

## S-4コンピュータシミュレーションによる吸気努力の解析：人工呼吸と換気中枢

名古屋大学医学部救急部、集中治療部

福岡敏雄

Proportional assist ventilation (PAV) による部分的換気補助をすることでRR、 $V_T$ 、呼吸筋の発生圧(Pmus)などがどう変化するのか数式を用いてシミュレーションした。  
 [方法]まず換気中枢モデル<sup>1)</sup>とPAVのモデル<sup>2)</sup>を数式処理ソフトウェアを用いて数式化した。PaCO<sub>2</sub>で決まるchemical cost (Jc)と呼吸仕事量から決まるmechanical cost (Jm)の和を最小とするPmusを換気中枢は選択するという仮説(Optimization hypothesis)に基づいてシミュレーションした。JcはPaCO<sub>2</sub>がβの値で最小値"0"をとる。JmはPmusが大きくなるにしたがって大きくなる。ξ<sub>1</sub>とξ<sub>2</sub>という因子を加えることでPmusが最大値(Pmax)や変化率の最大値(Ḑmax)に近い値をとるとJmが大きくなる。 (吸気量:V(t)、呼吸筋の発生圧:Pmus(t)、吸気時間:T<sub>I</sub>、呼気時間:T<sub>E</sub>)

$$Jc = \alpha^2 (PaCO_2 - \beta)^2$$

$$\alpha = 0.0934 \quad \beta = 37.78$$

$$Jm = \text{Log} \left[ \frac{\int_0^{T_I} \frac{Pmus(t)\dot{V}(t)}{\xi_1^3 \xi_2^3} dt + \int_{T_I}^{T_I+T_E} Pmus(t)\dot{V}(t) dt}{(T_I + T_E)} \right]$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{Pmus(t)}{Pmax} \quad \xi_2 = 1 - \frac{\dot{P}mus(t)}{\dot{P}max}$$

Pmus(t)は以下の式による。

$$Pmus(t) = a_0 + a_1 \times t \quad 0 \leq t \leq T_I$$

$$Pmus(t) = (a_0 + a_1 T_I) e^{-(t-T_I)/\tau} \quad T_I \leq t \leq T_I + T_E$$

a<sub>1</sub>はPmusの変化率、tauは呼気時の減衰率である。a<sub>0</sub>は以下の式から求められる。

$$Pmus(0) = Pmus(T_I + T_E)$$

PaCO<sub>2</sub>の算出式は原法<sup>3)</sup>にしたがった。Pmaxは50cmH<sub>2</sub>O、Ḑmaxは500cmH<sub>2</sub>O/secとした。以上の式に基づきJcとJmとの和を最小にするT<sub>I</sub>、T<sub>E</sub>、a<sub>1</sub>、tauの4変数を求め、RRやV<sub>T</sub>を計算した。呼吸器系のEとRを変化させ、またPAVによる換気補助を加え比較検討した。

[結果]このシミュレーションでは自発呼吸下ではEの増加によってT<sub>I</sub>は短くa<sub>1</sub>は大きくなり、RRは増えV<sub>T</sub>は減少した。Rの増加ではa<sub>1</sub>は変わらないもののT<sub>I</sub>は長くなり、RRは減少しV<sub>T</sub>は大きくなった。結果を以下の表に示した。

	RR(回/min)	V <sub>T</sub> (L)	a <sub>1</sub>
E=10, Rin=6	8	0.74	2.3
E=20, Rin=6	13	0.52	5.0
E=20, Rin=12	10	0.62	5.0

(a<sub>1</sub>:cmH<sub>2</sub>O/sec, E:cmH<sub>2</sub>O/L, Rin(吸気抵抗):cmH<sub>2</sub>O/L/sec, 呼気抵抗はRinの1.5倍。次表も同じ)

次にE=50cmH<sub>2</sub>O/L, 吸気R=12cmH<sub>2</sub>O/L/secの呼吸器系を想定しそこにPAVを行なった変化を求めた。PAVのk<sub>1</sub>、k<sub>2</sub>はそれぞれE、Rの1/2である25、6とした。すると呼吸回数は減少し、1回換気量の増加、a<sub>1</sub>の低下が見られた。

E=50, Rin=12	RR(回/min)	V <sub>T</sub> (L)	a <sub>1</sub>
自発呼吸	20	0.40	14
PAV	15	0.48	6.4

[まとめ]部分的換気補助での自発呼吸の変化をシミュレーションした。このモデルでは換気補助と患者の吸気努力との相互作用による呼吸回数、1回換気量、Pmusの波形の変化も示された。しかし実際には呼吸器の非線型性や吸気努力の呼吸毎の変化などの問題もあり今後改良の必要があるものと思われた。

1) Poon C.S. et al. Optimization charactor of inspiratory neural drive. J Appl Physiol 72: 2005, 1992

2) Younes M. Proportional assist ventilation, a new approach to ventilatory support: theroy. Am Rev Respir Dis 145: 114, 1992

[補足]本学会のYounesの特別講演でPAVではあるレベル以上換気補助を増加しても1回換気量はあまり増加しないことが示された。これは今回の呼吸中枢のモデルでは見られずこの点も今後検討の余地があると思われた。