

綜 説

局所肺機能検査法

草 間 昌 三 松 岡 健

信州大学医学部第1内科学教室

MEASUREMENT OF REGIONAL PULMONARY
FUNCTION

Shozo KUSAMA and Takeshi MATSUOKA

Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine,
Shinshu University

Key words: 閉塞性肺疾患 (chronic obstructive lung disease)

換気血流比 (\dot{V}_A/\dot{Q})

肺胞気 (alveolar air)

死腔量 (dead space)

closing volume

近年呼吸生理学の進歩に伴い肺機能検査法は高度の進歩をとげ、換気、拡散、肺循環の各分野では、精細な情報をえることが可能となったが、それら多くの検査法は、肺全体を単一肺胞 (1 compartment) として考えるいわゆる over-all の肺機能検査法である。しかし人の肺は、3億個の肺胞よりなると推定され、健康状態であっても肺胞換気は完全には均等でない¹⁾。ましてや慢性肺疾患においては肺胞換気、血流が不均等であるのは考える余地はあるまい。ゆえに健康肺でさえも不均等性があるといわれている肺胞気 (alveolar air)²⁾ とは何であるかという疑問は、長年議論されてきた問題点であるが、肺胞気組成を決定するものは、いうまでもなく換気、血液比不均等分布であり、局所肺機能検査とは、局所における換気、血流比の検索とその不均等分布を解明することである。

著者らの教室では、局所肺機能検査法について従来より densitometer³⁾⁻⁸⁾, impedance⁹⁾, scintigraphy¹⁰⁾⁻¹³⁾, SAB (selective alveolo-bronchography)¹⁴⁾, closing volume¹⁵⁾⁻¹⁸⁾, N₂ wash out curve¹⁹⁾²⁰⁾ 等により種々検討して来たが、本報では特に局所 \dot{V}_A/\dot{Q} , closing volume, alveolar air, dead space の成績を中心として、それに対する著者らの見解をもとにして局所肺機能検査の現状と問題点についての概括を試

みたい。

1. 局所換気血流比不均等分布

a) 局所 \dot{V}_A/\dot{Q} 機能検査法とは

肺機能の究極的目的は、pH, PaO₂, Paco₂ を正常に保持するためのガス交換にある。このガス交換は約 $9 \times 10^5 \text{ cm}^2$ の広大なひろがりをも有する肺胞膜をとおして行われている。肺胞膜の大気側には、肺胞換気量 (alveolar ventilation, \dot{V}_A) が、肺胞膜の体組織側には肺血流量 (pulmonary perfusion, \dot{Q}) がある。したがって、① transporter としての \dot{V}_A および \dot{Q} の大きさ、② 肺胞膜を介して両側に存在する \dot{V}_A , \dot{Q} 中のガスの組成の2つがガス交換を規定する重要な因子となっている。しかも①と②とは相互に無関係であるのではなく②は \dot{V}_A および \dot{Q} の量によってその組成はすべて規定されてしまう。よって各肺胞の肺胞気あるいは動脈血のガス組成を規定するものとしては、その肺胞の \dot{V}_A あるいは \dot{Q} の絶対量ではなく、その肺胞における \dot{V}_A/\dot{Q} 比が強く関与されているとされ \dot{V}_A/\dot{Q} はガス交換を規定する重要な因子の一つであり、その検査は臨床上極めて重要である²¹⁾⁻²³⁾。

局所 \dot{V}_A/\dot{Q} 肺機能検査法には、Impedance 法⁹⁾, Densitometer 法³⁾⁻⁸⁾, X線テレビ法²⁴⁾があり、これ

らは患者に侵襲を与えない点では利点がある。Impedance法は、電極の形状、数、配置に関して確立された方法はなく、今後さらに基礎的検討を必要としている。Densitometer法においてもX線写真にて肺野全域を走査し、数量的計測を実施しようとする場合、肋骨、鎖骨の呼吸による位置のずれによって生ずる誤差の問題がある。またX線テレビを利用しての方法においても同様に画像処理の問題点があり、臨床応用にはなお検討を要する。

b) 核医学を利用した局所肺機能検査法

核医学的検査に関しては、1962年 Ball ら²⁵⁾により¹³³Xeを用いて肺の局所的換気血流分布の定量的解析が試みられて以来、実験仮説にすぎなかった肺内ガス不均等分布が、肺内地理分布の形で実体化されることが可能となり、局所肺機能検査法の研究に大きな進歩をもたらした。その後 Anthonisen ら²⁶⁾によって Ball 法²⁵⁾を用いて慢性閉塞性肺疾患における局所換気血流分布について検討が行われた。しかし Ball 法は6本の scintillation counter を左右背部の上中下においての測定法のため、呼吸運動の際 counter と検者との間にずれが生じる欠点等があった。1973年 Inkely ら²⁷⁾⁻²⁸⁾はシンチカメラより得られるデータを電算機にて分析する方法を開発した。この方法は両肺が完全に同一視野内に入るので動態解析法として極めて有用であり、刻々と変化する肺胞気、換気血流比の局所における連続的解析が可能である。

c) 局所 \dot{V}_A/\dot{Q} についての著者らの成績

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive lung disease, COLD) 患者の局所的ガス交換障害²⁹⁾⁻³⁴⁾について検索するための一法として Ball 法²⁵⁾および Inkely 法²⁷⁾⁻²⁸⁾を応用した局所の¹³³Xeの洗い出し曲線 wash out curve における $\frac{1}{2}$ concentration time, $T(\frac{1}{2})$ および $\frac{1}{4}$ concentration time, $T(\frac{1}{4})$ について検討し、また局所の \dot{V}_A/\dot{Q} 比を¹³³Xe、 γ -カメラおよびコンピューターを用いて動的に解析した。測定装置は Fig. 4. のブロックダイアグラムに示す内の①¹³³Xe用スパイログラム②シンチレーションカメラとコンピューター部の2つの部分で測定可能である。なお、詳細な方法に関しては、他の論文^{16), 19)}を参照していただきたい。

結果は健常例(10例)では West¹⁾の成績と中肺野でやや異なるがほぼ一致しており、健常者においても上下肺野の間に換気血流比の不均等分布が存在することが認められた。慢性肺気腫症例では7例の全例で局

所 \dot{V}_A/\dot{Q} 比の左右差が認められ、また over-all の肺機能検査で異常がなかった5例で局所換気血流比の異常を示す所見が得られた。慢性気管支炎では15例中13例で局所 \dot{V}_A/\dot{Q} 比に左右差があり、また over-all の肺機能検査で異常がなかった12例で局所換気血流比の異常を示す所見が得られた。Fig. 1 は慢性気管支炎と診断された症例である。左下肺野の wash out curve の遅れが目立ち、局所換気障害をものがたっているが、同じく下肺野に相当する \dot{Q} の血流も悪いので \dot{V}_A/\dot{Q} 比はそれほど異常値を示さない。

これらの結果より COLD において over-all の検査法でつかまえられなかった場合でも、我々の¹³³Xeを使用した局所肺機能検査法により、的確に局所の異常をとらえることが出来た。

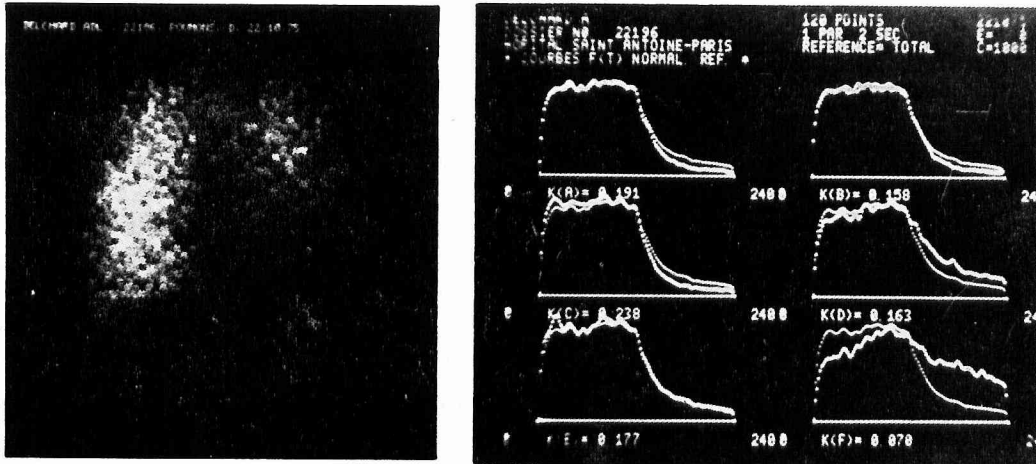
2. Closing volume (CV) について

1967年 Dollfuse ら³⁵⁾は、座位での吸気肺活量測定中のある時点で、吸気内へ¹³³Xeを加えて、その肺内分布状態を12本のシンチレーションカウンターを用いて測定することによって、肺局所換気の分布とその意義について検討した。その際呼気¹³³Xe濃度曲線の終末近くで急激に上昇する部分を Phase IV と名付け、これは呼気相末期において、下肺部気道に閉塞機転があるためにみられる現象とした。1968年には、Holland ら³⁶⁾により phase III (alveolar plateau) と Phase IV との接合点を気道閉塞 (airway closure) 開始時点と考え、この点における気量を CV と呼称した。

その後 Ar, He³⁷⁾を用いる bolus 法、肺内 N₂ を他のガスと置き換えた後 N₂ を指示ガスとして用いる Takishima ら³⁸⁾の変法、N₂ を指示ガスとする resident gas 法³⁹⁾が報告され、臨床的に CV の測定が応用され種々の検討がなされて来た。本稿では我々の成績を加え CV の発生機序および末梢気道病変との関係について、若干の考察を述べたい。

a) Closing volume (CV) の発生機序について

健常者の座居においての残気量 (RV) および機能的残気量 (FRC) は、肺の上部 (upper region) で大きく、下部 (lower region) になるほど小さいということが Milic-Emili⁴⁰⁾, Kaneko⁴¹⁾により明らかにされた。すなわち胸腔内圧はすべての部位で均一なものではなく、座位の場合重力の方向に 0.2-0.25 cmH₂O/cm の割合で圧が増加するため、肺の上部と



Zone No.	T($\frac{1}{4}$)	T($\frac{3}{4}$)	\dot{V}_A	\dot{Q}	\dot{V}_A/\dot{Q}
1	14	16	1.104	1.11	0.99
2	18	12	0.868	0.96	0.9
3	14	16	1.422	1.44	0.987
4	32	32	1.010	0.811	1.24
5	14	28	1.214	1.2	1.01
6	116	2	0.389	0.36	1.05

Fig. 1. The upper of the left photo is image of chronic bronchitis, and the upper of the right photo is curve of ^{133}Xe clearance; the lower figure is results of $T(\frac{1}{4})$, $T(\frac{3}{4})$ and \dot{V}_A/\dot{Q} . (from Matsuoka ¹⁹⁾)

下部の胸腔内圧にかなりの圧差が生じる。たとえば座位の健康者の肺の長さを 30cm, 胸腔内圧の重力方向への圧差を $0.25\text{cmH}_2\text{O}/\text{cm}$ とすると肺底部の胸腔内圧は肺炎部の圧より $0.25\text{cmH}_2\text{O} \times 30\text{cm} = 7.5\text{cmH}_2\text{O}$ 大きいことになる。それゆえ肺の上下でその膨らみ方に差がおこり得る。Fig. 2 は座位における呼吸に際して、横軸の肺全体としての膨脹と、縦軸の肺局所の膨脹との関係を示したものであるが、この図にみられる如く、肺の膨らみ方は、上部と下部とは大きな差があり、座位においては上肺部の膨らみ方が大きく、下肺部のそれは小さいことが理解される。この事実より健康者の肺の局所換気もその体位における上方に位置する部位と下方に位置する部位との間に差があることが当然考えられる。以上のことを考慮しながら座位で最大呼気位から数 ml の ^{133}Xe の bolus を吸入させ、続いて total lung capacity (TLC) に達す

るまで空気を吸入させると、吸気の初めには下肺部への空気の流入はなく、その容積はほとんど変化しないので ^{133}Xe の bolus は主に上肺部に吸入される。したがって TLC における ^{133}Xe の濃度は、肺の上部ほど濃く下部で 15:1 の ^{133}Xe の濃度差を生じる。この状態からゆっくり呼気を行わせ、CV curve を画くと、Fig. 3 に示したごとく第 1 相 phase I (死腔量 dead space), 第 2 相 phase II (混合部 dead space + alveolar), 第 3 相 phase III (肺胞気 alveolar plateau), 第 4 相 phase IV (alveolar terminal rise, closing volume) が生じる。この第 3 相と第 4 相の境界点における気量が CV といわれている。

b) Closing volume のメカニズムに関する論争³⁵⁾³⁹⁾⁴⁰⁾⁴²⁾

1973年 Hyatt³⁹⁾は closing volume を N_2 resident 法で測定し、同時に flow-volume curve と比

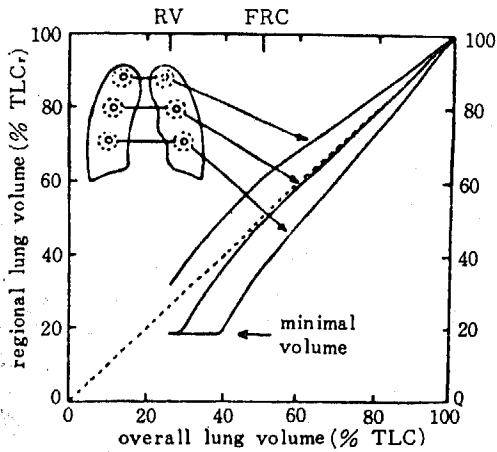


Fig. 2. Comparison of regional lung volume and overall lung volume. Ordinate: regional lung volume (V_r), expressed as percent TLCr. Abscissa: overall lung volume (V), expressed as percent TLC (below) and as percent VC (above). (from Milic-Emili⁴⁰⁾)

較検討し, phase IV の出現は呼気速度を増加させるにつれて高い肺気量で認められ, CV は胸腔内圧 transpulmonary pressure が急激に陰圧から陽圧に変化する時点, すなわち flow の limitation が起こる所で始まるとしている。このことから CV 現象は静的なものではなく, むしろ最大呼気に達した時の airway の動的な圧迫 (dynamic compression) により部分的な flow の変化が起こることにより phase IV が出現するとし, 従って CV 現象は airway closure を反映したものとはいえないと述べている。それに反して Kryger ら⁴⁹⁾は3種のガスをを用い flow volume curve と CV を測定して比較検討したところ CV の予測値と CV の実測値が一致しなかったところから phase IV の出現は低呼気速度ではむしろ flow limitation ではなくて small airway の closure によるものと指摘している。以上 CV 現象発生メカニズムについて未だ完全に解明されていないのが現状である。

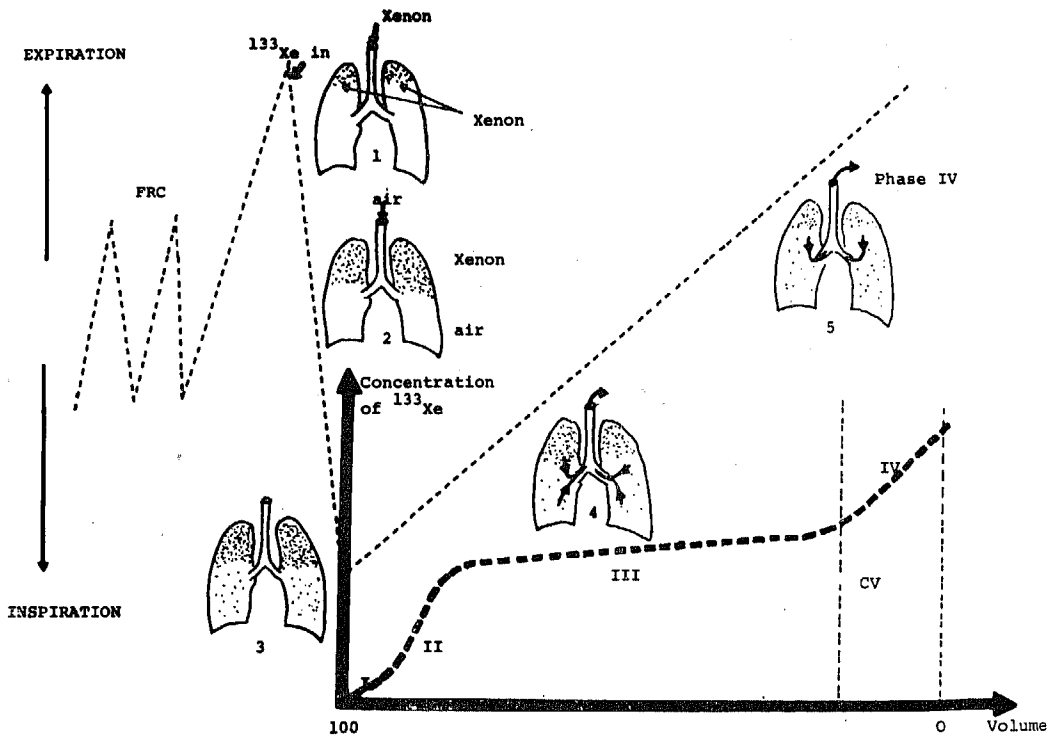


Fig. 3. Representation of the intrapulmonary distribution during CV curve. (from Matsuoka¹⁷⁾)

局所肺機能検査法

c) 著者らの研究成績^{16)~18)}

著者らは座位および仰臥位における CV を測定し、シンチカメラにより得た肺局所分布像をコンピューターにより画像処理して求め、CV の肺の換気局所分布上の意義について検討した。測定装置は Fig. 4 に示すが ^{133}Xe (1-1.5mCi) を bolus 法で吸入させる部分とシンチレーションカメラおよびコンピューター部からなりたっている。 ^{133}Xe は bolus 法で吸入させ radioactivity を scintillation counter で測定し volume は, pneumotachograph で測定した。closing volume は X 軸に, Y 軸に radioactivity を取り X-Y recorder に描かせた。肺局所分布像は γ-カメラにて描かせ, それより得られた情報はコンピューター (Gamma 11) にて処理され 1 秒間ごと 6 分間 360 のイメージを記録させた。その結果 ^{133}Xe 分布は最大吸気位時, 座位にて Fig. 5a のごとく上肺野に, 仰臥位では Fig. 6a のごとく前胸部に近い肺野に見られ共にそれぞれの体位において, 上方に位置す

る肺野に限局していることが注目される。よって肺底部の閉塞 closure がなくても CV 現象に必要な肺局所濃度差が存在すれば CV 現象が起こりえることを示唆する所見と思われる興味ある事実が得られた。Hales⁴⁴⁾も側臥位にて CV を測定し, シンチカメラにて検討しているが, 最大吸気位時 Fig. 5a, Fig. 6a に相等する時点の ^{133}Xe 分布は, 上方に位置する肺野に限局していることを述べている。

いずれにしても, closing volume のメカニズムが末梢気道の閉塞 (airway closure) と単純に考えられない現在 small airway disease の検査法としてはたくさんの問題点を残しており, 今後はむしろガス交換障害, および局所 \dot{V}_A/\dot{Q} 異常, 局所肺機能障害の面から検討を要すると考えられた。

3. 肺胞気 (alveolar air) の不均等性

肺胞気は, 一方では拡散によって血液とガス交換を行い, また一方では気道を介して換気によって外気と

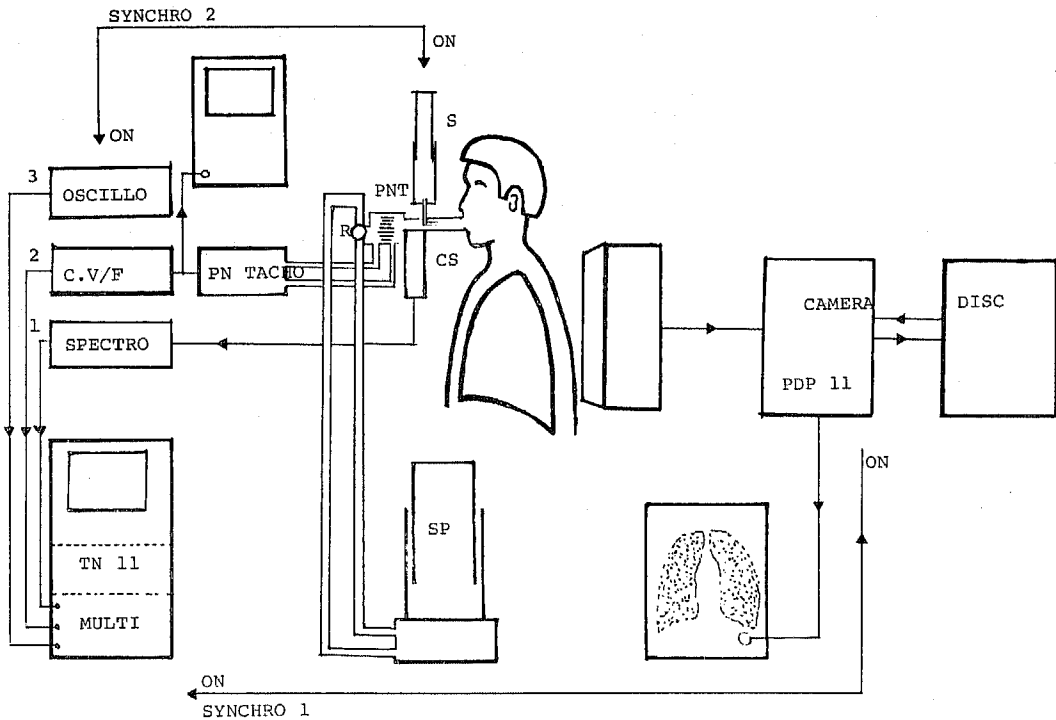


Fig. 4. Schematic presentation of the apparatus.

PNT : pneumotachograph

PN. TACH : take out the pressure of pneumotachograph

SP : spirometry

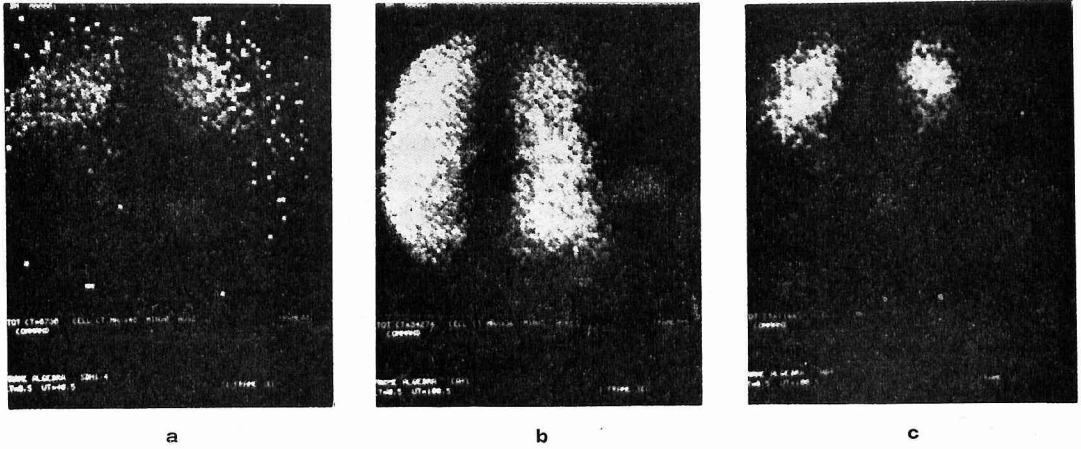


Fig. 5. Photographs of sitting position.

- a : image of the NI (A) in the histogram
- b : image of the NI (MAX) in the histogram
- c : this photograph is the A divided by the B

(from Matsuoka¹⁷⁾)

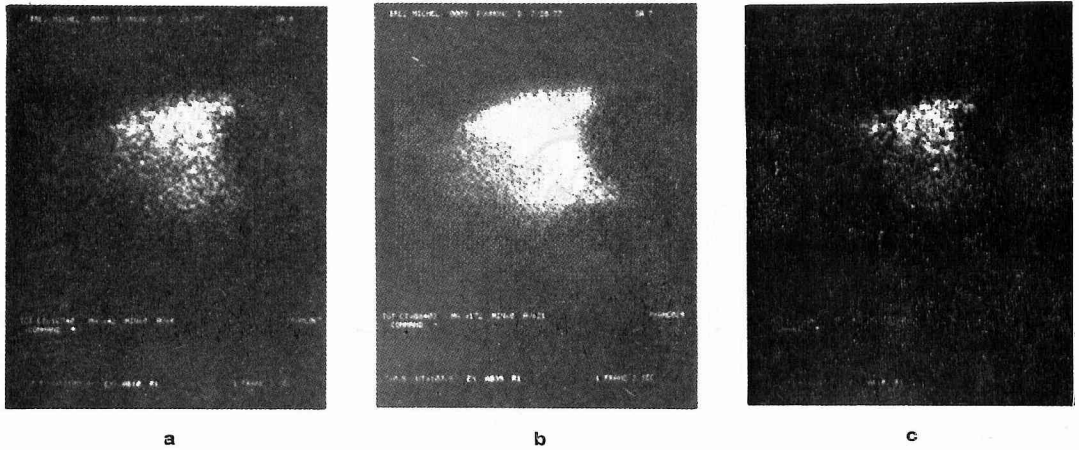


Fig. 6. Photographs of supine position.

- a : image of the NI (A) in the histogram
- b : image of the IN (Max) in the histogram
- c : this photograph is the A divided by the B

(from Matsuoka¹⁷⁾)

ガスの出入を行っているので肺の拡散と換気との2つの影響を直接反映することになる。このため肺胞気中のガス組成を知ることは、換気的面（特に死腔の測定）からも、また血液との間のガス交換的面（特に拡散能力の測定からも極めて重要である。

a) alveolar air の特色

i) 時間的変動

Dubols⁴⁵⁾が Fig. 7 のごとく、呼吸周期に伴う肺胞内ガスの変動を検討したが、肺胞気中のガス組成は、呼気と吸気の過程に応じて変動し、吸息の終末頃には外気が肺胞内に入るので肺胞気中の O₂ 分圧は上昇し CO₂ 分圧は下がる。呼気に入るとその逆となる。

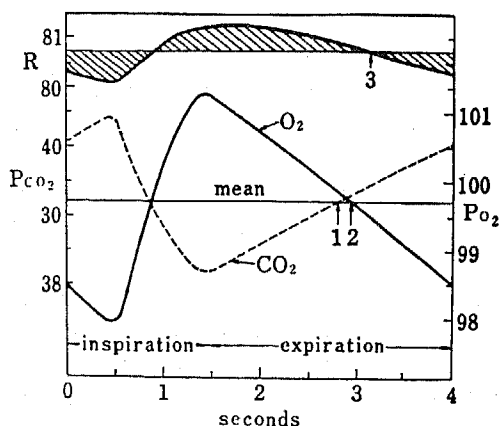


Fig. 7. Change of PAO_2' , $PACO_2'$, R with respiratory cycle. (from Dubois⁴⁵⁾)

ii) 局所的不均等性

個々の肺胞気的气体組成は、換気の状態と血流量によって変わるため肺胞が異なると、肺胞気的气体組成は全ての肺胞で均一というものではなく、局所的に不均等性である。

このように肺胞気の特徴として、局所的不均等性が存在し、さらに時間的変動があるゆえ、そこから取り出しこれが肺胞気 (alveolar air) と示すのは不可能である。

これらの問題点を別の立場からアプローチし定義したのが ideal alveolar air²⁾ の theory である。

b) 理想肺胞気 (ideal alveolar air)²⁾ の問題点

肺胞気平均組成を物理的に定義し、平均肺胞気組成を問題にしたのが、Haldane-Priestley 法⁴⁶⁾ (呼気終末採取法) であり、この平均肺胞気組成の問題をまったく異なった立場から解決したのが Riley および Cournand²⁾ の理想肺胞気 (ideal alveolar air) の概念である。いま全ての肺胞内の肺胞気的气体組成が同じであり、全ての肺胞にいく毛細血管内の血液の血液ガス組成も同じであり、かつ肺胞気と肺胞毛細血管内の血液とが等しい O_2 , CO_2 分圧をもつとする。

このような状態は実存しているのではなく、理想状態としてこのような状態を想定し、この理想状態の肺胞気こそ肺胞気であるとする。これが理想肺胞気である。この考え方より Fenn ら⁴⁷⁾ は肺胞式を作り出し O_2 - CO_2 diagram (Fig. 8)⁴⁸⁾ の式にまで発展させた。 O_2 - CO_2 diagram⁴⁸⁾ の式は、

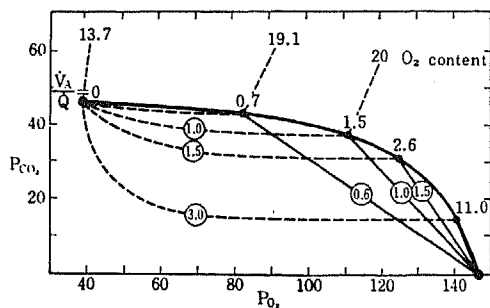


Fig. 8. O_2 - CO_2 diagram. (from Rahn⁴⁸⁾)

気相での呼吸交換率 R

$$= \frac{\text{単位時間に排出された } CO_2 \text{ の量 } (\dot{V}_{CO_2})}{\text{単位時間に摂取された } O_2 \text{ の量 } (\dot{V}_{O_2})}$$

血液でのガス交換率 (blood R) R

$$= \frac{\text{血液から肺胞中に出た } CO_2 \text{ の量 } (\dot{V}_{CO_2})}{\text{単位時間に肺胞気より肺毛細血管中に入る } O_2 \text{ の量 } (\dot{V}_{O_2})}$$

以上2つの R を求める式を作り定常状態では2つの R が等しいことから O_2 - CO_2 diagram⁴⁸⁾ 上の2つの R 等線の交点を求め、この点を理想肺胞を示す点とした。この ideal alveolar air の base となっている肺胞式 (alveolar equation) は、

$$PAO_2 = PI_{O_2} - \frac{PACO_2}{R} + \frac{PACO_2}{R} (1-R) FI_{O_2}$$

であるが導入法は下記の通りである。

上記に示した \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_{CO_2} は次の式から求める。ただし、 F_I , F_A はそれぞれ吸気、呼気濃度を示す。

$$\dot{V}_{O_2} = \dot{V}_I F_{I_{O_2}} - \dot{V}_A F_{A_{O_2}} \dots (1)$$

$$\dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_A F_{A_{CO_2}} \dots (2)$$

N_2 については N_2 は吸収も排泄もされないので、

$$\dot{V}_I F_{I_{N_2}} = \dot{V}_A F_{A_{N_2}} \dots (3)$$

$$\begin{aligned} \therefore \dot{V}_I &= \dot{V}_A \frac{F_{A_{N_2}}}{F_{I_{N_2}}} \\ &= \dot{V}_A \frac{1 - F_{A_{CO_2}} - F_{A_{O_2}}}{1 - F_{I_{O_2}}} \end{aligned}$$

$$\therefore \dot{V}_{O_2} = \dot{V}_A \left[\frac{(1 - F_{A_{CO_2}}) F_{I_{O_2}} - F_{A_{O_2}}}{1 - F_{I_{O_2}}} \right] \dots (4)$$

$$\text{呼吸商 } R = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}}$$

$$(2), (4) \text{ より } R = \frac{F_{A_{CO_2}} (1 - F_{I_{O_2}})}{(1 - F_{A_{CO_2}}) F_{I_{O_2}} - F_{A_{O_2}}}$$

これを $F_{A_{O_2}}$ について解き、分圧に換算すると、

$$P_{ACO_2} = P_{IO_2} - \frac{P_{ACO_2}}{R} + \frac{P_{ACO_2}}{R} (1-R) F_{IO_2} \dots\dots\dots (5)$$

となり、以上のような導入により(5)の肺胞式 (alveolar equation) が求まる。

ここで問題になるのは、いかにして P_{ACO_2} を測定するかということであるが P_{ACO_2} を呼気分析から求めるのは困難である。そこで動脈血の P_{ACO_2} をガス交換の場合における有効平均肺胞気分圧を代表すると考え、 P_{ACO_2} の代わりに P_{ACO_2} を(5)式に代入し、平均肺胞気の P_{AO_2} を計算している。したがって、ここに計算された P_{AO_2} は現実に物理的に肺胞に存在する値ではないので、(5)式の肺胞式 (alveolar equation) は今後検討されるべきである。

我々は上記した alveolar air の概念から一歩進んだ end-respiratory O_2 あるいは end-respiratory CO_2 の測定が“4重極算量分析計 (Mass-Spectrometer)” の導入により可能であり、第3相 phase III (alveolar plateau) を形成している alveolar air の不均等性を知ることは、局所換気血流分布異常の検索には、非常に重要であるゆえ現在検討中である。

4. 死腔量 (dead space) について⁴⁰⁾⁻⁵²⁾

a) 洗い出し過程における dead space の測定

2, 3で述べた closing volume, alveolar air は、呼気曲線の第4相 Phase IV, 第3相 Phase III, alveolar air であるが、第1相である死腔量 (dead space) の正確な値をまず知る必要がある。死腔とは、口、鼻の入口から細気管支まで、ガス交換の起こらない通管の事を言う。

我々は今日まで Fowler (1950)⁵⁰⁾の方法によって測定された死腔量によって dead space を理解し、さしあたり定義してきた。この Fowler⁴⁹⁾⁻⁵⁰⁾の方法は、十分に酸素を吸ってから一定速度でゆっくり呼出させ、その経過中の呼気の N_2 濃度、1回呼気量、呼気流量を測定し死腔量を測定する。

さて我々は、閉塞性肺疾患患者の死腔量測定には、Fowler⁴⁹⁾⁻⁵⁰⁾の方法ではうまく適用出来ないことを知っている。なぜならば酸素1回の吸入後、呼出窒素の濃度がたえず変化するために分析可能な曲線がえがかれない。もし適用出来るならば、酸素によってのばされる洗い出しその過程でのサイクルの観察より dead space を測定する方法が可能である。

Fig. 9 は呼吸困難を訴えている閉塞性肺疾患における N_2 呼出曲線6番目である。よく見ると alveolar

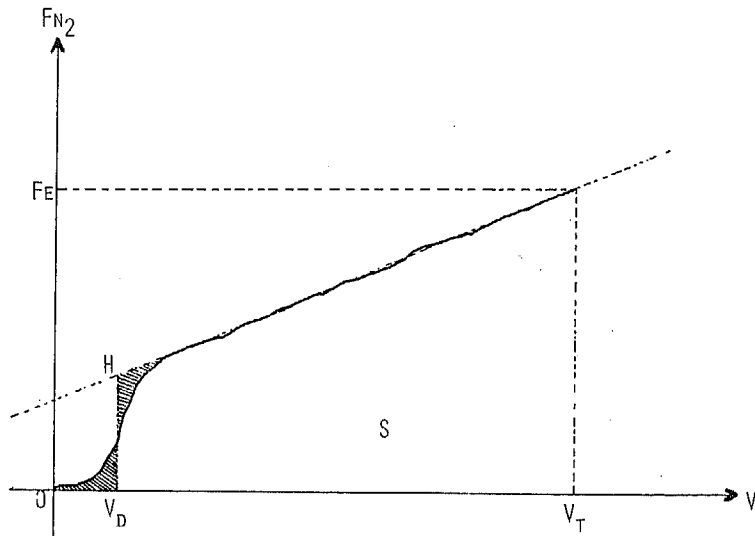


Fig. 9. Figure shows a trace of fraction N_2 in the expiration cycles.

ordinate - N_2 concentration
abscissa - volume

(from Matsuoka²⁰⁾)

plateau は傾いているが直線でありこの部分は死腔に関係なく呼気の alveolar の部分を表現していると思われる。よって alveolar plateau がはっきりえがかれているならば dead space の計算の材料は Fowler が示すように Fig. 9 のグラフによって提供されることが可能である。

b) 我々の行った基礎実験について²⁰⁾

22名の慢性閉塞性肺疾患 (COLD) と2名の健常者において死腔量 (dead space) の観察を行った。その方法は上記したように酸素によってのぼされる洗い出し過程でのサイクルの観察より dead space を測定する方法である。その結果、洗い出しの進展に伴って dead space の量の増大が観察されたわけであるが dead space の増大は非常によく換気された肺胞領域の急速な洗い出しを反映していると考えられ、局所の換気障害をつかまえる有力な手段と思われる。我々は、閉塞性肺疾患に冒された患者の死腔量測定を、洗い出し過程においての検討より可能にしたわけであるが、今後は、質量分析計 (Mass-spectrometer)、電子計算機、導入により、より厳密に検索していく予定である。

むすび

局所肺機能を知ることは、呼吸器臨床において、診断および治療上きわめて重要であるにもかかわらず未だ検査法が確立されていない。

我々は現在まで Densitometer 法、Impedance 法等新しい医科器具の導入により解決を試みたが、根本的な問題であるガス交換不均等分布、換気血流比不均等分布が解決されていない現在、これらの観点から考察していく必要性を感じ本稿で概括を試みた。

特に呼気ガス分析に出現して来る1相、2相、3相、4相の各々の相の基礎的検討、すなわち dead space, alveolar air, closing volume の解析は将来局所換気血流比不均等分布および局所肺機能を解明する重要な手段となるであろう。

文 献

1) West, J. B.: Ventilation-perfusion inequality and overall gas exchange in computer models of the lung. *Resp. Physiol.*, 7: 88-110, 1969
 2) Riley, R. L. and Courmand, A.: 'Ideal' alveolar air and the analysis of ventilation-per-

fusion relationships in the lungs. *J. appl. Physiol.*, 1: 825-847, 1949
 3) 溝上登局: 所肺機能の研究 (第1編, 第2編). 信州医誌, 15: 503-516, 1966
 4) 宮島 彬: 局所肺機能の研究 (I) - 各種胸部疾患の局所換気機能及び局所肺血流について-. 信州医誌, 16: 829-842, 1967
 5) 宮島 彬: 局所肺機能の研究 (II) - 気管支喘息の局所肺機能について-. 信州医誌, 16: 1053-1059, 1967
 6) 北原多喜: Valsalva 試験における心肺循環動態のX線学的研究. 信州医誌, 18: 753-769, 1969
 7) 戸塚忠政, 草間昌三, 半田健次郎, 溝上長男, 北原多喜: 肺循環の定量的X線診断法. 日胸疾患誌, 10: 549-558, 1972
 8) 松岡 健, 藤井忠重, 小林俊夫, 半田健次郎, 草間昌三: 肺の換気および循環の定量的X線診断法. 日胸臨, 35: 929-937, 1976
 9) 松岡 健, 草間昌三, 高谷 治, 小林利治: 電気的インピーダンス法による胸壁までの局所脈波および呼吸波. 日胸臨, 36: 263-271, 1977
 10) 藤井忠重, 金井久容, 草間昌三, 坂本良雄, 中西文子, 春日敏夫, 滝沢正臣: 肺がん診断における¹⁹⁷HgCl₂ と ¹³¹I-RISA を用いたサブトラクション・シンチグラフィ (第1報). *Radioisotopes*, 24: 42-48, 1975
 11) 藤井忠重, 金井久容, 草間昌三, 滝沢正臣: 肺がん診断における¹⁹⁷HgCl₂ と ¹³¹I-RISA を用いたサブトラクション・シンチグラフィ (第2報). *Radioisotopes*, 24: 115-120, 1975
 12) 藤井忠重, 金井久容, 半田健次郎, 草間昌三: 肺癌診断における¹⁹⁷HgCl₂ の腫瘍シンチグラフィと肺血流シンチグラフィの併用. 肺癌, 16: 21-30, 1976
 13) 藤井忠重, 金井久容, 小林俊夫, 半田健次郎, 草間昌三: 原発性肺癌における肺血流シンチグラフィの検討. 日胸臨, 35: 437-446, 1976
 14) 小沢克良, 望月一郎, 小林俊夫, 関東 和, 和田龍藏, 川口哲男, 丸山彰彦, 平山二郎, 久保恵嗣, 福島紀子, 福島雅夫, 半田健次郎, 草間昌三: 慢性気管支炎の研究 - 主気管・末梢気道病変の関連について - (第1報). 日胸疾患誌, 第18回口演集, 16: 59, 1978
 15) 岡野芳紀: Closing volume の基礎的検討. 信州

- 医誌投稿予定
- 16) Mensch, B., Matsuoka, T. and Hatzfeld, C. :
Volume de fermeture au xenon 133 et distribution regionales de l'embol : Mise en évidence par gamma camera. Les colloques de l'INSERM, "Distribution des échanges gazeux pulmonaires : INSERM, 51 : 373-380, 1975
- 17) Matsuoka, T., Mensch, B. and Hatzfeld, C. :
Localisation de l'embol du xenon 133 par gamma camera au cours de la mesure du volume de fermeture. Aparaitre dans la nouvelle Presse Medicale, 投稿中
- 18) Matsuoka, T. : Closing volume with Xenon 133 and localisation of the bolus with a gamma camera. J. Jpn. Soc. Intern. Med., 投稿中
- 19) 松岡 健 : ^{133}Xe を使用した \dot{V}_A/\dot{Q} の検討. 日本胸部疾患誌投稿予定
- 20) Matsuoka, T., Hatzfeld, C. Bres, M. and Bonnet, J. C. : Etude de l'espace mort et de l'air alvéolaire dans les troubles ventilation obstructifs chroniques. Rappot d'activite U. 68 : 14-27, 1974
- 21) Briscoe, W. A. : A method for dealing with data concerning uneven ventilation of the lung and its effects on blood gas transfer. J. appl. Physiol., 14 : 291-298, 1959
- 22) Briscoe, W. A. : In "Aging of the Lung", Cander, L. (ed.), pp. 185-193, Grune, New York, 1964
- 23) Riley, R. L. and Courmand, A. : Analysis of factors affecting partial of oxygen and carbon dioxide in gas and blood of lungs. Theory. J. appl. Physiol., 1 : 77-101, 1951
- 24) 滝沢正臣 : コンピュータによる放射線像の処理. 信州医誌, 23 : 1-8, 1975
- 25) Ball, W. C., Stewart, P. B., Newsham, L. G. S. and Bates, D. V. : Regional pulmonary function studied with Xenon-133. J. clin. Invest., 41 : 519-531, 1962
- 26) Anthonisen, N. R., Bass, H., Heckscher, A., Oriol, A. and Bates, D. V. : Recent observations on the measurement of regional \dot{V}_A/\dot{Q} ratios in chronic lung disease. J. biol. Nucl. Med., 11 : 73-79, 1967
- 27) Inkley, S. R. and Macintyre, W. J. : Dynamic measurement of ventilation-perfusion with Xenon-133 at resting lung volumes. Amer. Rev. resp. Dis., 107 : 429-441, 1973
- 28) Inkley, S. R. and Macintyre, W. J. : Ventilation-perfusion relationships and gas exchange. Ann. Clin. Lab. Sci., 3 : 17-23, 1973
- 29) Nash, E. S., Briscoe, W. A. and Courmand, A. : The relationship between clinical and physiological findings in chronic obstructive disease of the lungs. Med. Thorac., 22 : 305-327, 1965
- 30) Lenfant, C. and Pace, Jr, W. R. : Alterations of ventilation to perfusion ratios distribution associated with successive clinical stages of pulmonary emphysema : J. clin. Invest., 44 : 1566-1581, 1965
- 31) Caziano, D., Seaton, A. and Ogilvie, C. : Regional lung function in patients with obstructive lung diseases. Brit. med. J., 9 : 330-333. 1970
- 32) Miller, J. N. and Winsborough, M. : The effect of increased gas density upon alveolar ventilation/perfusion and gas exchange during expiratory flow-limited exercise. J. R. N. S. S., 29 : 12-19, 1972
- 33) Bernard, J. P. D., Moret, R., Teyssonneyre, D. and Touraine, R. : Etude régionale de la ventilation par le Xénon 133 et de la perfusion pulmonaire : Revue Fra. des Maladies Respiratoires, 2 : 278-286, 1974
- 34) Bentivoglio, L. G., Beerel, F., Stewart, P. B., Bryan, A. C., Ball, W. C., Jr. and Bates, D. V. : Studies of resional ventilation and perfusion in pulmonary emphysema using Xenon 133. Amer. Rev. resp. Dis., 88 : 315-329, 1963
- 35) Dollfuss, R. E., Milic-Emili, J. and Bates, D. V. : Regional ventilation of the lung studied with boluses of 133 Xenon. Respiration Physiol., 2 : 234-246, 1967
- 36) Holland, J., Milic-Emili, J., Macklem, P. T. and Bates, D. V. : Regional distribution of

- pulmonary ventilation and perfusion in elderly subjects. *J. clin. Invest.*, 47: 81-92, 1968
- 37) Green, M., Travis, D. M. and Mead, J.: A simple measurement of phase IV ("closing volume") using a critical orifice helium analyzer. *J. appl. Physiol.*, 33: 827-830, 1972
- 38) Takishima, T. and Takahashi, K.: "Closing volume" and decreased maximum flow at low lung volumes in young subjects. *J. appl. Physiol.*, 34: 188-193, 1973
- 39) Hyatt, R. E., Okeson, G. C. and Rodarte, J. R.: Influence of expiratory flow limitation on the pattern of lung emptying in normal man. *J. appl. Physiol.*, 35: 411-419, 1973
- 40) Milic-Emili, J., Hedderston, J. A. M., Polovich, M. B., Trop, D. and Kaneko, K.: Regional distribution of inspired gas in the lung. *J. appl. Physiol.*, 21: 747-759, 1966
- 41) Kaneko, K., Milic-Emili, J., Dolovich, M. B., Danson, A. and Bates, D. V.: Regional distribution of ventilation and perfusion as a function of body position. *J. appl. Physiol.*, 21: 767-777, 1966
- 42) Hughes, J. M. B., Rosenzweig, D. Y. and Kivitz, P. B.: Site of airway closure in excised dog lungs: histologic demonstration. *J. appl. Physiol.*, 29: 340-344, 1970
- 43) Kryger, M., Martin, R. R., Macklem, P. T. and Anthonisen, N. R.: Effect of gas density and expiratory flow on "closing volume". *J. appl. Physiol.*, 37: 831-834, 1976
- 44) Hales, C. A., Gibbons, R., Burnham, C. and Kazemi, H.: Determinants of regional distribution of a bolus inhaled from residual volume. *J. appl. Physiol.*, 41: 400-408, 1976
- 45) Dubois, A. B.: Alveolar CO₂ and O₂ during breath holding, expiration and inspiration. *J. appl. Physiol.*, 5: 1-12, 1952
- 46) Haldane, J. S. and J. G. Priestley.: *Respiration*. Clarendon Press, Oxford, 1935
- 47) Fenn, W. O., Rahn, H. and Otis, A. B.: A theoretical study of the composition of the alveolar air at altitude. *Amer. J. Physiol.*, 146: 637-658,
- 48) Rahn, H.: A concept of mean alveolar air and the ventilation blood-flow relationships during pulmonary gas exchange. *Amer. J. Physiol.*, 158: 21-31, 1949
- 49) Fowler, W. S.: Lung function studies. III. Uneven Pulmonary ventilation in normal subjects and in patients with pulmonary disease. *J. appl. Physiol.*, 2: 283-299, 1949
- 50) Fowler, W. S.: Lung function studies. II. The respiratory dead space. *Amer. J. Physiol.*, 154: 405-416, 1948
- 51) Fowler, W. S.: Lung function studies. VIII. Analysis of alveolar ventilation by pulmonary N₂ clearance curves. *J. clin. Invest.*, 31: 40-50, 1952
- 52) Fowler, W. S.: Intrapulmonary distribution of inspired gas. *Physiol. Rev.*, 32: 1-20, 1952

(54. 3. 22 受稿)