

## クロール泳におけるプル動作とキック動作時の酸素摂取動態の比較

仙石泰雄\*・門田理代子\*\*・安藤邦彬\*・椿本昇三\*

## Comparisons of Oxygen Uptake Kinetics during Front Crawl Pull and Kick Motion

SENGOKU Yasuo\*, KADOTA Riyoko\*\*, ANDO Kuniaki\* and TSUBAKIMOTO Shozo\*

**Key words:** endurance capacity, energy supply

## 1. 緒言

水泳運動は、上肢と下肢の動作を組み合わせた全身運動である。そのため、競泳競技のトレーニング現場においては、上肢を主体として推進するプル動作と下肢を主体として推進するキック動作を個別にトレーニングすることにより、各々の動作技術の獲得と局所筋群のエネルギー供給能力の向上が目指されている（萩田、1999）。プル動作時およびキック動作時のエネルギー供給能力を評価するために、各動作時の最大酸素摂取量や最大酸素借がこれまで分析されており、プル動作とキック動作の代謝応答の違いが報告されている（Ogita et al., 1996）。

競技者の有酸素性エネルギー供給能力を評価する上で、運動中の酸素摂取量の時々刻々の応答変化を

示す酸素摂取動態（図1）の分析も行われている。酸素摂取動態を分析すると、持久性能に長けた者はⅡ相の時定数（酸素摂取量の立ち上がり速度の指標）が短いことや、Ⅲ相における酸素摂取量の緩やかな増加成分（slow component）が小さいことが報告されている（Powers et al., 1985）。

上肢筋と下肢筋の代謝特性の違いに着目し、Invernizzi et al.（2008）は、競泳選手を対象に腕クランキング運動中と脚ペダリング運動中の酸素摂取動態を分析した。その結果、筋への酸素の取り込み能力を評価するⅡ相の時定数は、下肢運動が上肢運動と比較して短い傾向にあることを報告している。酸素摂取動態においても上肢動作と下肢動作では異なる応答を示す可能性が示唆されているものの、実

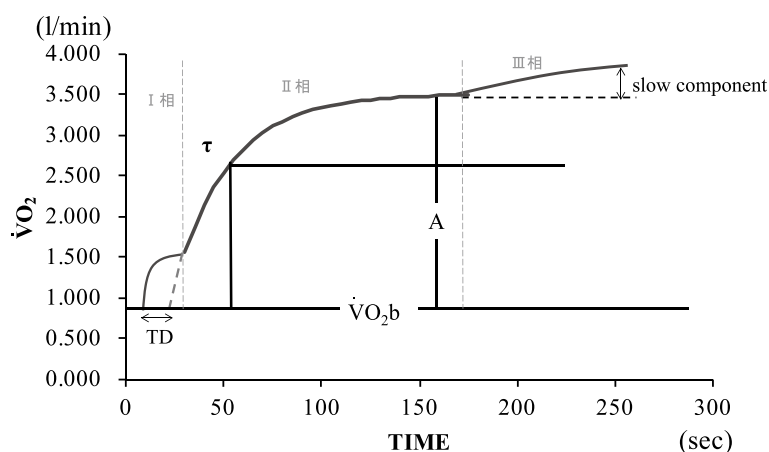


図1 酸素摂取動態の概念図

\* 筑波大学体育系  
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

\*\* 中村学園大学短期大学部  
Nakamura Gakuen University Junior College

際に水泳運動中に用いるプル動作とキック動作を対象として酸素摂取動態を比較した研究は報告されていない。

本研究は、クロール泳におけるプル動作とキック動作時の酸素摂取動態を比較し、各々の代謝応答の違いを分析することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 対象者

対象者は、自由形を専門とする男子競泳選手6名と、個人メドレーを専門とする男子競泳選手2名とした(年齢  $19.9 \pm 1.0$  歳、身長  $176.0 \pm 7.9$  cm、体重  $69.7 \pm 4.6$  kg)。対象者の競技レベルは2011年日本学生選手権出場から入賞レベルであった。

### 2.2 実験試技

対象者は、初めにプル200m全力泳、キック150m全力泳を実施した。この全力泳における平均泳速度(プル:  $V_{p200}$ 、キック:  $V_{k150}$ )を基準に、最高酸素摂取量( $\dot{V}O_{2peak}$ )を測定するための漸増負荷運動テストを実施した。漸増負荷運動テストは、 $V_{p200}$  および  $V_{k150}$  の60%にあたる泳速度から運動を開始し、4段階は2分間の休息時間をはさみながら間欠的漸増負荷運動を実施し、以降は休息時間をはさまず連続的に負荷を漸増した(図2)。漸増負荷運動テストにより、 $\dot{V}O_{2peak}$ 、 $\dot{V}O_{2peak}$  出現時の泳速度( $v\dot{V}O_{2peak}$ )を求めた。この漸増負荷テストによって求められた80%  $v\dot{V}O_{2peak}$  強度で5分間の一定負荷運動テストを実施した。

### 2.3 分析項目

#### 1) 呼気ガス変量

漸増負荷運動テストおよび一定負荷運動テストにおける呼気ガスを代謝測定装置(METASWIM; Cortex社製)を用いてbreath by breath法にて分析した。呼気ガス分析は、気圧・換気量・ガス濃度を測定日ごとに校正した後にを行った。気圧に関しては気圧計(Digital Barometer VR-16 SANO社製)の測定結果を元に校正した。換気量測定に用いられる流

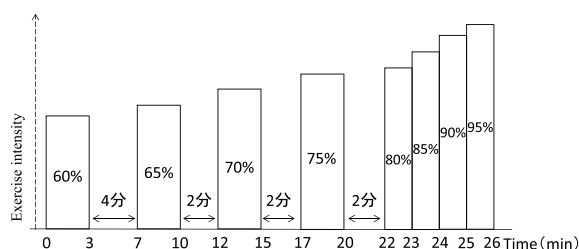


図2 漸増負荷運動テストのプロトコル

量計は、製造メーカーが指定する3Lのシリンジを用いて校正した。 $O_2$  および  $CO_2$  センサーは、2種類の標準ガス( $O_2$ : 20.88%,  $CO_2$ : 0.03%,  $N_2$ : BALANCE および  $O_2$ : 14.98%,  $CO_2$ : 5.07%,  $N_2$ : BALANCE)を用いて校正した。

### 2) 酸素摂取動態の解析

酸素摂取動態は、Whipp et al. (1982) が示した指数関数モデルを用いて解析した。一定負荷運動テスト中の酸素摂取量データを5秒毎のデータに換算し、平滑化のために連続する3つのデータの移動平均を求めた。またReis et al. (2012) の方法に従い、運動開始直後20秒間のデータを削除したうえで酸素摂取動態を分析した。運動中の実測の酸素摂取量データに対して非線形最小二乗法を用いて、一次の指数関数として式(1)のA、 $\tau$  (時定数)、TDをそれぞれ算出した。

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2b} + A \times (1 - e^{-(t - TD)/\tau}) \quad \dots (1)$$

### 2.4 統計処理

プル動作とキック動作全試技における測定結果の平均値を比較するために、対応のあるt検定を用いた。なお、全ての統計解析はSPSS17.0を用いた。統計処理の有意水準はいずれも危険率5%未満に設定した。

## 3. 結果

### 3.1 プル動作200m全力泳およびキック動作150m全力泳

プル動作とキック動作における全力泳を実施したところ、泳タイムに有意な差は認められなかった(プル動作:  $137.7 \pm 4.1$  sec、キック動作:  $137.0 \pm 7.8$  sec)。平均泳速度は、 $V_{p200}$  は  $1.45 \pm 0.04$  m/sec、 $V_{k150}$  は  $1.10 \pm 0.06$  m/secであり、プル動作がキック動作よりも有意に速い泳速度を示した( $p < .01$ )。

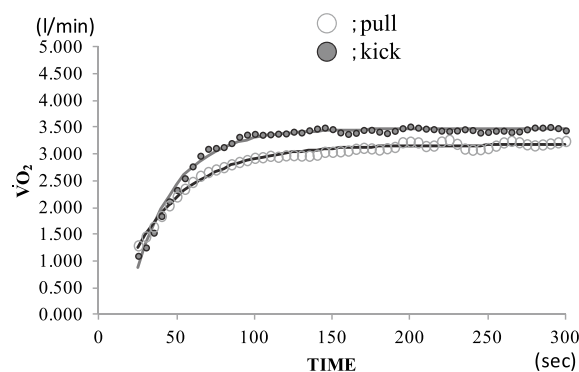


図3 80%一定負荷運動テストにおける全対象者の酸素摂取動態の平均値

### 3.2 プル動作およびキック動作における漸増負荷運動テスト

プル動作における $\dot{V}O_{2peak}$ の絶対値および相対値は、それぞれ $3.76 \pm 0.51$  l/min、 $54.18 \pm 6.77$  ml/kg/min、キック動作は $4.57 \pm 0.33$  l/min、 $65.93 \pm 5.73$  ml/kg/minとなり、絶対値、相対値ともにキック動作において有意に高い値を示した ( $p < .01$ )。

### 3.3 プル動作およびキック動作における 80%一定負荷運動テスト

80%一定負荷運動テストを実施した結果 (表 1、図 3)、時定数はプル動作で $38.5 \pm 13.7$  sec、キック動作で $29.0 \pm 6.8$  sec となり、有意な差は認められなかったものの ( $p = .09$ )、平均値では約 10 秒キック動作が短い値を示した。

## 4. 考察

クロール泳のプル動作とキック動作において、80%  $\dot{V}O_{2peak}$  一定負荷運動テストをそれぞれ実施したところ、定常状態時の酸素摂取量を 100%としたときに、酸素摂取量が一定の割合 (約 63%) に到達するまでに要する時間を示す時定数は、プル動作で $38.5 \pm 13.7$  sec、キック動作で $29.0 \pm 6.8$  sec となり、有意な差は認められなかったものの平均値ではキック動作の方が約 10 秒短い値を示した (表 1)。この結果は、エルゴメータを用いて上肢と下肢運動中の酸素摂取動態を分析した Invernizzi et al. (2008) や McNarry et al. (2011) の報告と一致する結果である。約 10 秒の時定数の差は、鍛錬者と非鍛錬者との差 (約 9 秒) と同等であり (McNarry et al., 2011)、考慮すべき差であると考えられる。

プル動作およびキック動作の時定数に有意な差が

認められなかった要因として、2 名の対象者 (sub. C および F) においてプル動作の時定数が極端に短かったことが挙げられる。この 2 名を除く 6 名においては、プル動作と比較してキック動作の時定数が短くなるという共通の傾向が示された。定常状態時の酸素摂取量は運動に必要な酸素需要量を示しており、時定数は酸素摂取量の立ち上がり速度の指標である。このことから、時定数が短いキック動作は、プル動作と比較してすばやく酸素需要量を満たす能力に優れている可能性が示唆された。

このような代謝能力の相違が観察された要因として、上肢筋と下肢筋の代謝特性の違いが関与している可能性が考えられる (Helge, 2010)。Invernizzi et al. (2008) は、上肢運動時と比較して、同一相対強度における下肢運動時の動静脈酸素較差が大きくなったことを報告しており、下肢筋は上肢筋と比較してより多くの酸素を筋内に取り込み、運動時に利用していることが示唆されている。本研究では、局所筋群における酸素の取り込み動態を分析していない。陸上運動を対象とした研究においては、酸素摂取動態にあわせて近赤外線分光法を用いて局所筋における血液中の酸素濃度を評価することにより、詳細に筋での酸素の利用動態を分析している (Stephen et al., 2009)。今後は、水泳運動中においても上肢と下肢の筋における酸素摂取動態の解明が求められる。

## 文 献

- 1) Helge JW (2010): Arm and leg substrate utilization and muscle adaptation after prolonged low-intensity training. *Acta Physiol* 199: 519-528.
- 2) Invernizzi P, Caporaso G, Longo S, Scurati R,

表 1 80%一定負荷運動テストにおけるプル動作とキック動作の酸素摂取動態分析結果

subject	Pull			Kick		
	A(l/min)	$\tau$ (sec)	TD(sec)	A(l/min)	$\tau$ (sec)	TD(sec)
A	3.12	39.6	12.5	2.28	18.5	24.6
B	2.36	63.5	10.6	2.91	37.9	19.5
C	2.01	21.3	20.6	3.00	33.9	25.0
D	2.39	39.4	19.3	2.83	33.9	14.8
E	2.22	33.8	27.5	3.28	22.7	25.8
F	2.29	21.4	12.8	2.76	28.5	22.3
G	2.74	45.7	13.1	2.45	23.3	25.5
H	2.83	43.5	10.8	3.61	33.2	16.1
Ave	2.50	38.5	15.9	2.89	29.0	21.7
SD	0.37	13.7	6.0	0.43	6.8	4.4

- Alberti G (2008) Correlations between upper limb oxygen kinetics and performance in elite swimmers. *Sport Sci Health*, 3:19-25.
- 3) McNarry M, Welsman J, Jones A (2011) Influence of training status and exercise modality on pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics in pubertal girls. *Eur J Appl Physiol*, 111:621-631.
- 4) Ogita F, Hara M, Tabata I (1996) Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand*, 157: 435-441.
- 5) 荻田 太 (1999) スポーツ生理学トピックス (3) 水泳の代謝特性とトレーニングへの指針ーブル、キック、スイムの特性比較. *体育の科学* 49 : 241-247.
- 6) Powers SK, Dodd S, Beadle RE (1985) Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in VO<sub>2</sub>max. *Eur J App Physiol* 54: 306-308.
- 7) Reis JF, Alves FB, Bruno PM, Vleck V, Millet GP (2012) Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. *J Sci Med Sports* 15: 58-63.
- 8) Stephen BJ, Wilkerson DP, DiMenna FJ, Jones AM (2009) Influence of repeated sprint training on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *J Appl Physiol* 106: 1875-1887.
- 9) Whipp B, Ward S, Lamarra N, Davis J, Wasserman K. (1982) Parameters of ventilator and gas-exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol* 52: 1506-1513.