

28

吸気運動における最適制御問題の理論的研究

旭川医科大学公衆衛生

平山博史、福山裕三

はじめに

人工呼吸装置の開発と改良を最終目的として、生体における呼吸系を効率良く駆動させるにはどのような戦略が必要なのかを機械力学的側面と制御工学的側面から理論的に解析した。

数学方法

呼吸器系は最も簡単な集中定数回路で次のように表した

$P(t) = K V(t) + R \frac{dV(t)}{dt}$ --(1). ここで $P(t)$: 駆動気圧、 $V(t)$: 肺容積、 K : 呼吸器系弾性係数、 R : 呼吸抵抗、

評価関数として

$$J = \int_0^t [V''(t)^2 + \alpha P(t) \dot{V}(t)] dt \quad -- (2)$$

すなわち、気道内における安定した気流量と呼吸筋の仕事量すなわち酸素消費量の最小化を満たしたときを最適な吸気状態と定義する。

(1) 式を (2) 式に代入し

Euler Lagrange equation

$$D^2 \left[\frac{d^2(dJ/dt)}{d(V'')} \right] / d(V'') - D \left[\frac{d(dJ/dt)/d(V')}{Dt} + \frac{d(dJ/dt)/dV}{dV} \right] = 0 \quad \text{----- (3)}$$

を満たす 関数微分方程式を求めると 4 次線型方程式となる、これを 2 点境界値問題として解析的に解いた。

結果

気流量 V' は対象な放物線を描き一回換気量、 R 、 α の変化で平坦になった。気道圧は吸気とともに増加し、吸気終末で急激に減少した。気流量は気道圧とともに上昇し、Plateauを形成した後、吸気終末で減少した。評価関数で規定される仕事量は R 、 K とともに直線的に増加した。

結語

最適制御理論に基づいた吸気 Pattern は比較的生理的であり本理論を応用することで呼吸管理、をより生理的な状態に近似できると考えられる。

The pressure and flow wave form under the optimal condition.

