

〔一般演題〕

調節呼吸時の compliance と resistance 測定方法の比較

小野寺 文 雄* 窪 田 達 也* 清 水 禮 壽*

人工呼吸器にて肺または胸郭をふくらまそうとする時、大きく分けて2つの抵抗、すなわち弾性抵抗と粘性抵抗が関与する。前者を表わす指標として compliance があり、後者の指標として resistance がある。これらは呼吸器疾患の経過を追うには重要なパラメーターの1つである。

最近の人工呼吸器にはこれらの指標がディスプレイされる機種が多いが、各機種により測定方法と測定する呼吸の相が異なる。表1で示すように、compliance の測定方法では、一回換気量をプラトー圧で割った effective compliance から求めるものと、呼吸器系の構造成分を直列電気回路モデルにたとえ、その式から求めるものがある。

resistance の測定も、吸気のピーク圧とプラトー圧との差を flow で割るもの、呼気早期の圧と flow から求めるもの、直列電気回路モデルで求めるものと様々である。

今回、測定方法および測定する呼吸の相が異なる EV-A, SERVO 900C 付属の lung mechanics

calculator 940, 呼吸モニター OMR-7101 の3機種について、換気条件を変えたときの応答、また特殊疾患を擬似したときの応答を in vitro で検討を加えた。

方 法

図1に実験装置を示した。シーメンス社製 SERVO 900C, またはドレーゲル社製 EV-A の人工呼吸器にて、以下に示す実験Ⅰと実験Ⅱの条件下に調節呼吸を行わせ、各人工呼吸器と呼吸モニター OMR で得られる compliance と resistance 値を比較検討した。なおモデル肺は五十嵐医科製人工呼吸練習器 T3 を用いた。

実験Ⅰ：人工呼吸器のダイヤルにて一回換気量を500または1,000ml, 呼吸数を10または20回/min, PEEP を0または10 cmH₂O とそれぞれ可変させ、換気条件による影響をみた。

実験Ⅱ：呼吸モニターのセンサーとモデル肺の間に一方向回路を挿入した。吸気または呼気側

表 1

| | compliance | | resistance | |
|---|------------|--|------------|--|
| | 測定する呼吸の相 | 測定方法 | 測定する呼吸の相 | 測定方法 |
| SERVO 900C (lung mechanics calculator 940) | 吸気 | $C = \frac{V_T (\text{呼気})}{\text{プラトー圧} - \text{呼気末肺内圧}}$ | 呼気 | $R = \frac{\text{プラトー圧} - \text{early 呼気圧}}{\text{early 呼気 flow}}$ |
| | | | 吸気 | $R = \frac{\text{ピーク圧} - \text{プラトー圧}}{\text{吸気末最大 flow}}$ |
| ERICA Bear 5 | 吸気 | $C = \frac{V_T}{\text{プラトー圧} - \text{呼気末圧}}$ | 吸気 | " |
| EV-A | 吸気 | " | 呼気 | $P_{\text{endin}} = \frac{V_{\text{ex}}(t_1)}{C} + R_{\text{AW}} \times \dot{V}_{\text{ex}}(t_1) + P_y(t_1)$ |
| OMR-7101 | 吸気 | $P = \frac{V}{C} + R\dot{V} + P_o$ | 吸気 | $P = \frac{V}{C} + R\dot{V} + P_o$ |

* 自治医科大学麻酔科・集中治療部

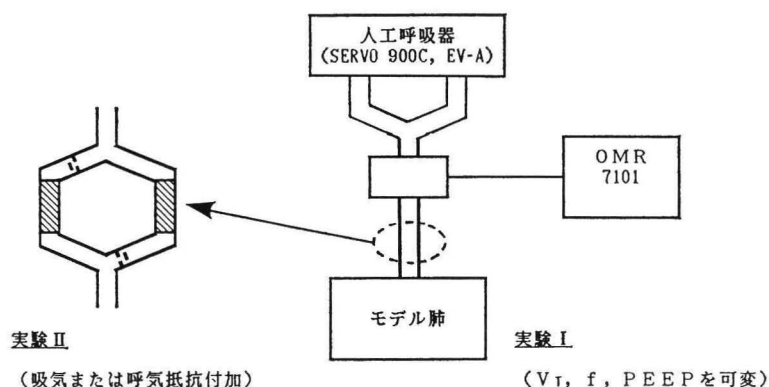


図1 実験装置

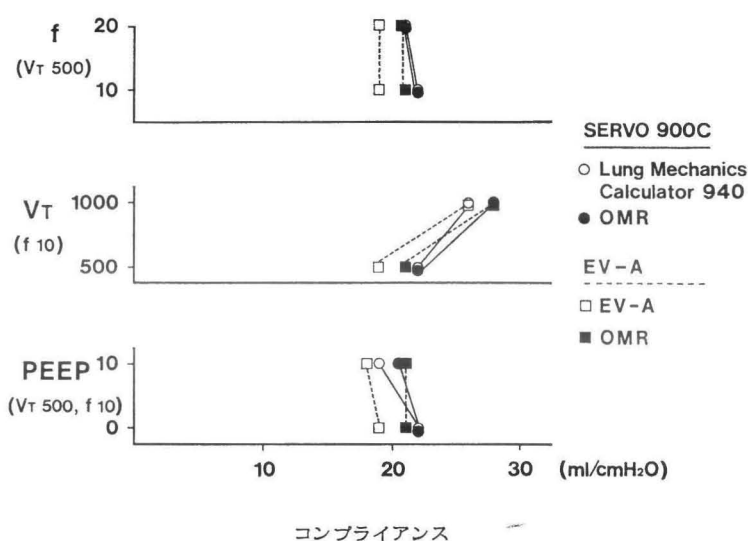


図2

(図1の斜線部)に、内径7, 5または4mmのPortex社製気管チューブを挿入し、上気道閉塞、喘息などの特殊疾患を擬似させ、付加抵抗の影響をみた。なお気管チューブを付加しない場合をcontrolとした。人工呼吸器は一回換気量500ml、呼吸数15回/minに設定した。

結果

実験I：図2に換気条件を可変した時の compliance 値を示した。

上段では呼吸数(f)を、中段では一回換気量(V_T)を、下段ではPEEPをそれぞれ変化させたときのものである。SERVO 900Cにて調節呼吸を

行った時、lung mechanics calculator 940で測定した値を白丸、OMRで測定した値を黒丸で示し、それぞれを実線でつないだ。EV-Aにて調節呼吸を行った時、EV-Aでの測定値を白四角、OMRでの測定値を黒四角で示し、それぞれ点線でつないだ。

各機器での測定値の差は、5 ml/cmH₂O以下であり、換気条件を変化させてもほぼ同じ動きを示すことが分かった。compliance値は、一回換気量増加の影響を受けた。

図3にresistanceの測定値を示した。二重丸はlung mechanics calculator 940で測定した呼吸抵抗であるSERVO 900CとEV-Aとは、完全

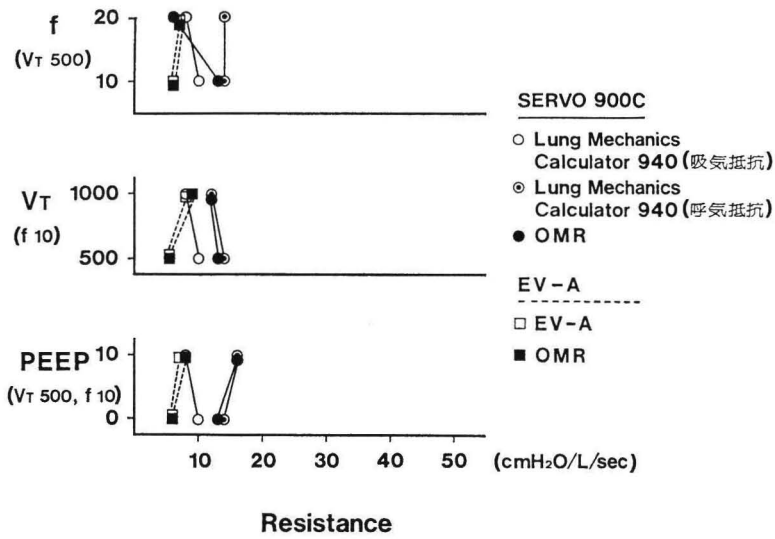


図 3

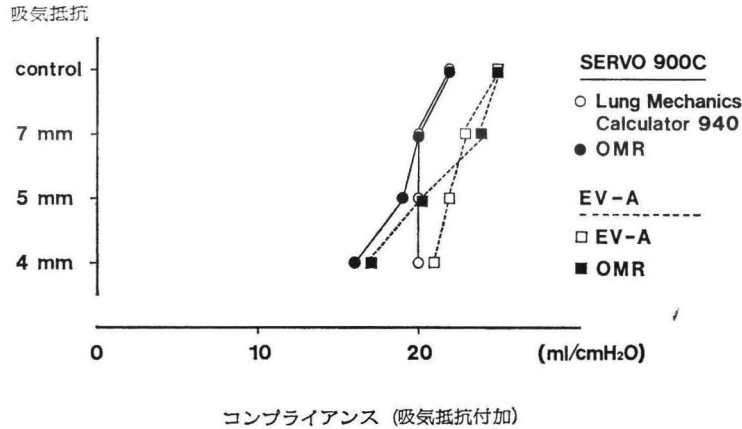


図 4

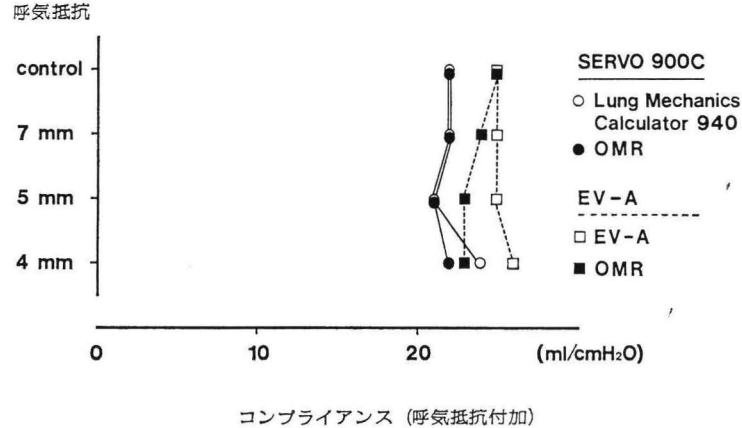


図 5

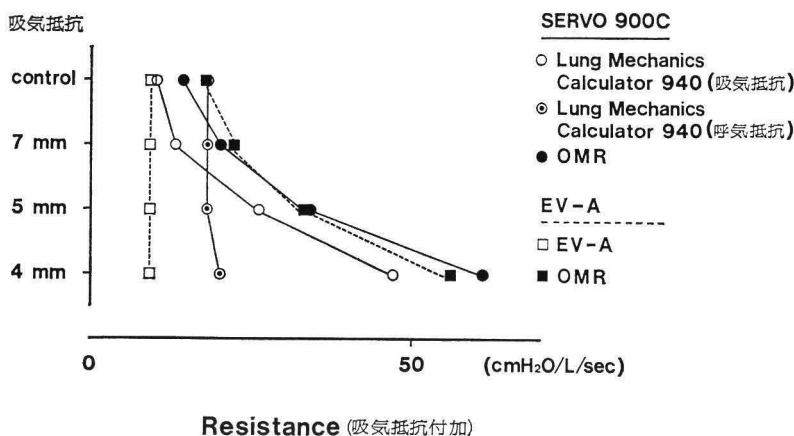


図 6

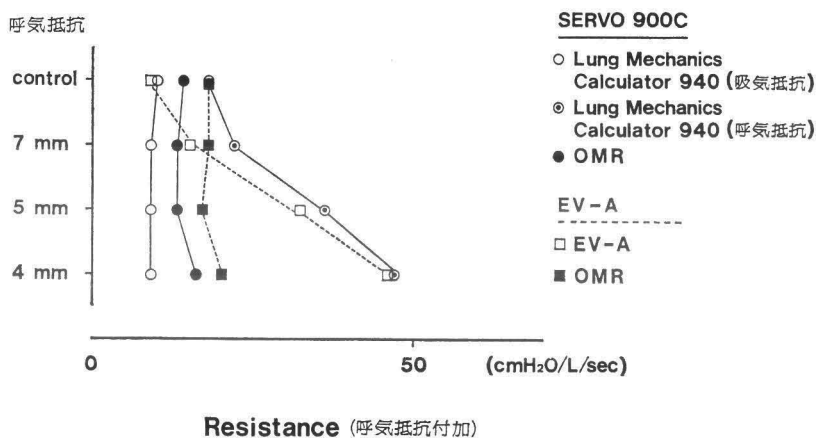


図 7

には同一換気条件に設定できないので、OMR での resistance (黒丸、黒四角) も異なった。しかし、その変化は小さいものであった。

実験Ⅱ：図 4 は吸気抵抗を付加した時の compliance 値である。control からの変化としては、機種間の差が少なく、付加抵抗の増加にほぼ並行して compliance 値が低下した。effective compliance, 直列電気回路モデルによる compliance 値とも粘性抵抗の大きさに影響されることが示唆された。

図 5 は呼気抵抗を付加した時の compliance 値である。全機種、吸気相で compliance を測定しているため、呼気に抵抗を付加しても測定値への影響は少なかった。

図 6 は吸気抵抗を付加した時の resistance 値である。測定する呼吸の相が吸気である OMR (黒) と calculator の吸気抵抗 (白丸) では、付加抵抗の大きさに並行して増加した。しかし、呼気相に測定する EV-A (白四角) と calculator の呼気抵抗 (二重丸) ではほぼ一定の値を示した。

図 7 は呼気抵抗を付加した時の resistance 値である。測定する呼吸の相に一致した変化を示した。

考 案

一回換気量をプラトー圧で割った effective compliance は、静肺胸郭 compliance を反映するとされ、各種人工呼吸器で用いられている方法で

OMR-7101 の compliance, resistance の測定法

$$P_1 = \frac{V}{C} + R\dot{V} + P_0$$

最小 2 乗法により、 P_1 (計算気道内圧値) と P_1 (実測値) の差の 2 乗の和が最小となるように、 c, R, P_0 を決定する。

$$S = \sum (P_1 - P_1)^2$$

$$\frac{dS}{dR} = 0, \quad \frac{dS}{dV_c} = 0, \quad \frac{dS}{dP_0} = 0$$

の条件にて行列式で求める。

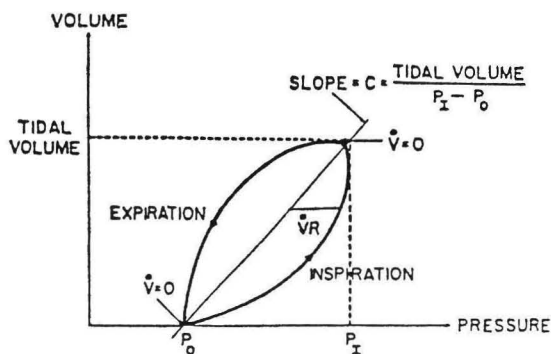


図 8

ある。本実験でも呼吸モニター OMR での測定値を含めて、compliance 値は機種間での差が少ない指標となった。しかし、compliance 値は吸気抵抗の大きさと一回換気量に影響されるものであった。

resistance 値測定は機種により測定方法と測定する呼吸の相が異なっている。本実験で示したように各機種は測定する呼吸の相の付加抵抗に応じた変化を示すことが分かった。

数ある測定方法の中で、呼吸モニター OMR-7101 の測定方法は特記すべきものと思われる。本

機種は直列電気回路モデルの式にて、40 msec のサンプル時で得られた沢山のデータをもとに測定している。図 8 に概略を示したが、本方法では、プラトー圧がなくても演算が可能であり、また、あらゆる人工呼吸器に接続することができ、トレンドデータも得られるので病勢の経過を追うのに優れているものと思われた。

本実験では control study がなく、換気条件の設定も各人工呼吸器のダイヤルにて合わせただけなので、各機種の性能を比較するものではない。しかし、吸気抵抗と呼気抵抗に大きな差が認められるような上気道閉塞や喘息などの疾患でのメカニクスの評価には、各機種での測定する呼吸の相に関心を払う必要があるものと思われた。

まとめ

- 1) EV-A, SERVO 900C 付属の lung mechanics calculator 940, 呼吸モニター OMR-7101 の 3 機種について、調節呼吸時の compliance と resistance を測定し、検討を加えた。
- 2) 一回換気量、呼吸数、PEEP を可変した時の compliance 値、resistance 値は、並行して変動し機種間での差が少なかった。
- 3) 吸気および呼気抵抗を付加した時の compliance 値は、並行して変動し機種間での差が少なかった。
- 4) 吸気および呼気抵抗を付加した時の resistance 値は、各機種での測定する呼吸の相に応じた変化を示した。
- 5) 吸気抵抗と呼気抵抗に大きな差が認められるような疾患でのメカニクスの評価には、各機種の測定方法と測定部位に関心を払う必要がある。