肺結核症における肺機能障害の換気力学的研究 (肋膜、胸廓の病変を中心として)

慶応義塾大学医学部石田内科 (指導 石田二郎教授)

角 野 照 和

STUDIES ON MECHANICS OF BREATHING IN PULMONARY TUBERCULOSIS (WITH SPECIAL REFERENCE TO PLEURAL AND THORACIC CHANGES)

BY

Terukazu Kadono

Department of Internal Medicine, School of Medicine, Keiō University.

(Prof.: J. Ishida)

梗概 肋膜および胸廓に病変のある拘束性障害を主とする肺結核症に対して、安静換気時、 CO_2 吸入による過換気時および自発的過換気時の換気力学動態について、とくに過換気時における仕事量の増加の態度について検討した。肋膜べんち形成例および胸廓形成術施行例は、それが片側であっても、安静換気時すでに、換気力学諸量が、健常群、軽度肺結核群と著しくへだたりのあるものが多い。1例成形他側べんち例では、肺にほとんど病変がないと思われるにもかかわらず、高度肺結核症、肺線維症に匹敵するほどの換気力学諸量の悪化がみられた。これらの症例は、換気仕事量の増大による血液ガスに対する悪影響を改善するために、過換気をおこなわせると、経済的な過換気をおこなうものと考えられる CO_2 吸入による過換気においても、正常例とことなり、さらに換気の能率が低下し、また、自発的過換気においては、これら能率の悪化による仕事量の増加のため、換気量を増加しえないという悪循環が招来されることを知った。

緒 言

近年、Rheology なる概念が、肺生理学の分野に導入され、換気という現象が、力学的な面から解明されつゝあり、わが国においても多くの報告がなされている。現在肺結核症においては、早期の化学療法および胸部外科手術の進歩により、胸廓成形術による胸廓の加療変形や、気胸療法全盛時代の遺物ともいわれる高度の肋膜べんちも、減少の一途をたどっているが、なお、肋膜べんち、気腫化、線維化など、肺結核症にもとづく肺機能障害は、程度の差こそあつても、残された問題である。

わたくしは、安静換気時、自発的過換気時および CO_2 吸入による過換気時について、これら肺機能障害を、換気力学的観点から検討し、いさゝかの知見を得たので、こゝにその成績を報告する。

検査症例および分類

検査症例は、健常者18名、肺結核症52名で、肋膜べんち形成あるもの、および胸廓成形術施行例が含まれており、拘束性機能障害を主とする症例が多いことは、表1に示すごとくである。なお、肺実質障害の程度は N.T.A. 分類に従った。

測定および検査方法

換気力学的検査は次の如く行なつた。

Table 1. Classification of cases

Cases with minimal parenchymal lesion		45
1	Parenchymal lesion only	7
2	Unilateral pleural scar	19
3	Unilateral thoracoplasty	6
4	Bilateral thoracoplasty	7
5	Unilateral pleural scar & Unilateral thoracoplasty	6

Cases with far advanced parenchymal lesion		7
1	Pulmonary fibrosis	3
2	Unilateral thoracoplasty	2
3	Unilateral atelectasis	2

胸腔内圧は食道内圧法でおこない、食道内圧は、バルーン法により測定した。すなわち、外径3mm、内径1.77mmのポリエチレン製管の先端に約30個の小側孔をあけ、その部を、内径1cm、内容約8ccの薄いゴムのバルーンでおおい、これを経鼻的に食道下部3分の1附近に挿入し、バルーン内容を2ccとし、東洋測器改良の電気差圧計の一端に連結し、差圧計の他端に、口腔内圧測定用側管を連結し、口腔—食道内圧差を求めた。肺胞内圧は、Statham 1050 P23 Bの圧力計を使用し、気流阻止法でおこなった。気流は、Lillyの気流計を用いて測定し、換気量は、電気積分器を使用して求めた。これらの圧、気流、換気量、肺胞内圧は、Sanborn社製 Polyviso Cardietteにより同時記録した。この圧と換気量から、圧量図をプロットし、これにより、Effective Compliance (以下 Compliance と略す)、換気仕事量、各種抵抗値を計算した。

機械的抵抗仕事量は、圧量図の面積をプランメーターで測定して求めた。また Static compliance¹³⁾は気流阻止法を用いた。

Compliance は L/cm H₂O で表わし、安静

換気時における仕事量は gcm/dl Vent.²⁾ で表わした。自発的、および CO₂ 吸入による過換気の状態における換気仕事量は、gcm/dl Vent. と kgM/min の表現法を併用した。

なお、スパイログラムによる検査は、Collins 社製スパイロメーターによった。また一部症例に右心カテーテリゼーションを施行し、心肺動態もあわせ検索した。

成 績

I. 安静時

1) Compliance は、図1にみられるごとく、それぞれ移行帯はあるが、全般的にみると、健常群と軽度肺結核群では、ほとんど差がないが、片側べんち群、片側成形群および両側べんち群とも、健常群、軽度肺結核群と比較して、著しく低下している。片側べんち群、片側成形群では、両者間に著明な差はなく、両側べんち群では、前二者に比して多少低下傾向にある。これに対して、1側成形他側べんち群、肺線維症群、高度肺結核群、片側無気肺群では、もつとも著しい低下がみられた。なお、両側べんち群、片側べんち群の6例に対して、Static compliance をあわせ測定したが、これらの症例においては、Effective com-

Fig. 1. Compliance

pliance との間に有意の差はみられなかった。

2) 換気仕事量

仕事量を各症例群の平均値についてみると、図2のごとく、両側べんち群以下の群に、全抵抗仕事量の著明な増加がみられ、特に増加しているのは、高度肺結核群と1側成形他側べんち群で、前者では機械的抵抗仕事量も、もつとも増加していた。

3) 最大機械的抵抗

各群の平均値をみると、吸気時抵抗は、健常群、軽度肺結核群、両側べんち群以外のすべての群に増加がみられ、とくに、1側成形他側べんち群、肺線維症群、高度肺結核群、片側無気肺群には著明な増加がみられた(図3)。

呼気時抵抗は、正常群、軽度肺結核群に比して、他のすべての群に増加がみられ、特に著しかったのは、1側成形他側べんち群、高度肺結核群、片側無気肺群で、もつとも高値を示したのは、1側成形他側べんち群で、 $16.5 \text{ cmH}_2\text{O/L/sec}$

Fig. 3. Maxim. mech. resistance (mean)

Fig. 4. Airway & Tissue resistance (mean)

にも増加している。

呼気時抵抗が吸気時抵抗に比して、著しく高い値を示したのは、片側べんち群、両側べんち群、1側成形他側べんち群、高度肺結核群、片側無気肺群で、なかでも、1側成形他側べんち群では、呼気時抵抗が、吸気時抵抗の約3倍に増加していた。

4) 気道抵抗と肺組織抵抗の比を、気流量 0.5

L/sec の場合に比較してみると、図4のごとく、著者の症例では、最高の抵抗値を示した1側成形他側べんち群も、機械的抵抗は、8 cmH₂O/L/sec 内外で、慢性肺気腫にみられるような、極端な抵抗の増加はみられなかったが、吸気時抵抗は、軽度肺結核群、片側べんち群、肺線維症群、両側べんち群、高度肺結核群、1側成形他側べんち群の順に増加している。

呼気時抵抗は、軽度肺結核群、肺線維症群について片側べんち群、両側べんち群はほとんど同程度に増加しており、その他、高度肺結核群、1側成形他側べんち群の順に増加していた。

吸気時肺組織抵抗は、軽度肺結核、片側べん

ち、両側べんちの各群とも、ほとんど差がなく、ついで、高度肺結核群、1側成形他側べんち群、肺線維症群の順で増加し、肺線維症群は、もつとも増加が著しかった。

呼気時肺組織抵抗は、軽度肺結核群に比して、片側べんち群、両側べんち群、高度肺結核群、1側成形他側べんち群の順に増加し、肺線維症群では、もつとも著明な増加がみられた。

つぎに安静換気からさらに換気量を増加させた場合、仕事量の増加はどのような態度をとるかを検討するため、CO₂ 吸入による過換気をおこなった。

II. CO₂ 吸入による過換気

Table 2. Mechanics of hyperventilation by 5% CO₂ inhalation

Case No.	Disease	RR	V _T dl	V _E L/min	V _E /m ² L/min/m ²	Compl. L/cmH ₂ O	Elast. work gcm/dl V.	Mech. work gcm/dl V.	Total work gcm/dl V.	MBCobs./pred. %	ΔmmHg/V _E /m ² kgH/L/m ²
1	bilateral pleur. scar	22	6.2	13.6	9.04	0.038	130.0	1.10	5.6	135.2	1.14
		30	5.3	15.8	10.50	0.021	236.0	1.95	101.6	265.0	2.19
2	l-thoracopl. r-scar	22	3.1	6.9	4.23	0.027	185.0	0.40	263.0	0.57	0.64
		35	3.6	12.4	7.60	0.015	334.0	1.47	603.0	2.66	2.98
3	r-thoracopl. l-scar	12	3.7	4.3	2.57	0.023	217.0	0.34	139.7	0.21	0.41
		30	5.5	16.5	10.00	0.022	227.0	2.06	214.0	1.94	2.70
4	pulmonary fibrosis	22	4.5	9.9	7.00	0.031	161.0	0.69	94.5	0.42	1.00
		30	6.7	20.1	14.20	0.028	185.0	2.49	260.0	3.50	4.14
5	r-scar (minimal)	21	5.0	10.5	6.15	0.096	52.0	0.27	60.0	0.32	0.50
		33	7.9	23.1	13.60	0.090	55.0	1.10	71.4	1.15	1.60
6	r-pleural scar	21	6.4	13.3	8.60	0.039	123.3	1.10	59.7	0.50	1.60
		33	9.6	28.6	13.50	0.023	214.0	5.90	175.8	4.80	8.30
7	l-pleural scar	19	3.8	7.2	5.16	0.095	52.6	0.14	31.1	0.09	0.22
		30	3.9	11.8	8.40	0.073	68.5	0.31	103.2	0.47	0.58
8	normal	24	4.8	11.6	8.12	0.105	47.6	0.27	47.0	0.26	0.38
		24	7.7	18.5	13.00	0.077	65.0	0.92	47.3	0.66	1.40
9	normal	15	4.1	6.2	4.00	0.130	38.5	0.10	21.4	0.05	0.10
		22	7.7	16.9	11.00	0.080	62.0	0.81	56.1	0.70	0.97
10	normal	24	4.0	9.6	6.27	0.149	33.5	0.13	26.2	0.10	0.23
		26	11.2	29.1	19.00	0.140	35.8	0.97	30.6	1.04	1.96
11	normal	24	3.5	8.4	5.05	0.134	37.7	0.11	27.9	0.08	0.14
		29	7.0	20.3	12.4	0.100	50.0	0.71	83.0	1.20	1.45

A: At rest B: After CO₂ inhalation

健常例4例、胸廓成形施行例および肋膜べんち形成例7例、計11例に5% CO₂ 吸入を10~15分間行ない、Steady State をまつて測定した成績を表2に示す。

換気数の増加は全例にみられ、健常例に比して疾患群では、その増加の著しいものがみられた。

1回換気量は、両側べんちの1例を除き、全例に増加がみられた。

分時換気量は全例に増加し、両側べんちの1例を除き、全例に1.5倍以上の分時換気量の増加がみられた。

Transpulmonary pressure と1回換気量との関係を、安静換気時とCO₂ 吸入による過換気時について比較すると、図5のごとく、明らかに二つの態度にわかれた。図中、左側の健常例を含む6例は、安静換気時にTranspulmonary pressure は低く、No. 7の左側べんちを除いて、1回換気量の増加が著明であり、CO₂ 吸入によるTranspulmonary pressure の増加は少なかった。これに対して、図中右側の疾患5例は、安静換気時、すでにTranspulmonary pressure が高く、CO₂ 吸入により、Transpulmonary pressure の増加が著明であつた。

Fig. 5. Transpulmonary Pressure & Tidal Volume 5% CO₂ Inhalation

Compliance は、全例に不変ないし低下がみられた。

さらに前述の過換気を詳細に検討するために、自発的過換気により次の実験を行なった。

Ⅲ. 自発的過換気

健常例1例を含めた8例について、A) 1回換気量を出来るだけ一定とし、換気数を次第に増加する場合と、B) 換気数を出来るだけ一定とし、1回換気量を次第に増加する場合、の二つの態度を比較して、表3に示した。

Compliance は過換気の状態においては、必ずしも眞の肺の硬度を示すものではないが、健常例ではいずれの場合も低下がみられ、疾患群は不変ないし低下がみられた。

換気仕事量は、疾患群においては、片側軽度肋膜べんちを除いて健常例に比して、分時換気仕事量はA, Bいずれの方法によつても、増加は少なく、dl 当りの換気仕事は著明な増加をきたした。

なお、かゝる換気力学的障害が、血液ガスならびに肺循環におよぼす影響を検討する目的で、胸廓成形術施行例と、肋膜べんち形成例の6例について、右心カテーテル法を施行し、全抵抗仕事量との関係をみると、表4に示すごとく、拘束性障害の高度であるとおもわれる症例では、肺動脈換幹平均血圧は上昇し、動脈血 O₂ 分圧は下降、本脈血 CO₂ 分圧は上昇し、かゝる症例は全抵抗換気仕事量も増加していた(図17, 18, 19)。

考 案

肺結核症においては、慢性肺気腫と異なり、肺実質の減少、胸廓および肋膜を含めた肺組織の硬化が、Static compliance^{(7)(13)~(17)} の低下をまねくものと考えられ、また、Effective Compliance の低下も、同様の原因によるもので、以上の著者の成績からも、肺結核症においては、肺の硬度は一応、Effective Compliance で表現出来るものと考えられる。しかしながら、肋膜べんちおよび胸廓成形例にみられる Compliance の低下は、肋膜を含めた肺のみの硬化を表わす場合のみではなく、肋膜の癒着による胸廓の影響もうけるもの

Table 3. Mechanics of Voluntary hyperventilation

Case No.	Name	Disease	Manipulation	RR	V_T	$\dot{V}_E$	Compl.	Elastic work	Mech. work		Total work		Max. mech. R.	
				CG	L/min	L/cmH ₂ O	kgM/min	kgM/min	gcm/dl Vent.	kgM/min	gcm/dl Vent.	kgM/min	Ins.	Exp.
1.	■	right sided pleural scar (minimal)	Rest	21	530	11.0	0.097	0.30	0.31	53.6	0.45	76.5	2.3	4.4
			Hyper-A	71	790	56.0	0.090	2.46	6.70	152.0	7.00	157.8	4.2	6.8
			vent. B	18	1470	26.5	0.075	2.60	2.15	55.4	3.39	87.3	4.0	5.3
2.	■	r-thoracopl. 1-scar	Rest	20	290	5.3	0.024	0.35	0.26	152.4	0.48	281.2	5.0	6.6
			Hyper-A	100	200	20.0	0.007	2.86	5.70	1425.0	6.30	1575.0	9.5	12.3
			vent. B	22	480	10.6	0.013	1.62	1.35	360.0	2.55	556.0	9.7	13.3
3.	■	bilateral pleural scar	Rest	33	230	7.6	0.010	0.73	0.25	142.0	0.80	464.0	2.3	3.5
			Hyper-A	120	170	20.4	0.013	1.34	3.28	946.0	3.32	960.0	1.5	17.8
			vent. B	83	270	20.4	0.010	3.23	2.73	437.0	4.03	645.0	2.2	5.0
4.	■	bilateral pleural scar	Rest	22	620	13.6	0.040	1.10	0.47	56.4	1.14	140.7	1.9	6.7
			Hyper-A	83	480	42.2	0.026	3.89	5.28	255.0	5.90	307.0	5.7	5.9
			vent. B	15	1130	16.7	0.040	2.40	1.74	91.0	3.06	160.0	8.7	10.3
5.	■	r-thoracopl. 1-scar	Rest	12	370	4.2	0.023	0.34	0.25	160.0	0.46	290.0	7.5	7.5
			Hyper-A	86	470	40.5	0.016	6.00	20.60	1066.0	21.10	1093.0	21.3	87.1
			vent. B	11	750	8.3	0.028	1.10	0.63	110.0	1.37	221.0	17.0	10.9
6.	■	left sided pleural scar	Rest	21	635	13.3	0.039	1.10	0.50	59.7	1.60	163.0	7.1	4.9
			Hyper-A	94	660	62.0	0.033	6.56	29.10	711.0	29.50	72.0	9.3	15.0
			vent. B	24	900	21.6	0.029	3.34	3.84	197.7	4.54	234.2	6.7	20.0
7.	■	left sided pleural scar	Rest	15	625	9.4	0.073	0.33	0.26	43.6	0.47	79.6	3.3	5.2
			Hyper-A	120	510	61.0	0.064	2.44	16.30	522.0	16.40	525.0	3.1	7.9
			vent. B	26	1200	31.2	0.057	3.57	2.02	50.0	4.13	102.0	1.5	5.1
8.	■	normal	Rest	21	410	8.8	0.134	0.13	0.18	50.6	0.24	68.5	2.4	3.4
			Hyper-A	115	645	74.2	0.024	9.90	36.00	752.0	36.50	762.0	15.1	19.4
			vent. B	21	750	16.2	0.090	0.65	0.49	42.0	0.86	73.0	2.9	5.4

A: Augmented respiratory rate
B: Augmented tidal volume

と考えられる¹⁸⁾。また、片側肋膜べんちを考えると、測定された換気力学諸量が、病側の性質のみを表わしているものでもなく、健側肺が完全に代償しているものでもない。

機械的抵抗仕事量は、肺結核症においては、慢性肺気腫にみられるような高度の増加をきたしているものは少ないが、1例成形他側べんちにみられる機械的抵抗仕事量の著明な増加は、肋膜べんちと胸廓の変形のための、拘束と圧迫によって、気道抵抗の増加と、比較的高度な組織抵抗の増加によるものである。

気流阻止法⁶⁾⁷⁾による気道抵抗の測定に関しては、かなり以前より報告されているが、本法によ

る気道抵抗は高い値が出るという難点もあり⁸⁾⁹⁾、さらに今後の検討を要する。

換気力学からみて、CO₂ 吸入によつて換気量を増加する場合に、肺胸廓系の異常による呼吸運動制限は、正常例とくらべて、換気量を増加しない原因の一つに数えられているが³⁾⁴⁾⁵⁾、各症例にとつて、換気力学的にもつとも経済的な過換気が行なわれるものと考えられる。かゝる観点から、CO₂ 吸入による過換気を検討すると、分時換気量と分時仕事量との関係は、図6、8にみられるごとく、健常例においては、換気量の増加に比して仕事量の増加は少なく、片側べんちのNo. 6は、1回換気量および換気数を増加させるこ

Table 4. Pulmonary artery pressure, blood gases & total Ventilatory work

Case No.	Disease	Mean press. of main PA mmHg	Pa _{CO} ₂ mmHg		Pa _O ₂ mmHg		Sa _O ₂ %		Total work gcm/dl Vent.
			A	V	A	V	A	V	
1	bilateral pleural scar	24	58.0	53.5	56.0	35.0	86.4	63.2	460.0
2	1-thoracopl. & r-pleural scar	33	45.5	46.0	69.0	40.0	91.3	70.6	281.0
3	1-pleural scar	13	49.5	59.7	67.0	30.0	79.0	49.0	199.0
4	bilateral pleural scar	23	54.3	66.5	59.3	35.0	89.3	64.4	350.0
5	1-pleural scar	9	37.0	47.0	66.0	40.5	90.5	64.4	79.6
6	bilateral pleural scar	25	35.2	39.7	73.3	37.5	92.5	67.1	169.0

Fig. 6. Ventilation & Mechanical work
5% CO₂ Inhalation

とによつて，健常例とほとんど同程度に分時換気量を増加しえたが，仕事量の増加も著明である。

これに対し，No. 1，No. 2は病変高度なるため，1回換気量を増加しえず，換気数を増加さ

Fig. 7. Ventilation and mechanical work
5% CO₂ Inhalation

せているにもかかわらず，分時換気量はあまり増加しえなかつた。以上の関係は，効率をあらわすと思われる換気量 1 dl 当りの全仕事量および機械的抵抗仕事量と換気量との関係を見ると（図 7，9），前述の換気量を増加しえた症例 6 は分時換気量の増加による dl 当りの仕事量の増加は著明でなく，それに反し，No. 1，No. 2 は，分

Fig. 8. Ventilation & Total work
5% CO Inhalation Fig. 9. Ventilation & Total work
5% CO₂ Inhalation

時換気量の増加に対し、仕事量の著明な増加をみた。すなわち、かゝる症例は、分時換気量を増加させる場合は、著しい換気効率の低下をもたらすものと考えられる。

Fig. 10. Total work & MBC

Transpulmonary pressure と 1 回換気量との関係は、前述の図 5 にみられるごとく、二つの態度にわかれ、図中、左側の健常例を含む 6 例は、分時換気量の増加を、主として 1 回換気量を増加することによっておこなっており、しかもそれに使われる圧の変動は小さい。これに反して、図中右側の疾患 5 例は、1 回換気量を増加させることができず、換気数を増加させることによって、分時換気量の増加をはかつており、圧の変動が大であるのは、換気数の増加が大きな因子となっていると思われる。この図によっても、ある程度、それぞれの圧量図が想像出来る。左側群中、右側べんちの 1 例 (No. 7) は、1 回換気量はほとんど増加せず、主として換気数を増加させているが、換気数の増加のわりに圧の変動が少なく、比較的楽な呼吸を行なっていることがうかがわれる。

仕事量と分時最大換気量の予測値に対する百分比との関係は、全抵抗仕事量 (図 10)、機械的抵抗仕事量 (図 11) とともに比較的相関がみられ、図 12 のごとく、安静時と CO₂ 吸入による過換気における機械的抵抗仕事量の分時換気量に対する増加度 ($\Delta mw / \Delta VE / m^2$) とは相関がみられた。

自発的過換気において、表 3 のうちの 4 例について、分時換気量に対する機械的抵抗仕事量をプロットすると、図 13 のごとく、健常例は、換気数を増加させる A の方法による場合、分時換気量が、30l 近くまでは、比較的平坦な線をえがいて増加し、それ以上の換気量の増加に対して、はじ

Fig. 11. Mechanical work & MBC

Fig. 12. Mechanical work & MBC

めて、やゝ急な傾斜をとつて上昇した。また、健常例においては、1回換気量を増加させた場合、1回換気量が、安静換気時のその約2倍近くなくても、同程度の分時換気量を、はやい換気数によつてえたものに較べて、むしろ機械的抵抗仕事量は少ない傾向を示した。軽度の片側べんち例は、健常例とほぼ同様の態度をとつたが、1回換気量の増加による分時換気量の増加では、同程度の分時換気量を換気数の増加によつてえたものより、仕事量が多い傾向を示した。これに対して、両側べんち、1側成形他側べんち例は、換気数の増加による分時換気量のわずかの増加に対して、仕事量の増加が著明であるため、急峻な線をえがいて上昇し、従つて分時換気仕事量 (kg M/min の場合) としては、健常者の仕事量におよばなかった。1回換気量の増加による分時換気量の増加

Fig. 13. Ventilation & Mechanical work

Fig. 14. Ventilation & Mechanical work

では、疾患群ではいずれも；換気数の増加によるよりも、仕事量が多い傾向があつた。これには、弾性抵抗仕事量の増加による影響が関与しているものとおもわれる。これらの関係を、gcm/dl Vent. で表わしたものでみると、さらに著明となる。

とくに軽度肋膜べんち例は健常例と全く同様の態度をとつた (図14)。すなわち、dl 当りの仕事量をみると、両側べんち例および1側成形他側べんち例では、分時換気量が約20l で、すでに健常例の70l 以上の仕事を行なつていることになり、したがつて、それ以上の分時換気量の増加が困難となつてくるのは当然であると考えられる。全抵抗仕事量と分時換気量との関係も、機械的抵抗仕事量の場合と同様の関係がみられ、軽度片側べんち例では、健常例とほぼ平行して仕事量が増加するが、他の2例は、安静時すでに健常例に比較し

Fig. 15. Ventilation & Total work

Fig. 16. Ventilation & Total work

て仕事量が多く、分時換気量の増加に対して、仕事量は急激に増加する (図15). 全抵抗仕事量を gcm/dl Vent. で表わすと (図16), 機械的抵抗仕事量の場合と同様、さらに著明となった。

換気の仕事量および呼吸の能率に関する研究は種々報告されているが¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾, Fritts¹¹⁾ らのいうごとく、仕事量の測定には、食道一口腔内圧差が、胸腔内圧に代用されているために、胸腔内圧で、実際に測定した仕事量よりも仕事量が多い結果がでること、また、肺の表面がすべて等しい圧を示しているものではなく、肺疾患においては、

Fig. 17. Total work & Mean pressure of Pulmonary artery

一層考慮されねばならぬことから、換気仕事量の評価は、その絶対値よりも、その増加度を問題にすべきであると考えられる。

呼吸における仕事の能率は、換気の仕事量と、換気のために消費されたエネルギー、すなわち O_2 消費量との割合から求められる。呼吸によつて得たエネルギーが、著しく高い場合を考えると、1) 呼吸のためのエネルギーが、大部分換気のために消費される場合と、2) エネルギーの相当な部分が、体の代謝に使用される場合が考えられる。しかしながら、呼吸の代謝面の解析は評価がむずかしく、特に肺疾患においては、呼吸のために用いられるエネルギーは、前者によるものと考えられるから、換気の能率から呼吸の能率もある程度推測出来ると考えられる。

一般に換気の仕事量を表現する際に kgM/min の単位を使用した場合、分時換気量と対比せねば、その増加は能率を意味しているものではない。しかしながら、換気の仕事量に gcm/dl Vent. の単位を用いた場合には、これのみで分時換気量の因子を含んでいるので、仕事量を観察する上に、より効果的であると考えられる。

かゝる観点から、安静換気時、 CO_2 吸入による過換気時および自発的過換気時について検討して

Fig. 18. Total work & P_{aO_2} Fig. 19. Total work & P_{aCO_2}

みると、肺結核症の換気力学の特徴は、一口に、**Compliance** の低下、従つて弾性抵抗仕事量の増加、および機械的抵抗仕事量の比較的増加として表現されているが、その程度もいろいろである。軽症肺結核症においては、正常例とほとんど同程度の換気力学諸量を示しており、一方、肋膜べんちおよび人工的べんちともいわれる胸廓成形は、それが片側であつても、安静換気時すでに、換気力学諸量が健常例に比して、著しくへだたりのあるものが多く、1側成形他側べんち例では、肺に

ほとんど病変がないと思われるにもかゝらず、安静換気時でも、高度肺結核、肺線維症に匹敵するほどの換気力学諸量の悪化がみられる。これら症例は、換気仕事量の増大が、血液ガスに悪影響を与えているのみならず、これを改善するために過換気をおこなわせると、換気能率の悪化のために、経済的に過換気をおこなうものと考えられる。 CO_2 吸入による過換気においても、正常例とことなり、さらに能率が悪化することゝなり、また自発的過換気においては、これら能率の低下によりおこる仕事量の増加のために換気量を増加しえない。動脈血 CO_2 分圧、肺動脈本幹平均血圧および動脈血 O_2 分圧と仕事量との関係からもうかわれるように、これら拘束性障害を主とする肺結核症の肺胸廓系の異常による換気能率の低下が、血液ガスにも悪影響をおよぼし、いわゆる肺胞性低換気を招来し、肺血管床の減少と相まつて、肺高血圧症を惹起し、肺性心への道をたどるものと考えられる。

総 括

健常者18名、肺結核症52名をえらび、安静換気時、 CO_2 吸入による過換気時、自発的過換気時について、換気力学的研究を加え、つぎの結果を得た。

I. 安静換気時

1) **Compliance** は全般的に低値をとるが、1側成形他側べんち群、肺線維症群、高度肺結核群、片側無気肺群では、著しく低下していた。

2) 最大機械的抵抗。もつとも高値を示したのは、1側成形他側べんち群で呼気時抵抗が吸気時抵抗の約3倍に増加していた。

3) 換気仕事量。全抵抗仕事量は、両側べんち、1側成形他側べんち、高度肺結核および片側無気肺の各群に著明な増加がみられた。機械的抵抗仕事量は、1側成形他側べんち群が、もつとも増加していた。

4) 気道抵抗と肺組織抵抗との比較では、1側成形他側べんち群がもつとも気道抵抗が大きく、肺組織抵抗のもつとも高値を示したのは、肺線維症群であつた。

Ⅱ. CO₂ 吸入による過換気

換気数の増加は疾患群に著しいものがみられた。1回換気量の増加度は、疾患群は健常例に比して少なかった。分時換気量と分時機械的抵抗仕事量との関係は、疾患群では、仕事量の急激な増加を来した。dl Vent. 当りの仕事量をみると、換気量を増加した片側べんち例も健常に比し、仕事量の増加度が大きかった。

Ⅲ. 自発的過換気. 1回換気量又は換気数のいずれかを一定にして分時換気量の増加を検討すると、分時換気量に対する機械的抵抗仕事量は、疾患群においては、分時仕事量の増加度が大きいため立上がり急で、分時換気量はしたがって増加しえなかった。1回換気量の増加による場合は、疾患群は正常例と異なり、換気数の増加によつて分時換気量を増加させた場合と同程度の分時換気量でも、仕事量の増加度が大きい傾向を示した。

Ⅳ. 全抵抗仕事量と動脈血 CO₂ 分圧とは、著者の症例では相関を示し、動脈血 O₂ 分圧、肺動脈本幹平均血圧とも、比較的相関を示した。

以上の成績から、安静時における換気仕事量の

増大が、血液ガスに悪影響を与えているのみならず、これを改善と思われる過換気も、さらに換気の能率を悪化するという悪循環が招来される。

文 献

- 1) Cherniack, R.M.: J. appl. Physiol., 8: 203, 1955. — 2) 笹本浩: 内科, 1: 147, 1958. — 3) Cherniack, R.M. et al.: J. Clinic. Invest., 35: 1286, 1956. — 4) 笹本浩: 日本の医学, 4: 385, 1959. 第15回日本医学会総会にて発表. — 5) Alexander, J.K. et al.: J. Clinic. Invest., 34: 511, 1955. — 6) Vuilleumier, P.: Ztschr. Klin. Med., 152: 106, 1948. — 7) 滝島任: 呼吸と循環, 5: 47, 1957. — 8) Mead, J. et al.: J. appl. Physiol., 6: 408, 1954. — 9) 中村隆: 内科, 3: 824, 1959. — 10) Attinger, E.O. et al.: Am. Review of Resp. Diseases, 80: 38, 1959. — 11) Fritts, H.W. et al.: J. Clinic. Invest., 38: 1339, 1959. — 12) Campbell, E.J.M.: Clin. Sci., 18: 55, 1959. — 13) Stead, W.W. et al.: J. Lab. & Clinic Med., 40: 674, 1952. — 14) v. Neergaard, K. et al.: Ztschr. Klin. Med., 105: 35, 1927. — 15) 滝島任: 呼吸と循環, 4: 871, 1956. — 16) Otis, A.B. et al.: J. Appl. Physiol., 8: 427, 1956. — 17) 中村隆: 日内会誌, 47: 1095, 1958. — 18) 中野実: 日内会誌, 48: 1724, 1960.