

人体呼吸死腔に関する研究

その 2

呼吸死腔の変動に就いて

岡山大学医学部第一生理学教室 (主任: 林 香苗教授)

専攻生 守 屋 武 夫

[昭和 34 年 3 月 16 日受稿]

第 1 章 緒 論

呼吸死腔 (以下 VD と略記) の大小は, 呼吸に際して, その換気能率を決定する重要な因子である。ところが, VD の大きさは解剖学的な気道の容積の大小の他に呼吸相, 気道壁の平滑筋, 弾力線維の緊張乃至収縮状態, 従つて自律神経緊張等で変動しそうであり, 又疾病時には健康状態でガス交換に関与する部が病変のために死腔化することも考えられる。従つて VD の大きさが生理的条件でどう変動するか, 病気殊に呼吸器疾患の際どう変るか, 又呼吸効率のもう一つの因子である 1 回換気量 (以下 VT と略記) とどんな関連性があるかは呼吸生理及び呼吸器疾患の病態生理を十分に理解するために必要なものであると信ずる。故に本編においては, まず同一人体の VD の生理的変動因子につき実験的検査を試み, 次に VD の変化が想像される 2 乃至 3 の病的状態において行つた VD の計測成績に就いて記述したい。

実験方法としては, 一般に前編に準じ, VT と呼吸並びに Haldane-Priestley 法 (以下 H-P 法と略記) により採集した肺胞気の CO₂ Vol% から VD を求めた。特別な目的による実験法及びその他の実験法の細部に就いては, その実験条下に記述する。

第 2 章 追加死腔と呼吸死腔値

1) 実験方法

本実験に用いたマスクは, 前編のと違つて, 鼻腔側と口腔側とのゴム板の隔壁を除去せるマスクを用いた。マスク内に水を満し, それに被検者の顔面を当てて, 残つた水量を計測して得た値をその被検者の追加死腔容積とした。マスクによつて追加された死腔容積は個々の顔の輪廓で違ふ。又追加死腔の増

減はマスクに充填するパラフィン量による。肺胞ガスの採集はマスクの死腔の影響が肺胞 CO₂ Vol% に現われることが考えられるので, マスク装用のまま実施した。

2) 実験成績と考按

第 1 表は被検者 5 名に就いて, 追加死腔平均 69 ml のマスクを用いた場合と, 追加死腔平均 117 ml のマスクを用いた場合との真の VD (追加死腔を差引いた身体の VD) の変動を示す。5 例何れも, 大きいマスク死腔を用いた群が小さいマスク死腔の群に比して, VT の増大 ($415-394=21$ ml), 呼気 CO₂ 濃度の減少 ($2.65-3.00=-0.35$ Vol), 肺胞 CO₂ 濃度の増加 ($5.47-5.38=0.09$ Vol%) が現われ, その結果, 追加死腔を含んだ全死腔は増大 ($211-173=38$ ml) するが, 真の VD 値は減少している。即ち追加死腔の小なる群では, 身体の VD が平均 104 ml であるのに対して, 大きい追加死腔の群では平均 94 ml と減少している。追加死腔約 50 ml の増加で, 求める真の VD は約 10% 減少した。また直接血液ガス交換に与る吸気量即ち VT から全死腔を差引いた量と VT との比率, 換気効率は追加死腔が大なる程, 小となる (5 例平均 0.55 から 0.48)。然し, VT から追加死腔を差引いた量との比率は表にみる如く, 追加死腔の大小に拘らず, 全例共, 不変の傾向 (0.67, 0.68) を示している。いま, この実験成績, 中でも追加死腔が増大すると, 身体側の VD が小さくなる点につき按ずるに, Fischman⁷⁾ は iso-saturation method を用いて, VD は追加死腔とは無関係であるといひ, Bouhuys⁸⁾ は N₂ 法を用いて, 追加死腔により, VD は増大すると云ひ, この VD は肺容積及び VT との間に関係があるという。これらの報告は, 私の結果と全く反しているわけであるが, この差違の理由の一つは測

第 1 表 追加死腔と呼吸死腔

		A	B	C	D	E	平 均
追 加 死 腔 平 均 69 ml	追 加 死 腔 (a)	67	66	70	71	70	69
	呼 吸 数	18	19	18	18	17	18
	1 回 換 気 量 (b)	392	385	321	356	507	394
	呼 気 CO ₂	3.0	2.65	3.3	3.2	2.9	3.0
	肺 胞 CO ₂	5.3	4.9	5.9	5.8	5.0	5.38
	全 死 腔 (c)	171	179	150	159	209	173
	身 体 の VD (c-a)	104	113	80	88	139	104
	(b-c)/b	0.56	0.54	0.53	0.55	0.59	0.55
	(b-c)/(b-a)	0.67	0.65	0.68	0.68	0.68	0.67
追 加 死 腔 平 均 117 ml	追 加 死 腔 (a')	116	115	115	120	120	117
	呼 吸 数	18	21	17	19	17	18
	1 回 換 気 量 (b')	414	403	364	380	513	415
	呼 気 CO ₂	2.6	2.25	2.9	2.9	2.6	2.65
	肺 胞 CO ₂	5.35	5.0	6.0	5.9	5.1	5.47
	全 死 腔 (c')	211	221	185	195	250	211
	身 体 の VD (c'-a')	95	106	70	75	130	94
	(b'-c')/b'	0.48	0.45	0.49	0.49	0.51	0.48
	(b'-c')/(b'-a')	0.67	0.63	0.72	0.70	0.66	0.68

定法が、私の方法と違っている。然し、その他、本実験に得た VD 減少の原因としてマスクと顔面との間に生ずる死腔面の複雑な構成のため、呼吸気の換気上、死角となる部分が存在すること、更に気道及び追加死腔内におけるガスの流れが、軸と末梢とで、速度に差がある (Henderson¹⁵⁾, Briscoe²⁵⁾) 等が考えられる。ともあれ、死腔の大きいことは換気能率を悪くし、一方 VD 計測時に追加死腔の大なることは、真の VD を求める上に妨げとなるものといえる。

第 3 章 運動と呼吸死腔値

1) 実験方法

運動の負荷方法として、ブレーキを軽くかけた自転車に 1 分間 30 回転の速度で踏ませ、呼吸数並びに脈膊数の恒常となるを待ち、呼吸を 3 分間採集し、それが終了すると、直ちに引きつづいて、自転車回転中に H-P 法で肺胞ガスを採集した。その他は前編に準じた。

2) 研究成績と考按

第 2 表は被検者 5 名について、安静、椅座位における VD と運動を負荷した時の VD 測定成績を比較検討した。全例において、運動により、呼吸数、VT、呼気 CO₂ 濃度、肺胞 CO₂ 濃度何れも増し、これら測定値を Bohr 式に入れて、VD を算出す

第 2 表 運動と VD

		A	B	C	D	E	平 均
安 静 時	呼 吸 数	16	18	14	14	17	16
	1 回換気量	468	309	411	434	328	390
	呼 気 CO ₂	3.4	3.7	4.0	4.1	3.7	3.6
	肺 胞 CO ₂	5.15	5.75	5.45	5.35	5.35	5.41
	VD	158	110	109	101	103	116
	VD/VT	0.33	0.35	0.26	0.23	0.31	0.30
働 作 時	呼 吸 数	20	19	17	18	20	19
	1 回換気量	525	536	657	685	602	601
	呼 気 CO ₂	3.6	4.0	4.2	4.4	4.4	4.1
	肺 胞 CO ₂	5.55	5.8	6.05	6.65	6.25	5.8
	VD	184	166	197	151	178	175
	VD/VT	0.35	0.31	0.30	0.22	0.29	0.29

るに、各例に於て、運動負荷時には VD が増大する。即ち安静時 VD 平均値 116 ml に対し、運動負荷時平均 175 ml と VD が増した。一方、VT に対する VD の割合は安静時と略々不変の傾向 (0.30, 0.29) を示している。即ち運動負荷による VT の増大に比例して、VD は増大することを示している。この事実は重要な事である。ただし、VT の大小は単に換気量の絶対値の増減だけでなく、吸気の内、血液とのガス交換に与る比率を増減して、肺の呼吸能率に影響するであろうと考えるのに、私

の実験成績の如く、運動時の呼吸量が増しても、VD/VTが安静時と変わらないというならば、運動時体内物質代謝の亢進に適応する呼吸による酸素補給が、換気量の絶対値の増加のみに任されているということになる。故に、運動時にVDの増大するとはDouglas及びHaldane⁴⁾がCO₂法により発見したのであるが、Krogh¹⁴⁾はH₂法により、運動時のVD増大を認めず、Haldaneの成績はH-P法で採集する所謂肺胞気のCO₂濃度が新陳代謝の亢まつている運動の際は真の肺胞気のそれ以上に過度に高くなるH-P法を用いた所為だと反論している。一方、Aitken¹⁾はKroghの想見に賛成しているが、VDは運動により変化し、而も、VD/VTは私の成績と同様に不変の傾向ありという。Fowler⁶⁾はN₂法により、運動時VDの増大を認め、実験的に意識的過呼吸によるVDの増大と本質的な差はないとして、その原因を深い吸気の解剖的容積の増大に求めた。他方、Rossier²⁰⁾は肺胞クリアランスの概念を導入して、動脈血CO₂張力を測定し、運動時VDの増大を指摘し、VD/VTも不変の傾向を示していた。果して、Kroghの批判する様に、H-P法による測定値をBohr式に適用するに無理のあるものか、私はH-P法で得た肺胞CO₂分圧と実測動脈血CO₂分圧と比較して、本測定値の値を次ぎに検討してみる。

3) 動脈血CO₂張力測定によるHaldane呼吸死腔測定法の吟味。

動脈血の採集は採血操作のため呼吸の乱れない様

留意しつつ行い、肘動脈からヘパリン液で潤した注射器に約10cc採血し、遠沈管の約2cmの層の流パラ下に注入し、遠沈して、嫌氣的に血漿を分離し、Van-Slyke分析器(1ml用普通型)を用いて、血漿のCO₂含量を測定し、一方、ガラス電極pHメーターによつて、室温で血漿のpHを測り、Rosenthalの温度補正を行い、この二つの実測値からHenderson Hasselbalchの式のノモグラムを用いて、動脈血漿CO₂分圧を算出した。運動負荷の方法は軽くブレーキをかけた自転車を踏ませ、脈数及び呼吸数を数えて、運動開始後約4分位で、その恒常化から、メタボリズムの安定した状態を推定した。肺胞気の採集及び測定は全くH-P法に準拠し、肺胞CO₂濃度の測定は労研式ガス分析器を用い、Vol%で実測され、次式によりCO₂分圧に換算される。

$$PACO_2 = FAcO_2 \times (PB - 47)$$

PACO₂: 肺胞CO₂分圧, 単位mmHg

FAcO₂: CO₂ Vol%

PB : 大気圧, 単位mmHg

47 : 37°C 飽和水蒸気圧, 単位mmHg

測定成績を第3表に一括して示す。この表につき、まづ呼吸終末及び吸気終末肺胞CO₂濃度を比較してみると、安静時、運動時共に各5例全部呼吸終末の方が高く、その濃度差は安静時0.31Vol%, 運動時約0.24Vol%で、この差はすでに述べた様に、呼吸が周期的に営まれるための、当然期待される時間的差と考えられる。そして、かかる肺胞内ガスの周期的変動は呼吸組成にも必ず反映しておるもの

第3表 動脈血CO₂張力と肺胞CO₂張力

		動脈血 CO ₂ mm Hg	呼気終末肺胞 CO ₂		吸気終末肺胞 CO ₂		平均肺胞 CO ₂	
			Vol %	mm Hg	Vol %	mm Hg	Vol %	mm Hg
安 静 時	A	38.8	5.4	38.5	5.2	37.0	5.3	37.7
	B	41.8	5.6	39.9	5.2	37.0	5.4	38.5
	C	42.9	5.6	39.9	5.3	37.7	5.45	38.8
	D	38.0	5.5	39.2	5.3	37.7	5.1	36.3
	E	41.5	5.6	39.9	5.1	36.3	5.3	37.7
	平均	40.6	5.53	39.4	5.22	37.1	5.31	37.8
運 動 時	A'	41.8	5.8	41.3	5.6	39.9	5.7	40.6
	B'	41.0	5.7	40.5	5.5	39.2	5.6	39.9
	C'	42.5	5.8	41.3	5.6	39.9	5.7	40.6
	D'	42.5	5.9	42.0	5.5	39.2	5.7	40.5
	E'	43.5	6.1	43.4	5.9	42.0	6.0	42.7
	平均	42.26	5.86	41.7	5.62	40.0	5.74	40.9

と推察せねばならないから、Bohr 式に用いる肺胞 CO₂ 濃度には両者の平均を用いるのが真に近いと考える。次に第 3 表にみる通り、安静時、運動時共に呼気終末の肺胞 CO₂ 分圧は動脈血 CO₂ 分圧との差が平均安静時 1.2 mmHg, 運動時 0.6 mmHg 低く、略々動脈血 CO₂ 分圧に等しく、H-P 法による呼気終末肺胞 CO₂ 濃度は安静時は勿論運動時も動脈血 CO₂ 張力と等しい程度迄、肺胞内で全部平衡になっているものであり、殊にその値が H-P 法操作の如く、呼吸中断を行わない時の動脈血 CO₂ 張力を超すことがない事実は、Krogh の批判する様に H-P 法で肺胞 CO₂ 分圧が人工的に上昇する危険はないことを証するものと理解したい。従つて、さきに呼気終末、吸気終末の肺胞 CO₂ 濃度の平均を以て肺胞 CO₂ 濃度として、Bohr 式に適用して算出した VD 値は安静時はもとより動作時においても信頼するに足る値であると認めたい。

第 4 章 意識的過呼吸と呼吸死腔

1) 実験方法

1 回換気量の変化は随意的である。また、呼気採集時の呼吸型を再現するため、呼吸数をメトロノームで調整し、その間に、肺胞ガスを採集した。その他は前編に準ず。

2) 実験成績

被検者 5 名について、平常呼吸量と過呼吸量とにおける VD を比較するに (第 4 表), 全例に於て、大きい VT の方に VD の増大がみられる。5 例平均すると、平常 VT 425 ml, VD 110 ml が過呼吸では、呼吸量 735 ml, VD 187 ml と相当度の増大

第 4 表 呼吸の大小と VD

		A	B	C	D	E	平均
平常呼吸	呼吸数	16	18	14	16	15	15.8
	1 回換気量	458	487	428	340	415	425
	呼気 CO ₂	3.8	3.7	4.0	4.0	3.9	3.88
	肺胞 CO ₂	5.1	5.15	5.35	5.45	5.15	5.24
	VD	116	136	110	90	100	110
	VD/VT	0.25	0.28	0.25	0.26	0.24	0.25
大きい呼吸	呼吸数	12	14	12	13	12	12.6
	1 回換気量	755	918	725	500	780	735
	呼気 CO ₂	3.4	3.0	3.6	3.7	3.5	3.44
	肺胞 CO ₂	4.6	4.1	4.9	4.95	4.5	4.61
	VD	196	246	192	126	174	187
	VD/VT	0.26	0.26	0.26	0.25	0.22	0.25

がみられた。然し、VD/VT は両者では略々不変であつて、約 0.25 を示した。換言すれば、VD の変化は VT に比例して増減する。Krogh 及び Lindhabd¹⁷⁾ は VD の変化は Lungeninflation の僅かな変化の内に限られると云い、Fowler⁶⁾ も N₂ 法により、VD の増大は深い吸気の解剖学的容積の増大によるもので、最大の変量は 100 ml であるという。が、呼吸ガス法による Haldane 及び Priestley¹³⁾ は著明の VD の増加を認め、Kaltreider¹⁶⁾ も CO₂ 法で VD と VT の間に相関性を認め、わたしの成績と略々一致している。

第 5 章 体位と呼吸死腔

同一人につき、安静時、椅坐位と背臥位で、呼気及び肺胞ガスを採集したる実験値より、両体位における VD を求めた (第 5 表)。被検者 5 名の全例において、背臥位では VD 減少し、椅坐位の VD 平

第 5 表 体位と VD

		A	B	C	D	E	平均
背臥位	呼吸数	13	13	18	17	16	15.5
	1 回換気量	392	500	353	380	432	411
	呼気 CO ₂	4.3	4.0	3.9	3.9	4.0	4.02
	肺胞 CO ₂	5.7	5.5	5.55	5.5	5.6	5.5
	VD	96	135	103	121	121	105
VD/VT	0.24	0.27	0.29	0.29	0.28	0.26	
椅坐位	呼吸数	13	15	18	18	17	16
	1 回換気量	430	523	390	436	500	456
	呼気 CO ₂	4.19	3.6	3.7	3.55	3.8	3.76
	肺胞 CO ₂	5.6	5.15	5.45	5.25	5.3	5.34
	VD	108	157	125	140	141	133
VD/VT	0.25	0.30	0.32	0.32	0.28	0.29	

均 133 ml に対して、背臥位では平均 105 ml となっている。更に、VD/VT も背臥位が約 10% 減少して、換気率の良好を示す。これは Douglas 及び Haldane⁴⁾ の成績と略々一致する。Siebeck²⁴⁾ も H₂ 法により、niedere mittellage と hohe mittellage の VD を 2 名に就いて比較し、後者の死腔の増大を認めた。私の実験で VD/VT の変化を生じたのは、両体位における呼吸運動の様式の解剖生理学的差によつて生ずる肺胞換気能の差にもとづくものであろう。

第6章 呼吸ガスCO₂計測による死腔値とO₂計測による死腔値の比較

呼吸並びに肺泡O₂濃度により, $VD = VT - (VT$

$\times \frac{20.93 - l}{20.93 - a})$ 但し, a...肺泡気O₂Vol%, l...呼吸O₂Vol%から求めたVDo₂と, CO₂により求めたVDco₂とを比較検討してみた. 被検者5例で(第6表)呼吸及び肺泡気平均O₂Vol%は夫々16.57,

第6表 CO₂測定法とO₂測定法の比較

		A	B	C	D	E	平均
CO ₂ 測定	呼吸回数	15	16	14	14	15	15
	換気量	338	312	511	538	329	405
	呼気CO ₂	4.0	3.78	3.71	3.84	3.7	3.8
	肺泡CO ₂	5.77	5.76	5.61	5.02	5.2	5.47
	VD	100.0	107.0	163.6	126.3	95.4	119.4
O ₂ 測定	呼気O ₂	16.01	16.60	16.73	17.03	16.50	16.57
	肺泡O ₂	14.27	14.24	14.42	15.83	14.50	14.65
	VD	118.3	109.0	181.0	134.7	101.9	128.9

14.65, 平均VDo₂は128.9 ml, 一方, 平均VDco₂は119.4 mlであった. 即ちVDo₂値はVDeo₂値より高い. この成績はHaldane¹¹⁾及びHenderson¹⁵⁾の観察と一致するもので, Bartel¹³⁾も又O₂, CO₂, N₂, Heの4種のガスによつて求めたVDの比較から同様の成績を得ている.

第7章 呼吸死腔と呼吸効率

VDを測定することから, 呼吸による肺泡換気の効率を種々な方法で知ることが出来る. 本研究において, VD/VTを求めたが, これはEnghoff⁵⁾によつて“ineffix-quotient”と呼ばれるものであつて, 値の小なる程, 換気効率のよいことを意味する. この値は, 既述の通り, 健康成人の男女を通じて, 約0.30なる値を示した. Haldane⁹⁾, Fowler⁶⁾, Enghoff⁵⁾, Moncrief¹⁸⁾等の測定したものの平均と略々一致する. そして, 本研究において, このVD/VTは運動, 過呼吸, 追加死腔等の影響を余り受けず, VDと違つて, 比較的安定していることを知つた. Aitken¹⁾, Rossier²⁰⁾もはげしい運動にも比較的不變であることを強調している. VD/VTが比較的安定していることは, 肺泡換気の急激な変化をさげ, 従つて, 肺泡ガスの組成が比較的一定であることの理由となる. 即ちVD/VTの恒常性は呼吸機能に対して, 一種の緩衝作用を営んでいると考えられ, この意味からも, VDで現わされる, むしろ不安定な空間に“dead space”の表現を用いるのは妥当ではない.

第8章 呼吸器疾患と呼吸死腔

生理的変動因子についての実験考察の次に, 変動因子研究の一環として, 呼吸器疾患をとりあげ, 病理的変動因子に就いて研究した. 呼吸器疾患によつて, 呼吸死腔の知識はその基本的な病態生理を知る上に重要なものとする.

検査対象としては(第7表)気管支拡張症1名,

第7表 検査対象

症例	数	病状
気管支拡張症	1	左肺全野殊に下葉に著明にみられる
肺結核	重 症	8 病変が一肺葉又はそれ以上
	軽~中等症	10 病変が一肺葉以内
矽肺症	7	微小な融合化のみなれない矽肺結節が全肺野に撒布されたもの
肺気腫	7	男子老人性のもの

肺結核症18名, 矽肺症7名(柵原鉦山労務者), 老人性肺気腫7名について, 健康人のVD測定法に全く準じて検査した.

1) 疾患別呼吸死腔及び換気効率

測定成績を第8表に示す. 第1行は左肺全野, 殊に下葉に著明な気管支拡張症の1測定例で, 肺活量1300 ml(標準肺活量の37%)の症例で, そのVD値177ml. VD/VT 0.45, 第3行は病変が一葉又それ以上に及び, 肺活量平均2410 ml(61%)の重症肺

第 8 表 疾 患 別 検 査 成 績

疾 患 名	例 数	肺 活 量		呼 吸 数	1 回 換 気 量	VD	VD/VT
		ml	* %				
気管支拡張症	1	1300	37	22	391	177	0.45
肺 結 核 軽～中等症	10	3100～5000	73～122	12～19	302～421	83～176	0.25～0.42
	平均	3900	106	15.1	374	113	0.30
肺 結 核 重	8	1000～4000	30～94	15～21	328～523	141～201	0.32～0.43
	平均	2410	61	17	467	169	0.36
矽 肺 症	7	2900～4020	82～115	15～18	516～660	261～215	0.37～0.46
	平均	3261	93	16.7	570	235	0.41
老人性肺気腫	7	1700～2700	55～88	15～19	260～481	112～199	0.34～0.43
	平均	2280	78	17.3	388	145	0.38

* 実測値/標準値

結核症 8 例で、平均 VD 169 ml, VD/VT 0.36, 第 2 行は一葉以下の病巣で、平均肺活量 3900 ml (106%) の中等乃至軽症肺結核症 10 例で、平均 VD 113 ml, VD/VT 0.30, 第 4 行、矽肺症 7 例は肺活量平均 3261 ml (93%) で融合性のない、微小な矽肺結節が全肺野に、散布されたもので、平均 VD 235 ml, VD/VT 0.41, 第 5 行の老人性肺気腫については、平均年齢 66 才、肺活量 2280 (78%) で、平均 VD 145 ml, VD/VT 0.38 であつた。以上矽肺症、老人性肺気腫、重症肺結核症の順に、何れも健康人 VD 137 ml, VD/VT 0.31 を著しく上廻つて、VD の増大、換気効率の不良化を示したが、軽症乃至中等症肺結核では、寧ろ、健康値を下廻つた。

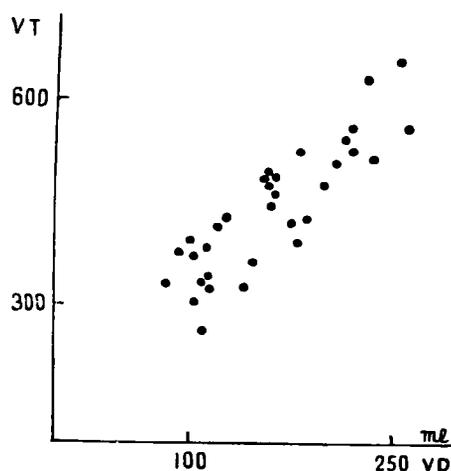
2) 病巣の拡がりや死腔及び換気効率

以上の検査成績を病巣の拡がりからみると、病巣が最も全肺野に散布された矽肺症では、VD 最も増大し、VD/VT は最も大きく、換気効率が不良で、病巣が各肺葉に局限化の傾向をみる肺結核は VD/VT は最も少く、即ち換気効率がよく、老人性肺気腫は病巣の拡がりも又換気効率も共にその中間に位する。

3) 換気量並びに肺活量と死腔及び換気効率

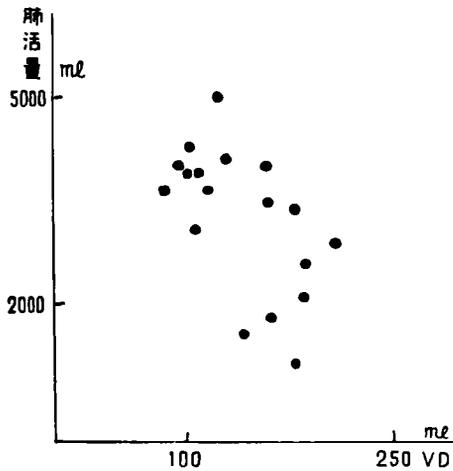
呼吸器疾患における換気量、肺活量が VD 及び VD/VT との間に相関性があるかどうか、相関関数並びに相関図表について、検討してみた。VT は健康人の場合と同様に、VD との間に、強い順相関 (相関係数 $r=0.91$) がみられた (第 1 図)。即ち VT の大きい疾患は VD が大きい。VD/VT との間

第 1 図

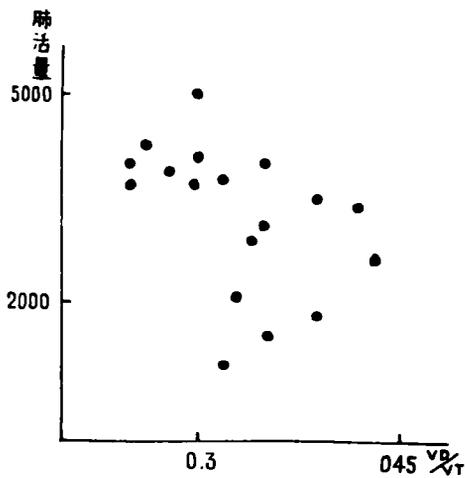


には、健康人の場合と同様に一定の関係はみられない。次に肺活量では、VD との間に、健康人では順相関がみられたのに反して、呼吸器疾患全体に通じては一定の関係はみられなかつたが、疾患別に、特に肺結核症 18 例のみ検討すると、逆相関 ($r=-0.69$, 自由度 $n=16$, Student の $t=3.80$) がみられた (第 2 図)。即ち肺活量少い肺結核症程、VD は大きい。肺活量と VD/VT の間は、健康人の場合と同様に一定の関係はみられなかつたが、疾患別の肺結核症 18 例では、逆相関 ($r=-0.47$, $n=16$, $t=2.13$) がみられた (第 3 図)。即ち肺活量の少い肺結核症程、換気効率が悪い。肺活量/標準値と VD 及び VD/VT との間は、全症例及び疾患別共に相関性はみなかつた。然し、矽肺症ではその肺

第 2 図



第 3 図



活量/標準値が0.93と僅かしか減っていないにも拘らず、VD が最も大、尚 VD/VT が最も大きく、換気効率が最も不良である。それに反して重症肺結核症では、肺活量/標準値が0.61と著明に低下しているにも拘らず、VD が小さく、VD/VT も肺症程大きくなく、換気効率が良好である。尚全症例を通じて、健康人平均 VD/VT より良好な4例は、すべて肺活量/標準値が90%以上の良好な肺活量を示したものである。

4) 胸部手術と死腔及び換気効率

呼吸器疾患に肺葉切除術を施行すると、手術前大きくなっている VD 及び VD/VT がどのように変化するか、肺結核症5例について観察した。

検査対象として、社会保険岡山市半田病院にて、肺結核の外科的治療を受けた患者、右上葉切除術2名、左上葉切除術3名をえらんだ。何れも、病状は中等症で、病巣が一葉内に限局したものである。

VD 測定は術前及び術後6ヶ月頃に、全く前編に準じて行われた。その肺葉切除術前後の VD 及び VD/VT を第9表に示した。1例術前に肺量著しく

第9表 肺葉切除術前後の VD

		A	B	C	D	E	平均
術前	肺活量	3800	3100	3400	1950	3900	3230
	呼吸数	14	19	19	14	15	16
	1回換気量	338	302	420	381	370	362
	VD	108	106	176	114	104	122
	VD/VT	0.32	0.35	0.42	0.30	0.28	0.33
術後	肺活量	3300	2300	2600	1600	3300	2600
	呼吸数	17	16	18	18	16	17
	1回換気量	380	340	301	225	315	312
	VD	99	102	99	79	82	92
	VD/VT	0.26	0.30	0.33	0.35	0.26	0.30

減少していた患者(D)を除くと、何れもVDの減少とVD/VTの好転がみられた。全例術前平均VD 122 ml, VD/VT 0.33が、術後VD 92 ml, VD/VT 0.30になった。肺葉切除により、肺活量(平均3230→2600)も呼吸量(平均362→312)も当然減少するのであるが、VDの減少度がそれ以上なるためである。

5) 術後患者の運動並びに意識的過呼吸と死腔及び換気効率

実験方法は健康人の場合と全く同様であるが、運動負荷が自転車回転1分間20回速度とした。

第10表に肺葉切除術を加えた患者のVD及びVD/VTが、運動負荷及び意識的過呼吸により、如

第10表 術後の過呼吸とVD

		A	B	C	D	E	平均
平常呼吸	呼吸数	12	16	15	16	15	14.8
	1回換気量	393	417	377	333	421	388
	VD	102	123	94	83	126	105
	VD/VT	0.26	0.30	0.25	0.25	0.30	0.27
大きい呼吸	呼吸数	10	12	14	14	13	12.6
	1回換気量	980	1021	876	771	973	924
	VD	265	286	201	193	292	247
	VD/VT	0.27	0.28	0.23	0.25	0.30	0.26
動作時呼吸	呼吸数	13	16	19	19	18	17
	1回換気量	402	733	452	400	504	498
	VD	111	220	104	100	151	137
	VD/VT	0.25	0.30	0.23	0.25	0.30	0.26

何れも多量呼吸を示した。各例、各例の場合と同様に、VD/VT に変化認めず、VT の増大と共に VD の増大と共に VD の増大をみる。即ち安静時 VD 105 ml, VD/VT 0.27, 過呼吸時 VD 247 ml, VD/VT 0.26, 運動時 VD 137 ml, VD/VT 0.26であった。略々健康人と同じ傾向をもっていることがわかる。

6) 考按

呼吸器疾患の VD に関する文献をしらべると、Meakins 及び Davies¹⁹⁾ は Haldane 法により、肺結核症 250 ml, Moncrieff¹⁸⁾ は男子肺結核症 170 ml, VD/VT 0.34. Hurtado¹⁰⁾ は CO₂ 法で、肺線維症 183ml, VD/VT 0.35, Hatch 及び Cook⁸⁾ は isosaturation 法で、慢性非閉塞性肺気腫 187~195 ml, 瀰漫性肺肉芽症 189~277 ml を報告した。何れも、VD が僅かに健康人より大きい。又 Rossier²¹⁾ は肺気腫に胸廓成形術を加え、肺の膨張を減ずることにより、VD を正常又はそれ以下になるという。この研究によつて、肺結核では軽乃至中等症（肺活量の減少を証しない）の場合、VD に目につく変化がないが、重症（肺活量著しく減少）の状態には、VD の増大が確認されること、老人性肺気腫において軽度 VD の増大、矽肺症には著明な VD の増大を証明した。又 VD の増大した何れの場合も VD/VT が大きく、肺活量は少く、呼吸効率の低下を示している。この呼吸器疾患において、VD がどうして大きいかを就いて按ずるに、まづ、VD の増大が証明される場合、1 回換気量が大きいことから推して、病肺の呼吸機能の低下に因して、代償性の過呼吸 (VT 増加) に基く気道の拡大が一つの因子と考える。殊に、肺気腫の場合の如きは、主として、病的に発生している気道の拡張が主因と解したいが、その他に、Rossier²⁰⁾ 等の言える様に、本症には、毎呼吸時、肺胞内に残る残気の増加もその一因子であろう。尚矽肺症や肺結核における VD 増加は病巣部において、肺胞血管の血行不良、肺胞壁の病変に由来するガス交換不全が生じ、その部は機能上 VD となり、全肺として VD 増大を惹起する Riley 及び Cournand²⁷⁾ 等の所謂 dead space effect にもよると解される。そして、それ故にこそ本研究で証明した様に病変ある肺葉の切除によつて、全肺の VD は減少し、VD/VT が小さくなり、呼吸効率の恢復が得られたものと思う。なお胸部手術を受けた肺結核患者の何れも深呼吸の際、呼吸量が充分増加

し、それに伴い VD が大きく、VD/VT 値即ち換気効率が正常呼吸時と変化しない点、健康人と似てくる。更に、運動時の影響す VT, VD の増加、VD/VT 値の不変等何れも健康人の運動した場合も同じ傾向を示す。もとより、VT, VD の増加の許容値は健康人より低いであろうが、VD の面から見ても、肺切除術の有意性を証明するものと云えよう。

第9章 総 括

呼吸死腔の変動因子について、実験及び考察を加えた。その結果を要約すると、つぎの通りである。

1) 70~120 ml 程度の追加死腔は真の呼吸死腔を減少せしめるが、換気効率は略々一定の傾向がある。

2) 意識又は、運動負荷による過呼吸で呼吸死腔の増大が認められ、何れも換気効率に変化はみられない。なお運動負荷時の成績は、動脈血 CO₂ 張力測定により確認された。

3) 体位によつて呼吸死腔は変化し、背臥位では椅坐位より呼吸死腔が減少し、換気効率は好転する。

4) Haldane 法で、呼吸ガスの CO₂ 濃度の代りに、O₂ 濃度を用いると、算出される死腔値は10%位大きく出る。

5) 換気効率は呼吸死腔に変動を与える生理的因子に対して、略々不変の傾向をもつ。

6) 矽肺症、肺結核症、老人性肺気腫、気管支拡張症等の呼吸器疾患では、呼吸死腔の増大、換気効率の低下がみられた。又呼吸器疾患においても、健康人同様に、換気量の大きい個体では、呼吸死腔も大きい。又肺結核では、健康人と反対に、肺活量の減じたものでは呼吸死腔が大きく、換気効率がわるい。なお、肺葉切除術により、病肺を切除すると、呼吸死腔が減少し、換気効率が好転する。又過呼吸や運動時における VD の増加、換気効率の非不変化等健康時の態度に似てくる。

(稿を終るに当たり、ご指導、ご校閲を戴いた恩師 林香苗教授に深甚の謝意を表す)

文 献

- 1) Aitken, R. S. and Clark-Kennedy : *J. Physiol.*, 65; 389, 1928.
- 2) Bouhuys, A. : *Acta Physiol. Scand.* 39; 1, 1957.
- 3) Bartel, J. : *J. Clin. Invest.* 41; 33, 1954.
- 4) Douglas, C. G. and Haldane J. S. : *J. Physiol.*, 45, 235, 1912.
- 5) Enghoff, H. : *Upsala Läkareforen Förh.*, 44; 191, 1938.
- 6) Fowler, W. S. : *Am. J. Physiol.* 154; 405, 1948.
- 7) Fishman, A. P. J. : *J. Clin. Invest.* 469; 33, 1954.
- 8) Hatch, T., Cook K. M. and Palm P. E. J. *Appl. Physiol.* 5; 341, 1953.
- 9) Haldane, J. S. and Priestley J. G. *J. Physiol.* 32, 225, 1905.
- 10) Hurtado, A. : *J. Clin. Invest.* 13; 169, 1934.
- 11) Haldane, J. S. *Am. J. Physiol.* 20; 38, 1915.
- 12) Henderson, L. J. Yale University Press 1928.
- 13) Haldane, J. B. S. and Priestley, J. S. Yale University Press 38, 1935.
- 14) Krogh A. and Lindhard J. : *J. Physiol.* 47, 30, 1913.
- 15) Henderson, Y., et al. : *Am. J. Physiol.* 38, 1, 1915.
- 16) Kaltreider, N. L., et al. : *Am. Rev. Tuberc.* 37; 662, 1938.
- 17) Krogh, A. and Lindhard. J. : *J. Physiol* 51; 59, 1917.
- 18) Moncrieff, A. : *Lancet* 956; 224, 1933.
- 19) Meakins J. C. and Davies H. W.: *Respiration function in disease.* London, Oliver & Boyd, 1925.
- 20) Rossier, P. H. and Buhlmann A. : *Physiol. Rev.*, 35; 860. 1955.
- 21) Rossier, P. H. and Buhlmann A. : *Schweiz. Ztschr. Tuberk.* 7; 1, 1950.
- 22) Rahn, H. : *Am. J. Physiol.* 158; 21, 1949.
- 23) Saxton, G. A. and Rdysm, G. E. : *Fed. Proc.* 14; 130, 1955.
- 24) Siebeck, R. : *Deut. Arch. f. Klin. Med.* 102; 390, 1911.
- 25) Briscoe, W. A. et al. *J. Appl. Physiol.*, 7; 27, 1954.
- 26) Riley, R. L. and Cournand A. : *J. Appl. Physiol.* 1; 12, 1949.
- 27) Riley, R. L. and Cournand A. *J. Appl. Physiol.* 4; 77~102, 1951.

Studies of the Respiratory Dead Space

II: Variations of the respiratory dead space

By

Takeo Moriya

Department of Physiology, Okayama University Medical School

(Director: Prof. Dr. K. Hayasi)

The influences of additional dead space, tidal volume or muscular work upon the respiratory dead space were studied and the respiratory dead space in various pulmonary diseases was examined by the same Haldane method as in Part 1.

The respiratory dead space increases in hyperpnea at will or at work, but the ratio of dead space to tidal volume i. e. VD/VT remains relatively constant. The respiratory dead space and VD/VT in pulmonal diseases are greater than in healthy state.
