フーリエ変換された呼吸情報に基づく 換気性作業閾値の近似推定 — 推定法としての妥当性の評価 —

○塩野谷 明, 福本 一朗, 三宅 仁
(長岡技術科学大学)

Approximate Estimation of Ventilatory Threshold based on Breathing
Curved Line transformed to spectrum by an using of Fourier Transform.

Akira SHIONOYA, Ichirou FUKUMOTO, Hitoshi MIYAKE
(Nagaoka University of Technology)

1. 緒言—これまでの研究の総括

我々はこれまで、リハビリテーションや運動療法において安全でかつ効果的な運動強度の指標となる無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold: AT) を決定する一指標である換気性作業閾値 (Ventilatory Threshold: VT) の簡易推定法として、サーミスタを介して得られる呼吸曲線をフーリエ変換し、そのスペクトルの変化から近似推定を行うシステムの構築を行ってきた。そこでは運動強度が小さい場合スペクトルは多くの高調波成分を含むが、運動強度の漸増に伴い、スペクトルは主成分が明瞭となる傾向を示すことが示唆され (図1)、VTの簡易推定法として有効であることが伺えた。

本研究では、このフーリエ変換された呼吸曲線に基づいたVTの近似推定について、以下の点から評価方法としての妥当性の評価を再検討するものである。

- 1) 呼吸曲線に関係する一回換気量 (V_T) や呼吸数 (F) の運動負荷漸増に伴う動態変化
 - 2) サーミスタから得られる呼吸曲線の線形性および非線形性、並びに V_T との関係
 - 3) 被験者数の増員
- 以上である。

2. 方法

VT近似推定システムおよび実験方法については、前回発表 (人間工学Vol. 29, 特別号, pp548-549) に準ずるものとした。また今回は運動時と併せて2) サーミスタの特性 (線形性) を検討するために、安静時および意識的に呼吸を変化させた場合の呼吸曲線と V_T の関係についても考察を加えた。

3. 結果および考察

図2は、 V_T および F の運動負荷漸増に伴う動態を近似した2つの自動系常微分方程式の幾何学的概形を示したものである。すなわち

図1：呼吸曲線とそのスペクトル
上段：運動負荷100watt時
中段：運動負荷150watt時 (VT水準)
下段：運動負荷250watt時

1) の非線形方程式

$$du/dt = c(k - u)$$

但し $c > 0$, $t > 0$, $k > 0$ の解

$$u(t) = (u_0 - k)e^{-ct} + k$$

は「 $u(V_T)$ の t に対する変化率 (du/dt) は上限値 k と現在の V_T 値 u の差と、現在の V_T 値 u の積に比例し、その変化率に従って上昇する」ことを意味する。また 2) の非線形方程式

$$du/dt = cu(k - u)$$

但し $c > 0$, $t > 0$, $k > 0$ の解

$$u(t) = k / 1 + (k/u_0 - 1)e^{-ckt}$$

但し 1) 2) 式とも

k は上限値, u は現在値, u_0 は初期値

は「 u の t に対する変化率 du/dt は上限値 k と現在値 u の差と現在値 u との積に比例し、その変化率で上昇していく」ことを意味している。

このモデルによって V_T および F を近似した場合、いずれも近似誤差が 2) 式で小さいことから、これらの動態が変化率に変曲点をもって k に収束することが伺えた。すなわち V_T および F は上限値 k をもち、前回示したようにこの k をもって換気運動も何等かの(おそらく物理的な)制約を受けていることが考えられた。

次に図 3 では、サーミスタより得られた呼吸曲線の変化率(変化分/時間)と V_T の関係について、安静時(意識的に呼吸を変化させた場合も含む)と運動時をひとつのグラフに示したものである。

このように安静時(○)と運動時(●)で、2つの異なった傾きをもつ直線となることが伺えた。それぞれ単独では安静時が相関係数 $r = 0.734$, 運動時が $r = 0.610$ で、ともに統計的に有意な相関関係が認められている。

しかし V_T が運動負荷漸増に伴い何等かの理由で収束し、その結果 V_T が一定率となり、これが呼吸曲線をスペクトル化した際の変化となつたこれまでの報告を裏付けるには、この両者間の相関関係では充分とは考えられない。もしこの程度の関係をもって呼吸曲線のスペクトルに変化が生じるのであれば、おそらくは呼吸曲線に含まれる量的な要素ではなく、 F に関係した呼吸の周波数特性がスペクトルに影響を及ぼすものと考えられ、この点を今後の課題として上げておきたい。またこの点については、演題「呼吸の周波数特性を考慮した自転車エルゴメータの開発」の中

でもその若干について言及することとした。

また被験者数の増員に関して、その詳細は口頭において発表する。

参考文献

1) 塩野谷 明他: 心拍・呼吸情報併用制御型自転車エルゴメータ開発のための基礎的研究—換気性作業閾値近似推定システムとそのフィードバック方法について—, 医療情報学連合第12回大会論文集, pp203-206, 1992.

2) 塩野谷 明他: 呼吸情報のフーリエ変換を応用した換気性作業閾値の近似推定, 人間工学, Vol. 29, 特別号, pp548-549, 1993.

図 2 : V_T および F を近似する方程式
但し u_0 は初期値, u は現在値,
 k は上限値, c は立ち上がり係数

図 3 : V_T (Y 軸: 1) と呼吸曲線の変化率
(変化分 Y/時間 X) の関係。
但し ○ は安静時 ● は運動時