closed chest dog was functionally observed.

4) In order to study the pathophysiology of the controlled respiration, it is important to pay attention to the Po₂ of the mixed venous blood as the sign of the oxygen supply to the living body.

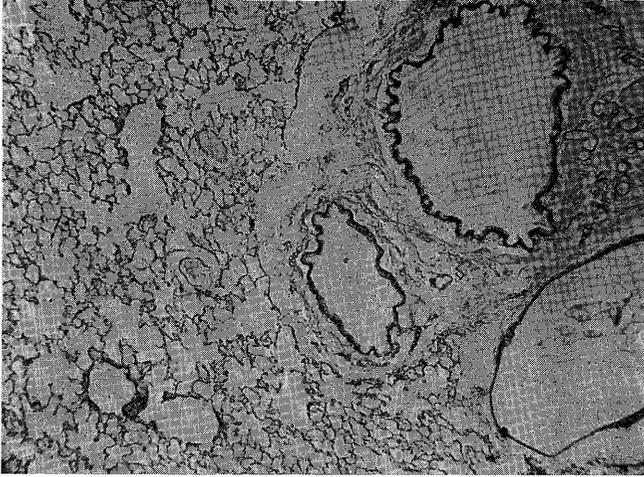
5) In the intermittent positive pressure respiration, if the pressure was below +20cm H₂O, the lung showed no morphologically verified damages. If the pressure was over +20cm H₂O, the bleeding into the alveoli was seen, and if the pressure was over +30cm H₂O, the increase of the air-containing amount of lung and other changes were observed.

6) In the positive-negative pressure respiration, if the pressure was between +20 and -10cm H₂O, there occurred no morphological damages in the lung. If the pressure was over +20cm H₂O, the bleeding into the alveoli was seen, and if the pressure was over +30cm H₂O, the increase of air-containing amount of lung and other changes were observed. On the other hand, if the negative pressure was over -10cm H₂O, there occurred the bleeding into the alveoli, exsudation into the alveoli and other damages.

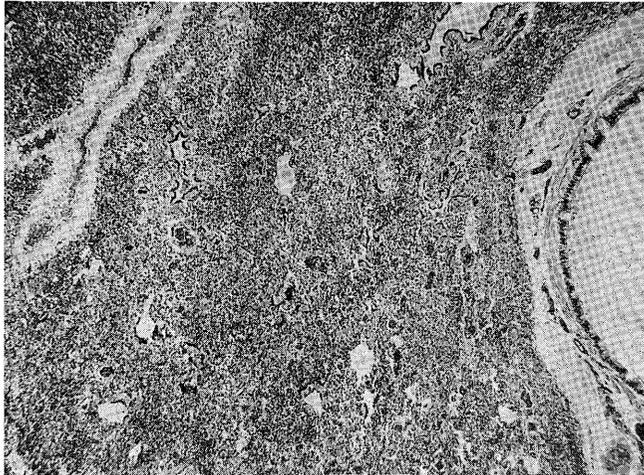
7) As to the morphological changes of the lung caused by controlled respiration, there were hardly any differences between the closed and open chest dogs.

8) The morphological changes of the lung caused by controlled respiration, occurred within 2 hours after the beginning of controlled respiration and after that though the controlled respiration was kept on the changes did not progress markedly.

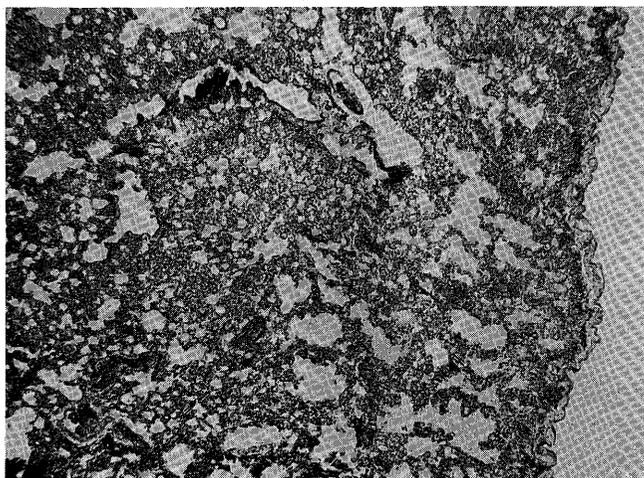
9) The morphological changes of the lung caused by controlled respiration were reversible and well recovered within 1 day after the end of controlled respiration.



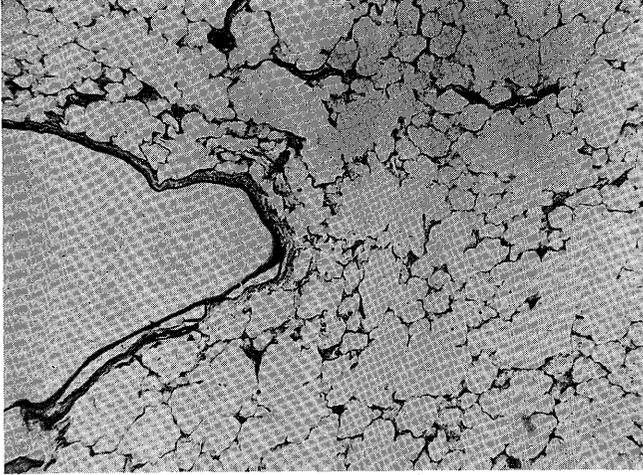
第 7 図
正常な肺組織 (弱拡大)



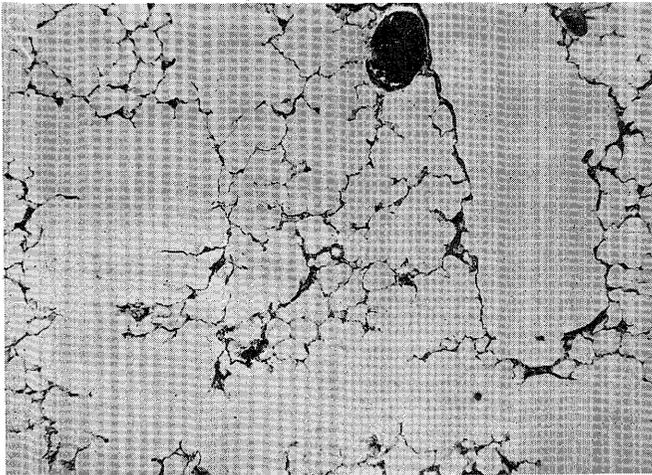
第 8 図 無気肺(弱拡大)
小気管枝周辺にみる高度の無気肺で
中隔血管の拡張充盈も高度である。
No. 3, (犬閉胸陽陰圧呼吸 (+10~
-5cmH₂O) 2 時間持続例)



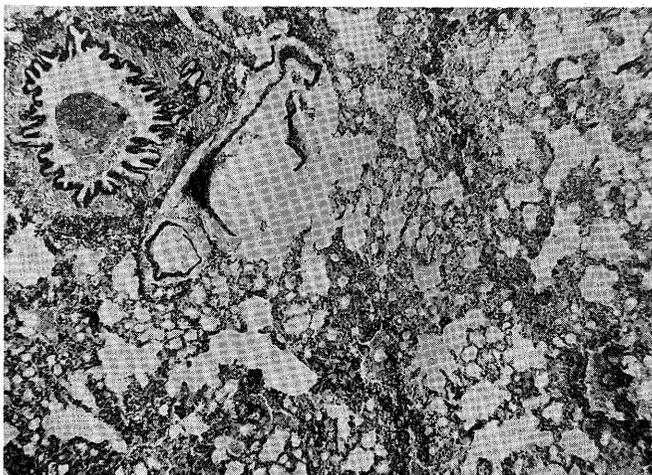
第 9 図 無気肺及び中隔血管拡張
充盈(弱拡大)
肋膜に近くみられる高度のもの。
(犬 No. 3, 閉胸陽陰圧呼吸 (+10~
-5cmH₂O) 2 時間持続例)



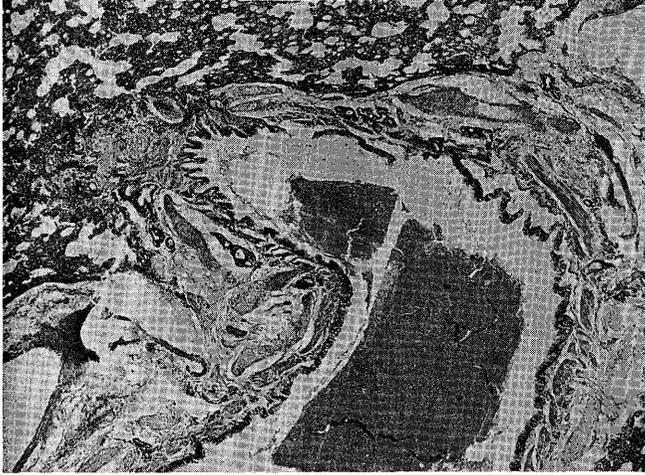
第10図 軽度の含気量増大(弱拡大)
(犬 No. 58, 開胸間歇的陽圧呼吸
(+30cmH₂O) 2時間持続例)



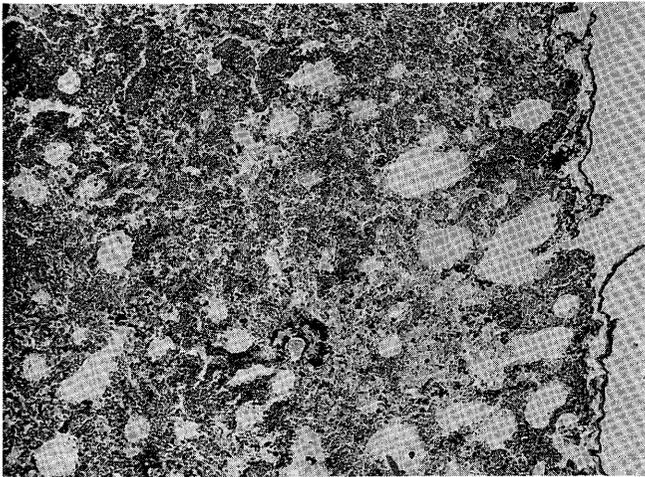
第11図 高度の含気量増大(弱拡大)
(犬 No. 60, 開胸間歇的陽圧呼吸
(+30cmH₂O) 6時間持続例)



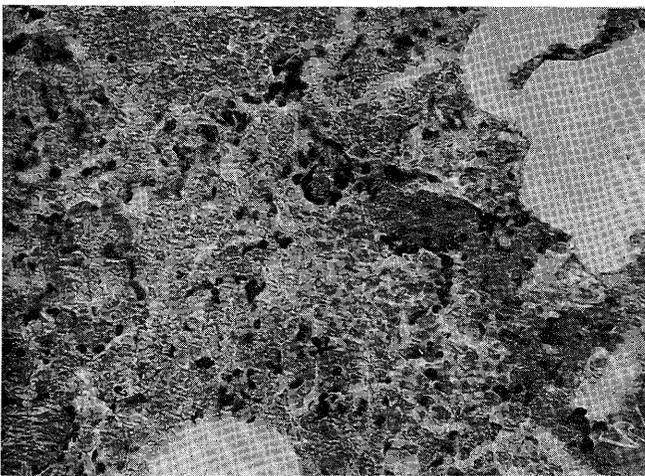
第12図 気管枝内出血(弱拡大)
比較的小さい気管枝内に出血がみら
れる。(犬 No. 58, 開胸間歇的陽圧
呼吸 (+30cmH₂O) 2時間持続例)



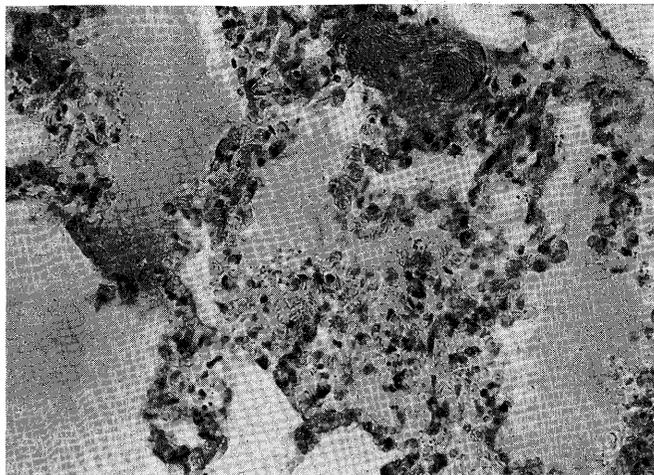
第13図 気管枝出血(弱拡大)
比較的大きい気管枝内に出血がみられる。(犬 No. 56, 閉胸間歇的陽圧呼吸 (+30cmH₂O) 6時間持続例)



第14図 肺胞内出血(弱拡大)
各肺胞は赤血球で充満し, 限局性ではあるが高度の出血である。(犬No. 43, 閉胸陽陰圧呼吸 (30~20cmH₂O) 2時間持続例)



第15図 肺胞内出血(強拡大)
(犬 No. 43)



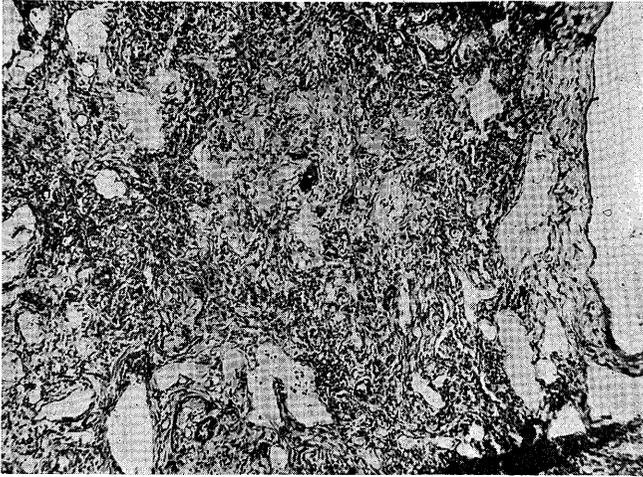
第16図 肺胞内浸出(強拡大)
(犬 No. 43, 閉胸陽陰圧呼吸 (30~
-20cmH₂O) 2時間持続例)



第17図 気管枝周囲出血(弱拡大)
比較的大きい気管枝の周囲に限局性
の出血がみられる。(犬No. 20, 開胸
陽陰圧呼吸 (+15~-15cmH₂O) 2
時間持続例)



第18図 動脈周囲出血(弱拡大)
中等大の動脈の外膜下に出血をみる。
(犬 No. 31, 閉胸陽陰圧呼吸 (+20
~-20cmH₂O) 2時間持続例)



第19図 肉 変 (弱拡大)

無気肺とともに小円形細胞の浸潤と
線維の増殖があり、中好球も多少み
られる。(犬 No. 66, 陽陰圧呼吸
(+30 ~ -20cmH₂O) 2 時間持続後,
24時間の所見)