

運動中の息止め後における呼吸ガス動態の検討

Examination of the dynamics of respiratory gases after holding one's breath while exercising

海保 享代*, 窪山 泉**, 伊藤 拳**, 吉岡 耕一**, 渡辺 剛*

Takayo KAIHO*, Izumi KUBOYAMA**, Susumu ITO**
Koichi YOSHIOKA** and Tsuyoshi WATANABE*

I. 緒 言

あらゆる生命維持活動や身体運動のエネルギーの生成において、呼吸は欠かせない機能である。呼吸運動は常に一様ではなく、様々な身体活動に応じて変化する。特に息止めは日常生活においてもよく見られる動作である。息止め中に関する研究は多岐にわたり行われているが、息止め後の呼吸ガスについての研究は十分ではない。本研究では、自転車エルゴメータを使用した負荷運動中に息止めを行い、呼吸ガスの測定を行った。特に分時二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) と分時酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の息止め後の時間経過に注目し、2つのガスの回復過程の違いを検討した。

II. 研究 方 法

被検者は喫煙者でない男性 8 名 (年齢 22.8 ± 1.2 歳、身長 175.3 ± 8.1 cm、体重 68 ± 5.8 kg) とした。被検者に対しては研究の趣旨を十分に説明し、書面にて同意を得て試験を実施した。

動きやすい服装で軽めの準備運動を実施した後、呼気ガス分析器 (ミナト医科学社製 AE300s)

のマスクを装着し、自転車エルゴメータ (REhor 500P, Groningen, The Netherlands) に乗らせた。また、息止め中に鼻からの息漏れを防ぐためノーズクリップも装着した。被検者には試技中のペダル回転数は 60rpm を維持するよう指示した。7 分間のウォームアップの後、ペダルにかかる負荷を、3 分間で 22W, 62W, 102W のいずれかの値にまで上昇させ、その後 5 分おきに息止めに 20 秒間、計 4 回を行わせた。息止めの開始と終了の合図は測定者の合図により行った。実験は室温・湿度が一定の環境で行われた¹⁾。

息止め後の $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}O_2$ を測定し、解析を行った。各被検者の 4 回の息止め施行前後の計 160 呼吸 (各施行の 1 分前からの 20 呼吸と施行後 4 分後からの 20 呼吸) の平均を取り定常状態レベル ($\dot{V}CO_{2SS}$ および $\dot{V}O_{2SS}$) を算出した。各被検者によりこれらの値は大きく異なっていたため、息止め後の各測定値をそれぞれの定常状態レベルで除して基準化した値 ($\dot{V}CO_2/\dot{V}CO_{2SS}$ および $\dot{V}O_2/\dot{V}O_{2SS}$) を算出して、解析に用いた。全被検者の各パラメータの値をプロットし、二指数関数モデル (1) を非線形最小二乗法によって当てはめて、それぞれのモデルのパラメータ (初期振幅 A, B

* 国士舘大学大学院スポーツシステム研究科 (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

** 国士舘大学大学院救急システム研究科 (Graduate School of Emergency Medical System, Kokushikan University)

と速度定数 α, β を求めた。さらにそれらパラメータを用いて、息止め後の過剰に排出または摂取したガス量を時間経過曲線下の面積 (AUC) として以下の式 (2) で求めた。

- (1) $y(t) = A \times e^{-\alpha t} + B \times e^{-\beta t} + 1 + \text{error}$ (ただし、 $\alpha > \beta$ とする)
- (2) $AUC = (A/\alpha + B/\beta) \times \dot{V}CO_2SS$ または $\dot{V}O_2SS$

Ⅲ. 結 果

Fig.1は $\dot{V}CO_2$ (左) と $\dot{V}O_2$ (右) の運動負荷毎

の時間経過を示したものである。時間0は息止め直後を表している。

図中の曲線は $\dot{V}CO_2/\dot{V}CO_2SS$ および $\dot{V}O_2/\dot{V}O_2SS$ のデータに二指数関数モデルを当てはめたものである。Table 1は二指数関数モデルから得られた初期振幅と速度定数の値を負荷毎に示したものである。 $\dot{V}O_2$ の曲線に比べると、 $\dot{V}CO_2$ の曲線は息止め直後の上昇は小さく、その後緩やかな減衰を示している。特に102W負荷ではそれが顕著に表れており、 $\dot{V}O_2$ の曲線が定常状態のレベルまで減衰するまで約40秒かかる。一方 $\dot{V}CO_2$ の曲線では、

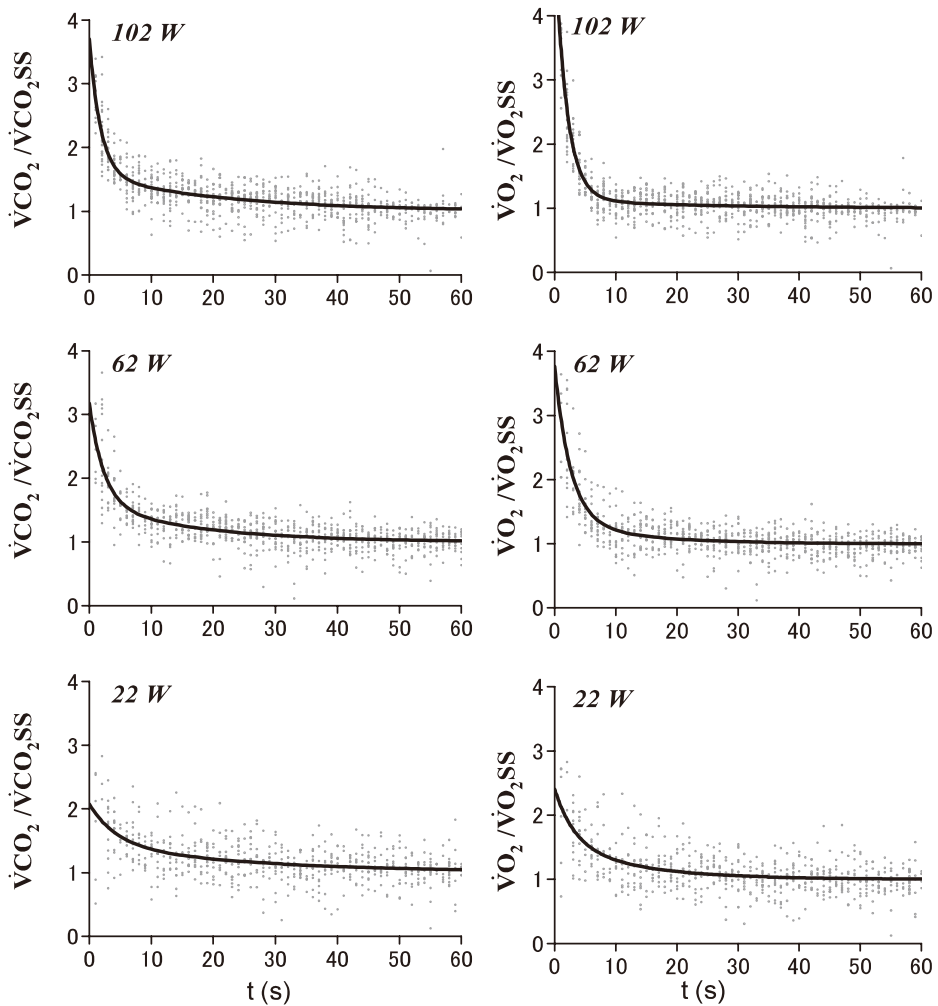


Fig.1 息止め後の呼吸ガスの時間経過

約15秒で定常状態のレベルに戻っている。Table 1から、 $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}O_2$ の時間経過の違いは速度定数の違いではなく、初期振幅の違いによることがわかった。すなわち、 $\dot{V}CO_2$ の方が速度定数 α の速い成分の大きさ(A)が小さく、速度定数 β の遅い成分の大きさ(B)が大きいことがわかった。さらにこの値から時間曲線下の面積を求め、ガス量で表したものをTable 2に示す。

負荷が増大するにつれて CO_2 、 O_2 の過剰排出または摂取量は増加した。また、 O_2 に比べて CO_2 は1.3~1.5倍の値を示した。

IV. 総括

息止め後の呼気ガスの回復過程に二指数関数モデルを当てはめることで、回復過程におけるガス

量の変化の時間経過を推測することができた。その結果、回復過程において CO_2 の過剰排出量は、 O_2 の過剰摂取量より1.3~1.5倍多いことがわかった。これは運動中の息止めにより無酸素代謝が亢進し、産生された乳酸が重炭酸イオンにより緩衝された結果、過剰に CO_2 が生成されるためと考えられた²⁾。

引用・参考文献

- 1) H. Németh, H. Sato, et al. Rapid restitution of the lung functions following short-term breath-holding during moderate intensity cycling exercise. *Open Sports Med J*, 2009 ; **3** : 66-72.
- 2) Yano T. The differences in CO_2 kinetics during incremental exercise among sprinters, middle and long distance runners. *Jpn J Physiol*, 1987 ; **37** : 369-378.

Table 1 二酸化炭素と酸素の初期振幅と速度定数の値

	Initial amplitude				Rate constant			
	CO_2		O_2		CO_2		O_2	
	A	B	A	B	alpha	beta	alpha	beta
22 W	0.63	0.45	0.83	0.57	0.231	0.038	0.310	0.078
62 W	1.57	0.61	2.39	0.38	0.429	0.059	0.391	0.082
102 W	2.03	0.60	3.87	0.15	0.555	0.048	0.514	0.050

Table 2 各ガスにおける負荷毎のAUC

AUC(ml)	VCO_2	VO_2	VCO_2/VO_2
22 W	136.9	96.8	1.4
62 W	222.2	173.3	1.3
102 W	400.5	259.9	1.5