残気量及びその測定法

慶応義塾大学医学部内科教室

笹 本 浩
梅 田 博 道

Residual Volume of the Lung and Its Measurement

Hiroshi Sasamoto, Hiromichi Umeda

School of Medicine, Keio University

I 緒 言

胸部外科の発達に伴い、肺機能に対する関心が高まり、残気量測定の必要性が認識されて来た。然し乍ら、今迄我が国に於ける肺機能検査は極めて低調であつて、一般には肺活量測定位しか行われていない。肺の機能は相当に複雑であつて、今迄の様な肺活量のみを基準とした肺能力などでは到底示し得るものではない。換気機能のみを問題としても、今迄の Hutchinson の肺活量計では可成りの抵抗があり、温度補正、容積補正も不十分である。そして、肺活量のみでは不十分で、正確な肺容積区分の測定が必要である。即ち肺容積区分は温度補正、容積補正の正確に明示された Spirometer を用い、Spirographic method で測定するのが望ましい。然し乍ら、残気量即ち最大呼出後肺内に残るガス量は Spirometer では測定し得ないので、間接的に測定しなければならない。即ち後述する様な方法で機能的残気量 (F. R. C.) を測定し、予め Spirometer で測定した呼気予備量との差から残気量を算出する。

II 残気量の意義

残気量の増加は通常肺の気腫性変化を示すと考えられている。然し実際は、真の気腫よりも Hyperinflation を示すのであつて、Hyperinflation は次の結果として起る。

- i) 構造上の変化、例えば肺の弾力性の減少、肺泡隔壁の分裂、肺毛細管床の減少。
- ii) 気道の閉塞
- iii) 肺組織の外科的切除につづいて来る代償性の Hyperinflation.
- iv) 胸廓の変形
- v) 老年に伴つて自然に起る肺の弾力性の低下。
- vi) 鬱血性心不全、及びある種の肺線維症

などである。

機能的残気量 (F. R. C.) は全肺容量の 40 乃至 50 % であり、残気量は身長及び胸廓の形により異なるが、正常男子で 1.5 乃至 2.5 lit, 正常婦人で 1.0 乃至 1.5 lit の範囲である。

然し乍ら特に意義のあるのは残気量の全肺容量に対する比、即ち残気率である。之は性、年齢によつて変化するが、20 乃至 30 才では 20% 位であり、概して正常では 35 乃至 40 % を越さない。又肺活量と残気量が共に減少すれば、此の比は変化を示さない。肺気腫があつても、限局性のものでは比が正常のことがあるが、Hyperinflation があれば著明に増加する。

III 肺内ガス混合

Darling, Cournand, Richards の酸素稀釈法で機能的残気量 (F. R. C.) を測定すれば、Index of intrapulmonary gas mixing N_2 % (肺内ガス混合)、即ち 7 分間純酸素呼吸後の肺胞気中窒素濃度は同時に測定される。正常人で肺の各部に換気が平等に分布されていれば、7 分間酸素で洗えば、肺胞気中の窒素濃度は 2.5% をこさない。2.5% 以上の窒素濃度は肺のどこかに不十分な換気がある証拠である。

IV 肺機能検査特に残気量測定の重要性

斯くの如く、肺容積区分、残気量を測定し、分時最大換気量、換気予備量、換気予備率、肺内ガス混合、Air Velocity Index などを考察し、更に運動負荷試験又は低濃度酸素吸入試験を行い、安静時、負荷中、及びその回復と、換気のみならず動脈血検査をも施行して、動的に肺機能を観察すれば、胸部手術の施行に当り、適応の決定、手術量の決定、予後の判定に、又回復の程度、作業療法の基準などを知るのに極めて有用である。

之に関して、我々は昭和28年、第6回胸部外科学会に報告した通りであるが、術前検査で残気率の増加換気予備率の低下を示した例では、術後呼吸困難を来し易く、酸素吸入を必要とする期間の長いのを認めた。

残気量の測定は今迄、我が国ではあまり行われていなかったが、それ程むづかしい装置と手技を必要としない。普通の臨床検査として割合に容易に行い得るのである。

我々は Cournand 等の方法を改良して、残気量測定装置を考案したので、以下こゝに紹介する。

V 慶大内科式残気量測定装置及びその使用法

慶大内科式残気量測定装置

1 装 置

図に示す様に、マウスピース (M) に接続する三方括栓 V_1 と V_2 を廻すと種々な回路につなぐことが出来る。 V_1 の呼出回路及び V_2 の吸入回路を切ると、被検者は 100% 酸素シリンダーに接続するバルーンから吸入する。呼気は flutter valve F_2 を通りダグラスバッグに直結する。 V_1 の呼出回路は切り、 V_2 の吸入回路につなぐと、室気を呼吸する。肺胞気サンプルを採取するには V_1 を廻し、呼出回路にのみ呼気を導く。呼出回路は、flutter valve F_3 と短いゴム管 R とよりなり、R に小さな穴をあけ、肺胞気ガスサンプル採取の為に予め真空にしたサンプリング・チューブ (Sa) の先端を挿入する。

2 実施方法

被検者は仰臥位で、頭と肩に2つの枕を入れて、拳上した形で安静にする。回路とダグラスバッグを純酸素で少くとも3回洗う。シリンダーと F_1 の間のバルーンは比較的大きくふくらませておく。

肺胞気ガスサンプル採取用チューブは括栓 A 及び B を用い、真空にして R に接続する。此の真空にする操作は多少コツを要するが、之は極めて大切な操作であ

る。斯くして、被検者にマウスピースをつけ、三方括栓 V_1 V_2 を廻し、外気吸入回路より空気を呼吸させておく。正確に普通の呼気の終りで、丁度吸気の始まる直前に、呼吸を純酸素呼吸に変える様に V_2 を廻わして、外気吸入回路は切る。被検者は7分間純酸素呼吸をなし、その総ての呼気はダグラスバッグに集められる。7分間たつたら吸気の終りに V_1 を廻わして、呼出回路に接続し、被検者を上げまして、出来るだけ完出に呼出させる様にする。呼出のまさに終らんとする瞬間 (この判定は少し六ヶしいが慣れるより仕方がない) にサンプリング・チューブの括栓 A を緩めてサンプルをとり、直ちに A をしめる。此のサンプルが肺胞気サンプルである。次にバルーン内の純酸素を全部ダグラス・バッグ内に追い出して回路を純酸素で洗い回路中に窒素が残らぬ様にする。そしてダグラス・バッグ内のガス量を別に用意したガスメーターで読み、一方ダグラス・バッグよりサンプルを採る。ダグラス・バッグよりのサンプルと肺胞気サンプルは、Van Slyke-Neill の装置に移して分析し、窒素濃度 (%) を出す。そのやり方は次の通りである。

Van Slyke-Neill の装置へ検体をチューブより移すには次図の装置による。水銀だめを常にチューブより高く保持し、チューブは垂直に共に右手で持ち、チューブの括栓 A は右拇指で操作する。(B は既に交通させてある)。

窒素の分析

分析方法は Peters and Van Slyke に述べてあるが F. R. C. の測定では窒素の濃度のみ測定するのであるから hyposulfite アルカリ溶液で酸素と炭酸ガスを共に吸収するのが便利である。即ち、吸収剤には4規定の苛性カリで30%に hyposulfite $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ を溶かした溶液を使用する。

i) Zero reading. Chamber を真空にして、水銀のメニスクスを 50cc のマクに合はせた時のマノメ

ターの読みを P_0 とする。

ii) サンプルガスを上図の如きガラスを用いて、ガスもれのない様、水銀でシールし、Chamber に入れる。Chamber の上のコックをシールし、水銀のメニスクスを 50cc マーク迄下げる。此の時のマノメターの読みを P_1 とする。

iii) サンプルガス量は、 $P_s = P_1 - P_0$ である。

iv) 吸収剤 (O_2 及び CO_2) hyposulfite アルカリ溶

液 3cc を Chamber に入れ, 3 分間振り, 酸素と炭酸ガスを共に吸収する。吸収が終つたら水銀のメニスクスを 50cc のマークに合わせるか, 又は溶液のメニスクスを 2cc に合わせるかして P_2 を読む。

v) 溶液を Chamber から出すことなしに, ガスのみを排除し, 再びコックをシールし, 水銀のメニスクスを 50cc マーク又は, 溶液のメニスクスを 2cc マークに合わせて P_3 を読む。

50cc のマークで読んだときは,

$$PN_2 = 0.94 (P_2 - P_3)$$

$$\text{Percent } N_2 = 100 \times \frac{PN_2}{P_S}$$

2cc のマークで読んだときは,

$$PN_2 = P_2 - P_3$$

$$\text{Percent } N_2 = 100 \times \frac{2}{50} \times \frac{PN_2}{P_S} \\ = 4 \times \frac{PN_2}{P_S}$$

となる。

3 F. R. C. 及び R. V. の計算

機能的残気量 (F. R. C.) の計算は, 次の式による。

$$\text{F. R. C. (STPD)} = \frac{(V + DS) (NS - NO) - C \times 100}{\text{alveolar Na} - \text{alveolar Np}}$$

但し, F. R. C. (SRPD) は標準温度, 1 気圧に於ける乾燥ガスとして計算した F. R. C. を cc で現わす (Standard Temperature, Pressure, Dry 之を STPD で現わす)。

V: 標準温度, 1 気圧に於ける乾燥ガスに補正したダグラス・バッグ内ガス量。 (cc, STPD)

DS: 標準温度, 1 気圧に於ける乾燥ガスに補正した装置の Dead Space 測定量。 (cc, STPD) 此の装置では約 0.5 lit である。

NS: ダグラス・バッグよりのサンプルの窒素パーセント。

NO: 純酸素シリンダー内窒素パーセント
予め実測しておく,
(0.1 乃至 0.5%)

文献 (1) 参照

alv. Np: 酸素呼吸 7 分間の終りに於ける肺胞気内窒素パーセント。

alv. Na: 測定 of the beginning to the end of the lung alveolar nitrogen percentage, expressed as a constant of 81.

C: 酸素呼吸中体内より排泄する窒素の補正を cc で表わす。此の factor は body size により変化し, 一元的関係で,

$$C (\text{cc}) = (B. S. A. \times 96.5) + 35 \text{ である。}$$

B. S. A. は平方メートルで現わした体表面積。

最後に F. R. C. (STPD) は肺内に存在する飽和水蒸気の補正を行い, Body Temperature Pressure Saturated, 即ち BTPS に換算して現わす。

$$\text{F. R. C. (BTPS)} = \text{F. R. C. (STPD)}$$

$$\times \left(\frac{310}{273} \times \frac{760}{\text{Barometer Pressure} - 47} \right)$$

F. R. C. (BTPS) より別に測定した呼吸予備量 (F. R. C. red reserve volume) を減ずれば残気量を得る。呼吸予備量は従来の蓄気量である。之等の肺容積区分に関する用語は附図の命名 (文献 1) に従う。

次に実例を示す。

V = 58.5 lit. (STPD), DS = 1.5 lit. (STPD), NS = 1.9%

NO = 0.22%, Np = 1.0%, B. S. A. = 1.39 m² とすると

$$V + DS = 58.5 + 1.5 = 60 (\text{lit.})$$

$$\text{Na} - \text{Np} = 81 - 1.0 = 80 (\%)$$

$$\text{NS} - \text{NO} = 1.91 - 0.22 = 1.69 (\%)$$

$$C = (1.39 \times 96.5) + 35 = 169 (\text{cc})$$

$$\text{F. R. C. (STPD)} = \frac{60 \times 1.69}{80} - \frac{169 \times 100}{80} \\ = 1268 - 211 = 1057 (\text{cc})$$

此の時の気圧が 747 mmHg ならば

$$\text{F. R. C. (BTPS)} = 1057 \times \left(\frac{310}{273} \times \frac{760}{747 - 47} \right) \\ = 1057 \times 1.233 = 1303 (\text{cc}) \text{ となる。}$$

別に測定した呼吸予備量が 384 cc, 深呼吸量が 2040 cc ならば

$$\text{R. V. (残気量)} = 1303 - 384 = 919 (\text{cc})$$

$$\text{T. L. C. (全肺容量)} = 1303 + 2040 = 3343 (\text{cc})$$

$$\frac{\text{R. V.}}{\text{T. L. C.}} \times 100 = 27.4 (\%) \text{ である}$$

製造発売元 本装置は著者監製の下に東京都文京区本郷一丁目二番地市河思誠堂から発売されている。

文 献

- 1) 笹本浩: 肺機能検査 (1), 呼吸と循環, 1 巻 1 号, 昭 28.3.
- 2) 笹本浩・梅田博道: 肺機能検査 (2), 残気量の測定, 呼吸と循環, 1 巻 2 号, 昭 28.5.
- 3) 笹本浩・梅田博道: 肺結核に於ける心肺機能検査. 結核研究の進歩, 第 4 号, 昭 28.9. 医学書院版.
- 4) Comroe J. H.: Interpretation of commonly used Pulmonary Function Tests, Am. J. Med., 10: 356, 1951.