

競泳競技のインターバルトレーニングにおける運動強度とその実施順序の違いが生理的応答に及ぼす影響に関する事例研究

成田健造¹⁾, 藤本知臣²⁾, 仙石泰雄³⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系

²⁾ 新潟医療福祉大学健康科学部健康スポーツ学科

³⁾ 筑波大学体育系

キーワード: 水泳, 酸素摂取量, 心拍数, 血中乳酸濃度, 高強度

【要約】

本研究では、水泳のインターバルトレーニングにおける運動強度とその実施順序の違いが泳者の生理的応答に及ぼす影響について調査し、競泳競技の選手やコーチがインターバルトレーニングを実施する際の実践的な活用方法の提言を目的とした。実験は、大学生男子競泳選手 4 名を対象に、実験用回流水槽にてクロール泳で実施した。実験に先立ち、最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)計測を行い、各対象者における $\dot{V}O_{2max}$ 出現時の泳速度の 100% ($v100\dot{V}O_{2max}$)、90% ($v90\dot{V}O_{2max}$)、80% ($v80\dot{V}O_{2max}$) の 3 つの泳速度を設定した。さらに、3 つの泳速度を組み合わせることで、以下の 3 条件を設けた。① $v90\dot{V}O_{2max}$ の後に $v90\dot{V}O_{2max}$ (90-90 条件)、② $v100\dot{V}O_{2max}$ の後に $v80\dot{V}O_{2max}$ (100-80 条件)、③ $v80\dot{V}O_{2max}$ の後に $v100\dot{V}O_{2max}$ (80-100 条件)。実験中の泳速度は回流水槽の流速を変化させることで調整し、強度によって泳時間と休息時間を増減させる実験プロトコルを採用した。その結果、全ての対象者の酸素摂取量と心拍数の平均値が 100-80 条件で最も高い値を示した。血中乳酸濃度は 80-100 条件で最も高い値を示され、90-90 条件で最も低い値が示された。以上のことから、競泳でインターバルトレーニングを行う際に、運動強度とその実施順序の違いが有酸素性及び無酸素性の代謝に影響を与える可能性が示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 13, 462-471, 2021 年, 受付日: 2021 年 4 月 24 日, 受理日: 2021 年 7 月 15 日

責任著者: 成田健造 891-2393 鹿屋市白水町 1 番地 kenzo@nifs-k.ac.jp

A case study of the effect of interval swimming training intensity and its sequence on physiological responses

Kenzo Narita¹⁾, Tomomi Fujimoto²⁾, Yasuo Sengoku³⁾

¹⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²⁾ Niigata University of Health and Welfare

³⁾ Tsukuba University

Key words: swimming, oxygen uptake, heart rate,
blood lactate concentration, high intensity

[Abstract]

The purpose of this study was to examine the effect of exercise intensity and its sequence on physiological responses during interval swimming training and to suggest practical interval training methods for swimmers and coaches. Four male college swimmers participated and swam front crawl swimming in a swimming flume. For each swimmer, the maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) measurements were conducted prior to the experiment, and three swimming speeds were obtained, which were 100% ($v100\%\dot{V}O_{2\max}$), 90% ($v90\%\dot{V}O_{2\max}$), and 80% ($v80\%\dot{V}O_{2\max}$) of the swimming speed at which $\dot{V}O_{2\max}$ was observed. By combining those three swimming speeds, the following three conditions were established: a) $v90\%\dot{V}O_{2\max}$ followed by $v90\%\dot{V}O_{2\max}$ (90-90 trial), b) $v100\%\dot{V}O_{2\max}$ followed by $v80\%\dot{V}O_{2\max}$ (100-80 trial), and c) $v80\%\dot{V}O_{2\max}$ followed by $100\%\dot{V}O_{2\max}$ (80-100 trial). The swimming speed was controlled by changing the flow speed in the flume, and the exercise duration and rest interval were adjusted depending on the combination of the intensities. For all swimmers, the highest averaged oxygen uptake and heart rate were observed in 100-80 trial. The swimmers' blood lactate concentration was highest in 80-100 trial and lowest in 90-90 trial. These results suggested that differences in exercise intensity and its sequence during interval swimming training could affect aerobic and anaerobic metabolism.

1. 背景

競泳競技は 50 m から 1500 m までの距離が公式大会で採用され、その時間は 20 秒から 15 分程度と幅広く、その距離・時間に応じて必要とされるエネルギー供給機構は異なる。荻田ほか (1998) によると、200 m 種目での有酸素性と無酸素性の貢献度が 6:4、100 m 種目で 5:5 と報告され、競泳競技では短距離種目と分類される 100 m 種目でも無酸素性に加えて有酸素性のエネルギー代謝能力が必要とされる。競泳競技のトレーニングに関する指導書 (Maglischo 2003; 日本水泳連盟 2014) において、選手の専門距離に応じた代謝能力を鍛えることが重要であると指摘されていることから、「どのようなトレーニングを行うと、有酸素性/無酸素性の代謝応答にどのような影響を与えるか」について調査することは、特異性の原理に準じたトレーニングプログラムを作成する上での重要な課題といえる。

競泳競技の水中トレーニングでは、1つのレーンに泳力や専門種目が異なる複数名の選手が入ってトレーニングを行うという特性上、インターバルトレーニングが広く用いられている。また、トレーニング目的に合わせて 1 回当たりの距離やその回数、運動時間と休息时间を含む 1 回あたりの時間 (サイクルタイム)、運動強度などが設定されるが、距離やサイクルタイムが同一でも選手の泳ぐ速さによって運動時間と休息时间が異なることも水泳のインターバルトレーニングの特徴といえる。インターバルトレーニングは、休まずに続けて泳ぐ連続泳と比べると、血中乳酸濃度が同等であっても高い泳速度に達することできると先行研究で報告されており (Olbrecht et al. 1985)、レースのような高い速度でのトレーニングを可能にする特徴がある。また、スイミングクラブや高校・大学など、複数の団体が 1 つのプールを共有利用する場合には、プールを占有できる時間が限られており、その時間の中でいかに効果的なトレーニングを実施できるかが求められる。そのため、インターバルトレーニングの実施方法の違いによる有酸素性及び無酸素性代謝に与える影響を調査することは、時間対効果の高いトレーニングを立案、実施する上で有益である。

競泳競技のトレーニングでは、単一の運動強度を単体で行うことに加え、異なる運動強度、距離のインターバルトレーニングを複数組み合わせさせた「セット」でのトレーニングプログラムも用いられている。Kang et al. (2003) が自転車運動を対象に、高強度運動 ($70\% \dot{V}O_{2peak}$) と低強度運動 ($50\% \dot{V}O_{2peak}$) の実施順序の違いによる生理応答を比較したところ、高強度運動を始めに実施した方が低強度運動時の酸素摂取量と心拍数が高い値を示したことを報告している。この知見を踏まえると、水泳においても高強度運動の実施がそれに続く低強度運動時の生理応答に影響を及ぼすと考えられるが、水泳のインターバルトレーニングでは 1 回あたりに泳ぐ距離が決まっているため、速く泳ぐ (強度を高める) ほど運動時間は短くなる。また、複数人が同一レーンで泳ぐという特性上、1 回あたりのサイクルタイムが決まっているため、速く泳ぐほど運動時間は短くなる一方で休息時間は長くなる。同一時間の運動であれば強度が高い時のエネルギー必要量が多くなるのは自明であるが、強度 (泳ぐ速さ) によって泳者の運動時間と休息时间が異なるといった水泳のインターバルトレーニングの特性が、エネルギー必要量やそれに続く運動時の生理応答にも影響するかもしれない。

そこで本研究では、水泳のインターバルトレーニングにおける運動強度やその異なる運動強度の実施順序の違いが泳者の生理的応答に及ぼす影響について調査し、競泳競技の選手やコーチに対してインターバルトレーニングを行う際の実践的な活用方法を提言することを目的とした。その際、水泳のインターバルトレーニングの特徴を踏まえ、強度によって泳時間と休息时间を増減させる実験プロコ

ルを採用した.

2. 方法

2.1 対象者

対象者は男子大学競泳選手 4 名とし, 各泳者の専門種目や 200 m 自由形ベスト記録(長水路)を含む対象者情報を表 1 に示した. 全ての対象者は, 実験時にも週に 9 回の水中及び陸上でのトレーニングを実施していた. 対象者には事前に実験の目的や方法, 留意点についての説明をした上で, 参加の同意を得た. なお, 本研究は所属機関の研究倫理委員会によって承認を得ている(第 4-32 号).

表 1. 対象者の専門種目・距離, 身体特性及び 200 m 自由形ベスト記録(長水路).
専門種目の Fr は自由形, Bu はバタフライ, IM は個人メドレーを表す.

泳者	専門種目		身長 (m)	体重 (kg)	200m 自由形ベスト記録 (分'秒")
	種目	距離			
A	Fr	中・長距離	1.74	79	1'52"20
B	Bu, IM	短・中距離	1.69	70	1'53"19
C	Fr	短距離	1.77	71	1'55"42
D	Fr	長距離	1.77	69	1'55"97

2.2 実験手順

実験は全て実験用回流水槽(五十嵐工業, 水温 28 ° C)にて実施し, 泳法はクロール泳とした. 初めに, 各対象者の最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)を野村ほか(1981)による漸増負荷法を参考にして計測した. なお, $\dot{V}O_2\max$ 計測時の流速は, 各対象者の長水路での 200 m 自由形ベスト記録を参考にして設定した. そして, その漸増負荷試験時に $\dot{V}O_2\max$ が出現した際の流速(泳速度)を 100% ($v100\%\dot{V}O_2\max$)とした時の 90% ($v90\%\dot{V}O_2\max$)と 80%の流速($v80\%\dot{V}O_2\max$)をそれぞれ算出した. $\dot{V}O_2\max$ 測定における各泳者の $\dot{V}O_2\max$ と, $v100\%\dot{V}O_2\max$ 及びその速度が 200 m 自由形ベスト記録の平均泳速度の何%にあたるかを表 2 に示した.

表 2. 最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)測定における $\dot{V}O_2\max$ と, その時の泳速度(流速)及び長水路での 200 m 自由形自己最高記録の平均泳速度に対する割合

泳者	最大酸素摂取量		最大酸素摂取量出現速度	
	(L/min)	(ml/kg/min)	(m/s)	(%)
A	4.78	60.5	1.43	80
B	5.12	72.2	1.50	85
C	5.08	71.5	1.39	80
D	4.85	70.3	1.47	85

水泳のインターバルトレーニングでは 1 回あたりの距離やサイクルタイムが定められているが, 泳者が速く泳ぐほど泳者の泳ぐ時間が短縮し, 休息時間は延長する. 本実験においてもその状況を考慮し,

サイクルタイムは同一であっても、異なる3つの流速間での運動時間と休息時間を以下の通り設定した。

- ・ $v100\% \dot{V}O_{2max}$: 40秒運動し、40秒休息する。
- ・ $v90\% \dot{V}O_{2max}$: 50秒運動し、30秒休息する。
- ・ $v80\% \dot{V}O_{2max}$: 60秒運動し、20秒休息する。

回流水槽では流速を急激に上げたり下げたりすることができないため、泳者は流速が維持された水槽内で休息する必要がある。そのため、休息時間となり次第、回流水槽の前方(上流側)から浮き輪を投げ、泳者はそれを掴んで水平姿勢のまま休息するようにし、休息時間が終わり次第、浮き輪を離して運動を再開した。これを1セットあたり6回繰り返し、セット間で1分の休憩を挟み、計2セット実施した(実験手順の概要を図1に示す)。その2セットの組み合わせは以下の3条件とした。

- ① 1セット目及び2セット目の両方を $v90\% \dot{V}O_{2max}$ で実施(90-90条件)
- ② 1セット目を $v100\% \dot{V}O_{2max}$, 2セット目を $v80\% \dot{V}O_{2max}$ で実施(100-80条件)
- ③ 1セット目を $v80\% \dot{V}O_{2max}$, 2セット目を $v100\% \dot{V}O_{2max}$ で実施(80-100条件)

各条件間には2日以上の間隔を空け、対象者毎に各条件の順番はカウンターバランスをとった。実験を行う前には、 $\dot{V}O_{2max}$ 出現速度の60%の流速で2分間のウォーミングアップを実施し、3分間の休息を挟んだ後に試技を開始した。

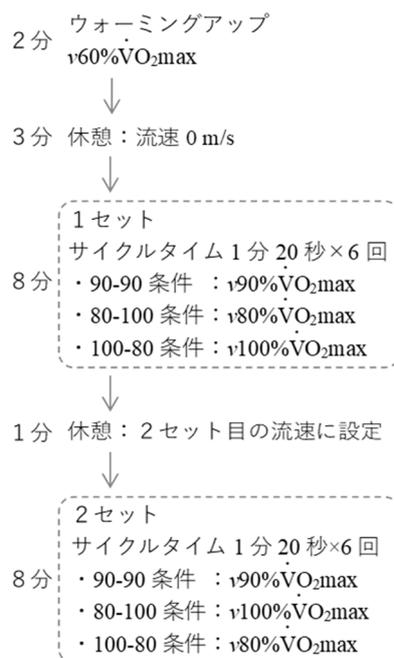


図1. 実験プロトコル

2.3 測定及び分析方法

生理応答の評価指標として、酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度を計測した。酸素摂取量は水泳用に開発された呼吸代謝装置(MetaSwim, Cortex)を用い、泳者が装着した専用のスノーケルを介して breath-by-breath 法により計測した(Lomax et al. 2019)。なお、鼻腔から空気が漏れないように鼻栓を装着し、休息中も含め呼吸は全てスノーケルを介しておこなった。心拍数を計測するために HR モニター(RCX5, Polar)を用い、泳者の胸部に心拍センサーを装着した。水流によって胸部の心拍センサーが外れたりずれたりすることを防ぐために、心拍センサーの上から水泳用のベストを着用した。血中

乳酸濃度の計測には簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro 1, Arkray)を用いた。

酸素摂取量計測用スノーケルと HR モニターを装着した状態で泳者は 3 分間の安静姿勢を維持した後、回流水槽に入水してウォーミングアップ及び計測をおこなった。分析には、1 セット目を開始してから 2 セット目が終了した 1 分後までの期間で計測された酸素摂取量と心拍数を用いた。血中乳酸濃度は 2 セット目が終了した 1 分後に計測したものを採用した。さらに、泳者の自覚的運動強度 (RPE) はボルグスケール (Borg et al. 1987) を用いて、各セット終了後に泳者から聞き取った。

3. 結果

各条件・各泳者における、1 セット目開始から 2 セット目終了 1 分後までの酸素摂取量と心拍数の平均値を表 3 に示した。酸素摂取量と心拍数について、すべての泳者で 100-80 条件が最も高い値を示した。血中乳酸濃度について、すべての泳者で最も高い値を示したのが 2 セット目に $v100\% \dot{V}O_{2max}$ を実施した 80-100 条件で、最も低い値を示したのが 90-90 条件であった。

表 3. 結果一覧。酸素摂取量, 心拍数は 1 セット目開始から 2 セット目終了 1 分後までの平均値を示し, 血中乳酸濃度は 2 セット目終了 1 分後に計測された値を示している。

泳者	酸素摂取量 (ml/kg/min)			心拍数 (bpm)			血中乳酸濃度 (mmol/l)		
	90-90	100-80	80-100	90-90	100-80	80-100	90-90	100-80	80-100
A	43.0	43.5	41.0	125	127	126	1.8	2.0	4.3
B	46.1	46.9	44.7	141	144	139	2.4	2.7	10.0
C	38.2	42.7	38.9	126	140	135	2.6	2.9	7.1
D	42.0	44.4	41.2	124	131	125	0.8	1.3	1.9
平均値	42.3	44.4	41.4	129	135	131	1.9	2.2	5.8
標準偏差	2.8	1.6	2.1	7	7	6	0.7	0.6	3.0

100-80 条件と 80-100 条件における 1 セット目と 2 セット目それぞれの酸素摂取量, 心拍数, RPE の結果を表 4 に示した。 $v80\% \dot{V}O_{2max}$ での酸素摂取量と心拍数について、すべての泳者が $v80\% \dot{V}O_{2max}$ を 2 セット目に実施した 100-80 条件で高い値を示していた。主観的運動強度 (RPE) について、4 名中 3 名で 100-80 条件での $v80\% \dot{V}O_{2max}$ が低い値を示し、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ は各条件で一様ではなかった。

表 4. 100-80 条件と 80-100 条件における 1 セット目と 2 セット目の酸素摂取量, 心拍数, RPE の結果

泳者	酸素摂取量 (ml/kg/min)				心拍数 (bpm)				RPE			
	100-80		80-100		100-80		80-100		100-80		80-100	
	100	80	80	100	100	80	80	100	100	80	80	100
A	51.3	39.7	34.1	51.9	139	120	117	139	16	12	14	17
B	54.7	43.2	38.5	54.4	159	133	124	162	18	12	10	17
C	51.5	38.4	32.4	48.9	155	129	114	159	20	11	13	18
D	51.9	41.0	34.9	51.5	144	124	110	148	16	12	13	16
平均値	52.4	40.6	35.0	51.7	149	127	116	152	17.5	11.8	12.5	17.0
標準偏差	1.4	1.8	2.2	2.0	8	5	5	9	1.7	0.4	1.5	0.7

4. 考察

1 セット目開始から 2 セット目終了 1 分後までの酸素摂取量と心拍数の平均値は、すべての対象者で 100-80 条件が最も高い値を示した。また、 $v80\% \dot{V}O_{2max}$ と $v100\% \dot{V}O_{2max}$ の実施順序が異なる 80-100 条件と 100-80 条件に関して、100-80 条件での $v80\% \dot{V}O_{2max}$ 時の酸素摂取量と心拍数が全ての対象者で高い値を示した。このことから、100-80 条件では、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ の後に実施された $v80\% \dot{V}O_{2max}$ 時に動員された有酸素性代謝が高かったと推察される。図 2 には対象者 A の分析期間 (1 セット目開始から、2 セット目終了 1 分後まで) を通した酸素摂取量の経時変化を示しているが、100-80 条件では 1 セット目と 2 セット目間の休息時間の酸素摂取量が他の 2 条件よりも高い値を示していた。このことを踏まえると、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ 時の酸素負債が $v80\% \dot{V}O_{2max}$ で泳ぐ際や休息時に賄われたため、100-80 条件の $v80\% \dot{V}O_{2max}$ 時の酸素摂取量が高くなったと推察される。一方で RPE に着目すると、100-80 条件での $v80\% \dot{V}O_{2max}$ 時の RPE が 4 名中 3 名で小さい値を示していた。そのため、1 セット目に $v100\% \dot{V}O_{2max}$ を実施した場合、それに続く $v80\% \dot{V}O_{2max}$ での酸素摂取量を増加するものの、それに伴って RPE が増加するわけではないことが示唆された。Kang et al. (2003) も同様に、高強度運動後の低強度運動時の酸素摂取量と心拍数は高くなるものの、RPE は同程度であったと報告している。これらのことを踏まえると、高強度運動をした後に相対的に低い強度で運動することによって、RPE は抑えつつも、有酸素性代謝を活発に働かせることができると推察される。

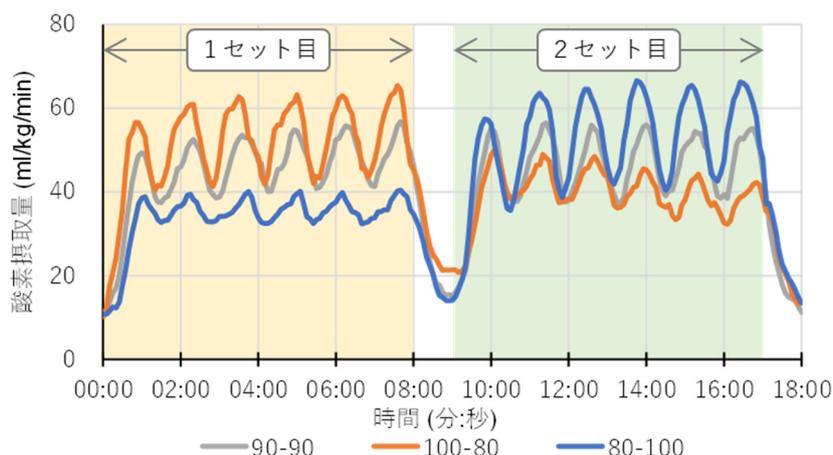


図 2. 泳者 A の分析期間 (1 セット目開始から、2 セット目終了 1 分後まで) を通した酸素摂取量の経時変化

本研究では、サイクルタイムが設定される競泳競技のインターバルトレーニングを想定し、運動強度 (流速) 間でのサイクルタイムを 1 分 20 秒と固定としつつも、運動強度が高くなるほど運動時間を短く、休息時間を長くした。その結果、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ では運動時間が短いとしても、1 セットを通した酸素摂取量と心拍数の平均値が高い値を示した。さらに血中乳酸濃度に着目すると、80-100 条件終了時の血中乳酸濃度が他の 2 条件よりも高い値を示した。これは、2 セット目の $v100\% \dot{V}O_{2max}$ 時に解糖系を使うような高い負荷がかかり、その代謝産物として多くの乳酸が生成されたためと考えられる。また、本実験では、流速設定の関係で 1 セット目の直後に血中乳酸濃度を計測できなかったが、100-80 条件では $v100\% \dot{V}O_{2max}$ での運動が 1 セット目に終了していたにもかかわらず、90-90 条件と比較して 2 セット目終了時の血中乳酸濃度がわずかに高い値を示した。このことから、本実験設定においては、

$v100\% \dot{V}O_{2max}$ 試技時には解糖系を用いていたものの、 $v90\% \dot{V}O_{2max}$ では解糖系を多く動員せず有酸素系の代謝が主となるような運動であったことが示唆された。先行研究や指導書において、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ での運動や無酸素性作業閾値(AT)でのトレーニングの重要性が指摘されている(Billat et al. 1999; Maglischo 2003; Smith et al. 1999; Sousa et al. 2017)。そのため、無酸素性のエネルギー供給が見られなかった $v80/90\% \dot{V}O_{2max}$ の最大下で休息時間を短くして泳ぎ続けるのではなく、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ でのトレーニングを実施することが無酸素性代謝も動員しつつ、有酸素性代謝を高めるうえでも有効であると考えられる。

本研究結果より、インターバル泳中の運動強度の実施順序を変化させることにより、生理的応答が変化する可能性が示唆された。実際のトレーニング現場では、様々な強度を組み合わせたインターバルトレーニングが実施されているため、より多様な強度の組み合わせによる生理的応答についてさらに調査し、そのトレーニング負荷を調査することが今後の課題として考えられる。

5. スポーツ現場への提言

本研究結果を基に、競泳競技に関わるコーチや選手がインターバルトレーニングを行う際の実践的な活用方法を以下に2点提言する。

1つ目が、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ 以上の強度でのトレーニングを含めることが重要ということである。有酸素性及び無酸素性代謝の各能力が求められる競泳競技において、最大酸素摂取量が得られるような泳速度やそれ以上の速度でトレーニングを行うことは、両代謝能力を高める上で重要である。また、水泳は水に囲まれた中での運動であり、泳者の泳ぐ速さによって泳者に働く抵抗力や発揮できる推進力が変化し、求められる泳動作や技術も異なるため、レースに近い高い速度でのトレーニングが技術的な側面からも大切といえる。水泳のインターバルトレーニングでは、プールサイドにペースクロックが設置され、選手はそれを見てスタートし、タッチした時のタイムを確認している。そのため、泳者の $v100\% \dot{V}O_{2max}$ に対応したトレーニングタイムがわかれば、選手はそのタイムを指標にすることで有酸素性及び無酸素性代謝の両方を動員できると考えられる。本研究では実験用回流水槽を用いて酸素摂取量の計測・ $v100\% \dot{V}O_{2max}$ の導出をしたが、そのような設備や機材をすることは汎用性がなく、一般的と言えない。そのため、本研究での $v100\% \dot{V}O_{2max}$ が長水路の200 m 自由形ベスト記録の80-85%泳速度であったこと(表2)を踏まえ、以下の式を提案する。

$$v100\% \dot{V}O_{2max} \text{ 時の } 50 \text{ m の泳タイム} = 200 \text{ m ベスト記録(s)} / 3.4$$

この指標を参考にすることで、選手がトレーニングで明確な設定タイムを意識でき、またコーチもその管理を容易にできることで、過負荷の原理や漸進性の原則に則った効果的なトレーニングを実施することに役立つだろう。

次に、限られた時間・環境の中で有酸素性及び無酸素性代謝の両方を効率的に動員させるならば、 $v100\% \dot{V}O_{2max}$ 以上の高強度でのトレーニングを実施してから相対的に低い強度でのトレーニングをする組み合わせを採用することが有効であろう。各泳者に対するトレーニングの相対的な強度が同一であっても、実施するトレーニングの運動強度に強弱をつけ、さらにその強度の実施順序を考慮することによって泳者が得られる効果の異なる可能性が本研究で示唆された。自転車運動を対象とした先行研究では、相対的に高い強度でウォーミングアップを実施すると、それに続く運動時の酸素摂取量の立ち上

がり速度が高いと報告されている (Fujii et al. 2018) . 実際のトレーニングでは本実験試技よりも多くの本数やセット数を実施するが, 事前に $v100\% \dot{V}O_2\max$ 以上の高強度でのトレーニングを実施することは, それに続くトレーニングでの有酸素性及び無酸素性代謝の動員を活性化できると考えられる. さらに, 運動時間の経過に伴い RPE が増加することや (Farrell et al. 1982), 長い距離を泳ぎ続けると泳ぎが崩れ, 肩の障害を誘発することが報告されている (Matthews et al. 2017) ことも踏まえると, $v100\% \dot{V}O_2\max$ でのインターバルトレーニングを実施した後に, ドリルやフォーム練習などで泳ぎを整え, 再度 $v100\% \dot{V}O_2\max$ でのトレーニングを繰り返すことが障害予防という観点でも大切になるだろう. このように, $v100\% \dot{V}O_2\max$ での有酸素性及び無酸素性の代謝に刺激を入れて身体的な能力を向上させつつ, ドリル練習と組み合わせることで技術的な側面も高めることによって, 限られた時間の中でも効率よく競技パフォーマンスの向上を図ることができると期待される.

6. 結論

水泳を対象とした本研究において, $v100\% \dot{V}O_2\max$ でのインターバルトレーニングを最初に実施することでそれに続く $v80\% \dot{V}O_2\max$ での有酸素性代謝を高めることができるため, 100-80 条件での酸素摂取量及び心拍数が対象者全員で高くなることが観察された. また, $v100\% \dot{V}O_2\max$ では運動時間が短く休息時間が長いとしても酸素摂取量や心拍数が高い値を示し, 血中乳酸濃度が高くなることが観察された. 以上のことから, 有酸素性及び無酸素性の代謝を活性化する上で, $v100\% \dot{V}O_2\max$ でのインターバルトレーニングを実施した後に, 相対的に低い強度での技術練習を組み合わせるようなトレーニングプログラムを本研究結果に基づき提案する.

7. 謝辞

本研究は, 文部科学省「ヒューマン・ハイパフォーマンス・プロジェクト」(2014-2018)の一環として実施された. また, 実験に協力いただいた川合紗葉氏に感謝する.

8. 参考文献

- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., and Koralsztein J. P. (1999) Interval training at $\dot{V}O_2\max$: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31(1):156-163.
- Borg, G., Hassmén, P., & Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(6), 679-685.
- Farrell, P. A., Gates, W. K., Maksud, M. G., and Morgan W. P. (1982) Increases in plasma beta-endorphin/beta-lipotropin immunoreactivity after treadmill running in humans. *Journal of Applied Physiology* 52(5):1245-1249.
- Fujii, N., Nishida, Y., Ogawa, T., Tanigawa, S., Nishiyasu, T. (2018) Effects of work-matched moderate-and high-intensity warm-up on power output during 2-min supramaximal cycling. *Biology of sport* 35(3):223-228.

- ・ Kang, J., Schweitzer, J. S., and Hoffman, J. R. (2003) Effect of order of exercise intensity upon cardiorespiratory, metabolic, and perceptual responses during exercise of mixed intensity. *European journal of applied physiology* 90(5-6):569-574.
- ・ Lomax, M., Mayger, B., Saynor, Z. L., Vine, C., and Massey, H. C. (2019) Practical considerations for assessing pulmonary gas exchange and ventilation during flume swimming using the MetaSwim metabolic cart. *Journal of Strength and Conditioning Research* 33(7):1941-1953.
- ・ Maglischo, E. W. (2003) *Swimming fastest: Human kinetics*.
- ・ 荻田太, 小野寺丈晴, 若吉浩二 (1998) 超最大強度におけるプル, キック, スイム中の代謝特性. *水泳水中運動科学* (1):13-18.
- ・ Olbrecht, J., Madsen, Ø., Mader, A., Liesen, H., and Hollmann, W. (1985) Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *International Journal of Sports Medicine* 6(02):74-77.
- ・ Smith, T. P., McNaughton, L. R., and Marshall, K. J. (1999) Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on VO₂max and performance in athletes. *Medicine and science in sports and exercise* 31(6):892-896.
- ・ Sousa, A., Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J. and Figueiredo, P. (2017) VO₂ at maximal and supramaximal intensities: Lessons to high-intensity interval training in swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12(7):872-877.
- ・ 日本水泳連盟 (2014) *水泳コーチ教本 第3版*: 大修館書店.
- ・ 野村武男, 黒川隆志, 池上晴夫 (1981) 回流水槽を用いた水泳時における最大酸素摂取量測定法の検討 -固定負荷法と漸増負荷法の比較. *筑波大学体育科学系紀要* (4):p91-98.