

博 士 論 文

インターバル泳のトレーニング負荷に
影響を与える要因

- OBLA をトレーニングの指標とした場合 -

平成 15 年度

下山 好充

筑波大学

目 次

略語の説明

用語の定義

表のタイトル一覧

図のタイトル一覧

I . 序論	・ ・ ・ 1
1 . 研究の背景	・ ・ ・ 1
(1) 水泳における有酸素性トレーニングの位置づけ	
(2) 有酸素性トレーニングとしてのOBLAの位置づけ	
(3) 有酸素性トレーニングとしてのインターバル泳の位置づけ	
(4) インターバル泳に関する研究及びトレーニング現場での現状	
2 . 研究の目的	・ ・ ・ 7
II . 文献研究	・ ・ ・ 10
1 . 水泳における有酸素性トレーニングの重要性	・ ・ ・ 10
(1) 有酸素性トレーニングがおよぼす生理的効果	
(2) 血中乳酸濃度 4mmol/l を指標とした有酸素性トレーニング	
2 . 有酸素性トレーニングとしてのインターバル泳	・ ・ ・ 12
3 . 泳種目の違いがエネルギー効率や生理的応答に及ぼす影響	・ ・ ・ 14
4 . 一定期間のトレーニングとその効果	・ ・ ・ 16
5 . エネルギー供給機構の貢献度	・ ・ ・ 19
6 . 選手の能力のタイプ分けとその特性	・ ・ ・ 22
7 . 運動後の回復過程	・ ・ ・ 23
III . 研究の課題、仮説、限界	・ ・ ・ 25
1 . 研究の課題	・ ・ ・ 25
2 . 研究の仮説	・ ・ ・ 27
3 . 研究の限界	・ ・ ・ 27
IV . インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす 影響 (実験 1)	・ ・ ・ 29
1 . 目的	・ ・ ・ 29
2 . 方法	・ ・ ・ 30
(1) 被検者	
(2) 実験スケジュール	
(3) 実験プロトコール	
(4) 統計処理	

3 . 結果	・ ・ ・ 35
4 . 考察	・ ・ ・ 38
5 . 要約	・ ・ ・ 40
V . 泳種目の違いとインターバル泳におけるトレーニング 負荷との関連性（実験 2）	・ ・ ・ 42
1 . 目的	・ ・ ・ 42
2 . 方法	・ ・ ・ 43
(1) 被検者	
(2) 実験スケジュール	
(3) 実験プロトコル	
(4) 統計処理	
3 . 結果	・ ・ ・ 48
(1) 2 スピードテスト泳	
(2) 専門とする泳種目およびクロールにおけるインターバル泳 後の血中乳酸濃度	
(3) 泳能力のタイプと INT30 と INT10 の血中乳酸濃度の比との関係	
4 . 考察	・ ・ ・ 53
5 . 要約	・ ・ ・ 56
VI . 8 週間の水泳トレーニングがインターバル泳の トレーニング負荷に及ぼす影響（実験 3）	・ ・ ・ 58
1 . 目的	・ ・ ・ 58
2 . 方法	・ ・ ・ 60
(1) 被検者	
(2) 実験スケジュール	
(3) 実験プロトコルおよび測定項目	
(4) 統計処理	
3 . 結果	・ ・ ・ 64
(1) 漸増負荷テスト泳における泳速度と血中乳酸濃度の関係	
(2) インターバルテスト泳後における血中乳酸濃度	
4 . 考察	・ ・ ・ 67
(1) V@OBLA の変化	
(2) Vmax@400 の変化	
(3) インターバル泳におけるトレーニング負荷の変化	
5 . 要約	・ ・ ・ 72

VII．インターバル泳中のエネルギー供給機構の 貢献度（実験４）	・・・ 74
1．目的	・・・ 74
2．方法	・・・ 75
（１）被検者	
（２）実験環境およびウォーミングアップ	
（３）実験プロトコールおよび測定項目	
（４）統計処理	
3．結果	・・・ 81
4．考察	・・・ 86
（１）連続泳とインターバル泳との比較	
（２）休息時間の異なる試技間での比較	
（３）エネルギー供給機構の貢献度と泳能力のタイプとの関連性	
5．要約	・・・ 91
VIII．総合討論	・・・ 93
1．インターバル泳におけるトレーニング負荷を決定する要因	・・・ 93
2．インターバル泳におけるエネルギー供給機構の貢献度	・・・ 95
3．トレーニング現場への応用	・・・ 97
4．今後の課題	・・・ 99
IX．総 括	・・・ 100
1．研究目的	・・・ 100
2．研究課題	・・・ 100
3．研究結果	・・・ 101
X．結 論	・・・ 105
謝辞	・・・ 106
参考文献	・・・ 107

略語の説明

本研究で用いる主な略語は以下の通りである。

INT	: インターバル泳の試技 (interval swimming)
LA	: 血中乳酸濃度 (blood lactate concentration)
LA@INT1	: INT1 試技時の血中乳酸濃度
LA@INT3/LA@INT1	: INT3 試技時の血中乳酸濃度と INT1 試技時の 血中乳酸濃度との比
OBLA	: 血中乳酸濃度 4mmol/l に相当する運動強度 (Onset of Blood Lactate Accumulation)
PCr	: クレアチンリン酸 (phosphocreatine)
$V_{best@100}$: 100 m ベストタイムを泳速度に換算した値
$V_{best@100} / V_{best@200}$: 100 m ベストタイムの泳速度と 200 m ベスト タイムの泳速度との比
$V_{max@400}$: 400 m 全力泳における平均泳速度
$V@OBLA$: 血中乳酸濃度 4mmol/l に相当する泳速度
$\dot{V}O_2$: 酸素摂取量 (oxygen uptake)
$\dot{V}O_{2max}$: 最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake)

用語の定義

(1) インターバル泳

水泳のトレーニングにおいて、もっとも一般的に使用される方法で、運動と休息を繰り返す間欠的な運動形式である。泳速度・泳距離・休息时间・反復回数の4要素を組み合わせ、そのトレーニングの目的に応じて幅広く応用することが可能である。水泳はコースロープで仕切られた限られた環境の中でトレーニングが行なわれるため、このようなインターバル泳はペースクロックを使用し「サイクルタイム」方式を用いて行なわれ、休息时间中は、完全休息の形式を用いている。

(2) サイクルタイム

一般的にインターバル泳は、ペースクロックを利用し、コースごとに5秒あるいは10秒間隔で1人ずつ出発しながら行なわれる。そのため、休息時間を何秒と規定するのではなく、運動時間と休息時間を併せたサイクルタイムを設定している。たとえば、100 mを10回のインターバル泳を行なう際、運動時間を約1分15秒、休息時間を約15秒で設定する場合、1分30秒サイクルということになる。この場合、もし、1分12秒で泳いできた場合は18秒の休息となる。なお、サイクルタイムは競技レベルやトレーニングの目的に応じて、5秒ごとに設定される。コースロープで仕切られた環境のため、基本的に同じサイクルタイムの選手が同じコースに入って実施される。

(3) 泳能力のタイプ

その選手がスプリントタイプか持久タイプかといった泳能力のタイプを数値

化して表すために、100 mベストタイムを泳速度に換算した値と200 mベストタイムを泳速度に換算した値の比 ($V_{\text{best}@100} / V_{\text{best}@200}$) を求めた。なお、この値が高いほど相対的に100 mが得意で、低いほど相対的に200 mが得意ということを示す。なお、100 mと200 mの距離を選択した理由は、どの泳種目においてもこれらのレース距離が存在するためである。

表のタイトル

Table 1. Scale to adjust the velocity of blood lactate 4mmol/l to classical interval sets with 10 and 30 seconds rest.

Table 2. The physical characteristics of the subjects.

Table 3. The physical characteristics of the subjects.

Table 4. $V@OBLA$, $V_{max}@300$, blood lactate at $V_{max}@300$ and the proportion of $V@OBLA$ to $V_{max}@300$ in the two-speed test.

Table 5. The physical characteristics of the subjects.

Table 6. The physical characteristics of the subjects.

Table 7. Correlation between relative anaerobic contribution during INT30 and variables.

図のタイトル

Fig. 1 The category of swim training.

Fig. 2 Yearly plan for a typical training season in competitive swimming.

Fig. 3 Method for calculating the accumulated oxygen deficit during supramaximal exercise.

Fig. 4 Method for calculating the $V@OBLA$.

Fig. 5 Experimental design for interval swimming test which consisted of $16 \times 100\text{m}$ at $V@OBLA$ with 3 different rest periods.

Fig. 6 Comparisons in blood lactate concentration between 3 different rest periods.

Fig. 7 Relationship between $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ and $LA@INT3/LA@INT1$.

Fig. 8 Method for calculating the $V@OBLA$ from the two speed test.

Fig. 9 Experimental design for interval swimming test which consisted of $10 \times 100\text{m}$ at $V@OBLA$ with 3 different rest periods using major swimming style and crawl stroke.

Fig. 10 Comparisons in blood lactate concentration between INT10, INT20 and INT30 in breast group.

Fig. 11 Comparisons in blood lactate concentration between INT10, INT20 and INT30 in butterfly group.

Fig. 12 Relationship between $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ and $LA@INT30/LA@INT10$.

Fig. 13 Experimental schema of the present study.

Fig. 14 Relationship between swimming velocity and blood lactate in 4 × 400 m progressive test at pre- and post-test.

Fig. 15 Changes in $V_{\max@400}$ and $V@OBLA$ between pre- and post-test.

Fig. 16 Changes in blood lactate during the 8 × 200m interval swimming test between pre- and post-test.

Fig. 17 Swimming flume used in the present study.

Fig. 18 Method for calculating the accumulated oxygen uptake and accumulated oxygen deficit.

Fig. 19 Comparisons in blood lactate concentration between CON, INT20 and INT30.

Fig. 20 Comparisons in accumulated oxygen uptake between CON, INT20 and INT30.

Fig. 21 Comparisons in accumulated oxygen deficit between CON, INT20 and INT30.

Fig. 22 Comparisons in relative aerobic and anaerobic energy system contributions between CON, INT20 and INT30.

Fig. 23 Relationship between $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ and anaerobic energy system contribution during INT30.

本論文は、以下に示した投稿論文に、未発表の実験結果を加えてまとめられたものである。

1. Shimoyama Y and Nomura T : Role of rest interval during interval training at OBLA speed. In: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP (eds) Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. Gummerus Printing, Jyvaskyla, 459-464, 1999.
2. Shimoyama Y, Mankyu H, Ohba M, Yoshimi J and Nomura T : Changes in interval swimming performance, OBLA speed and 400m swimming performance after eight week swim training. Journal of Training Science 13 (1) : 149-156, 2002.
3. Shimoyama Y, Tomikawa M and Nomura T : The effect of rest periods on energy system contribution during interval swimming. European Journal of Sports Science 3 (1) : 1-11, 2003.

Ⅰ．序論

1．研究の背景

(1) 水泳における有酸素性トレーニングの位置づけ

水泳のトレーニングは、Maglischo (1993) によって図 1 に示したように目的や強度に応じ、有酸素能力改善を主な目的とした有酸素性トレーニングと無酸素能力やスプリント能力改善を主な目的とした無酸素性トレーニングに大別され、さらに詳細なカテゴリー分けがされている。End-1 は基礎有酸素性トレーニングと定義され、乳酸閾値 (LT) や換気閾値 (VT) が出現するような比較的低い強度で、心臓の一回拍出量の増大や毛細血管密度の増大などを目的として行われている。End-2 は閾値有酸素性トレーニングで、血中の乳酸の出現と除去が平衡している最大の強度 (最大乳酸定常状態) 付近で、おおよそ血中乳酸濃度 4 mmol/L に相当する泳速度 ($V@OBLA$) に近似していると言われており、オーバーストレスなしに可能なかぎり速い泳速度で有酸素能力を改善させることを目的として行われている。そして、End-3 は過負荷有酸素性トレーニングと定義されており、最大酸素摂取量が出現するような強度で、最大酸素摂取能力を高めることを目的として行われている。また、Spr-1 は耐乳酸トレーニングと定義され、アシドーシスが起きるような高強度で行われ、乳酸の緩衝能力やアシドーシスによる痛みの耐性を改善させることを目的としており、Spr-2 は乳酸生成トレーニングで、無酸素代謝やスプリント能力の改善を目的として、そして、Spr-3 はパワートレーニングで、神経系に刺激を与え、泳動作中の筋パワーを改善させることを目的に行なわれている。これらのトレーニングカテゴリー分類は世界的にも広く一般的に用いられ、これらのカテゴリー

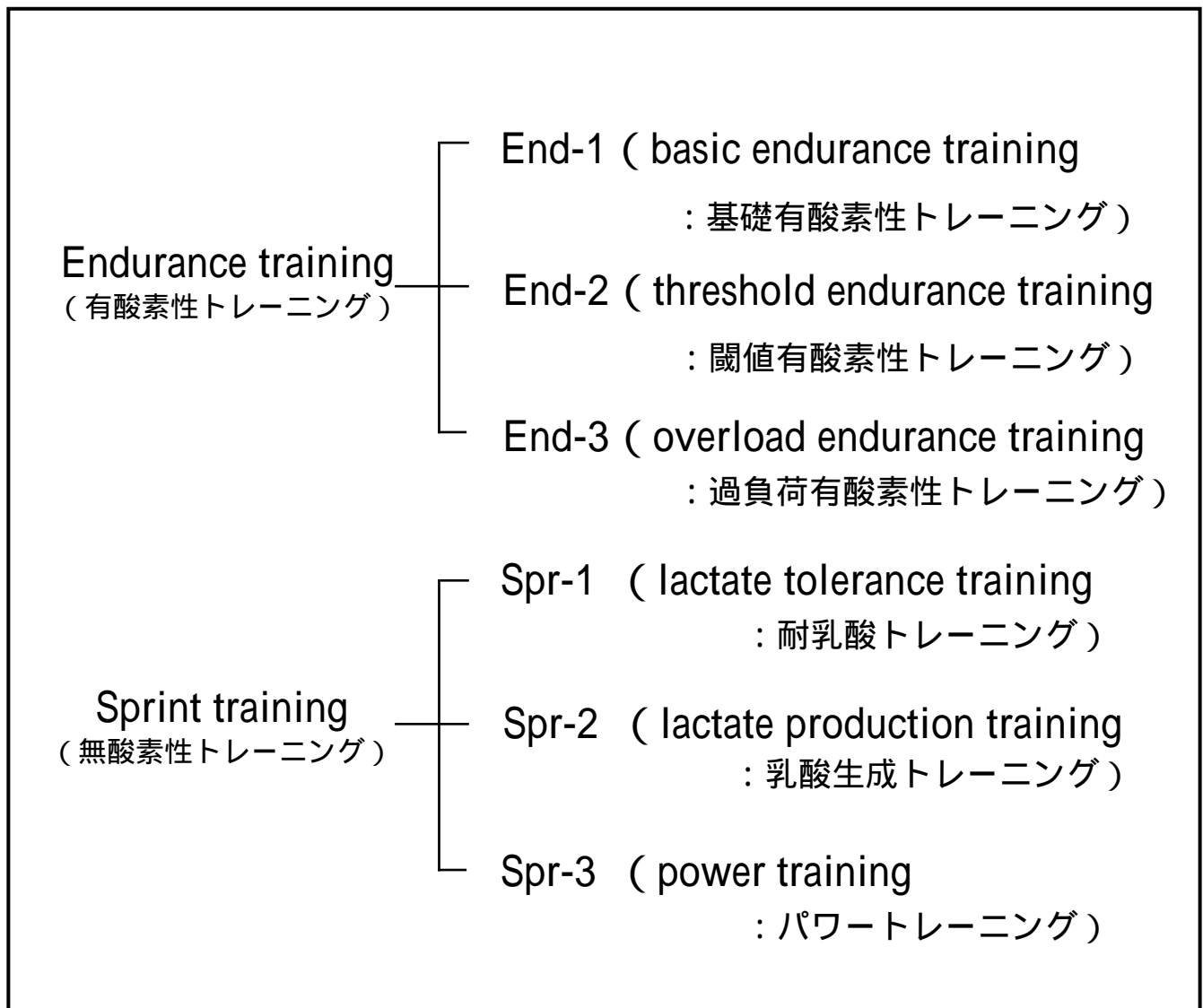


Fig. 1 The category of swim training
(Maglischo, 1993をもとに作成)

をもとに、水泳競技では図 2（野村と下山，2002）に示すような年間のトレーニング計画が立案されている。そして、主要な競技会において最高のパフォーマンスを引き出すため、シーズン初期から中期にかけて有酸素性トレーニングが中心に行なわれ、シーズン後期にかけて徐々に無酸素性トレーニングの割合を増加させていくべきであると言われている（Maglischo, 2003）。

また、過去の研究によって、比較的低い強度で有酸素性トレーニングを行うことにより有酸素能力が改善され、同一相対強度における無酸素代謝の割合が減少し、その結果、アシドーシスを遅らせることができると示されている（Hurley et al., 1984 ; Bonen et al., 1998 ; Bergman et al., 1999）。したがって、有酸素性トレーニングを十分に行ない有酸素能力が改善した選手は、レース中盤により速いペースを維持することが可能になると考えられ、有酸素性トレーニングは水泳競技の 100 m 以上の全てのレースのパフォーマンスを向上させるために非常に重要な要因の一つであることが認められている（Maglischo, 1993 ; Robson and Howat, 1992）。事実、男子 50 m 自由形現世界記録保持者（2003 年 4 月現在）で、100 m 自由形元世界記録保持者である Alexander Popov 選手のコーチ Touretski は有酸素能力を改善させるようなトレーニングは 50 m や 100 m を専門とする短距離選手にとっても非常に重要で、Popov 選手の通常のトレーニングの約 80% は有酸素性トレーニングが占めていると報告している（Touretski, 1993）。このようなことから、水泳競技では、特に年間シーズンの初期段階において多くの部分を有酸素性トレーニングによってまかなっている。

（２）有酸素性トレーニングとしての OBLA の位置づけ

水泳において、簡便に有酸素能力を把握するため血中乳酸濃度を指標とした

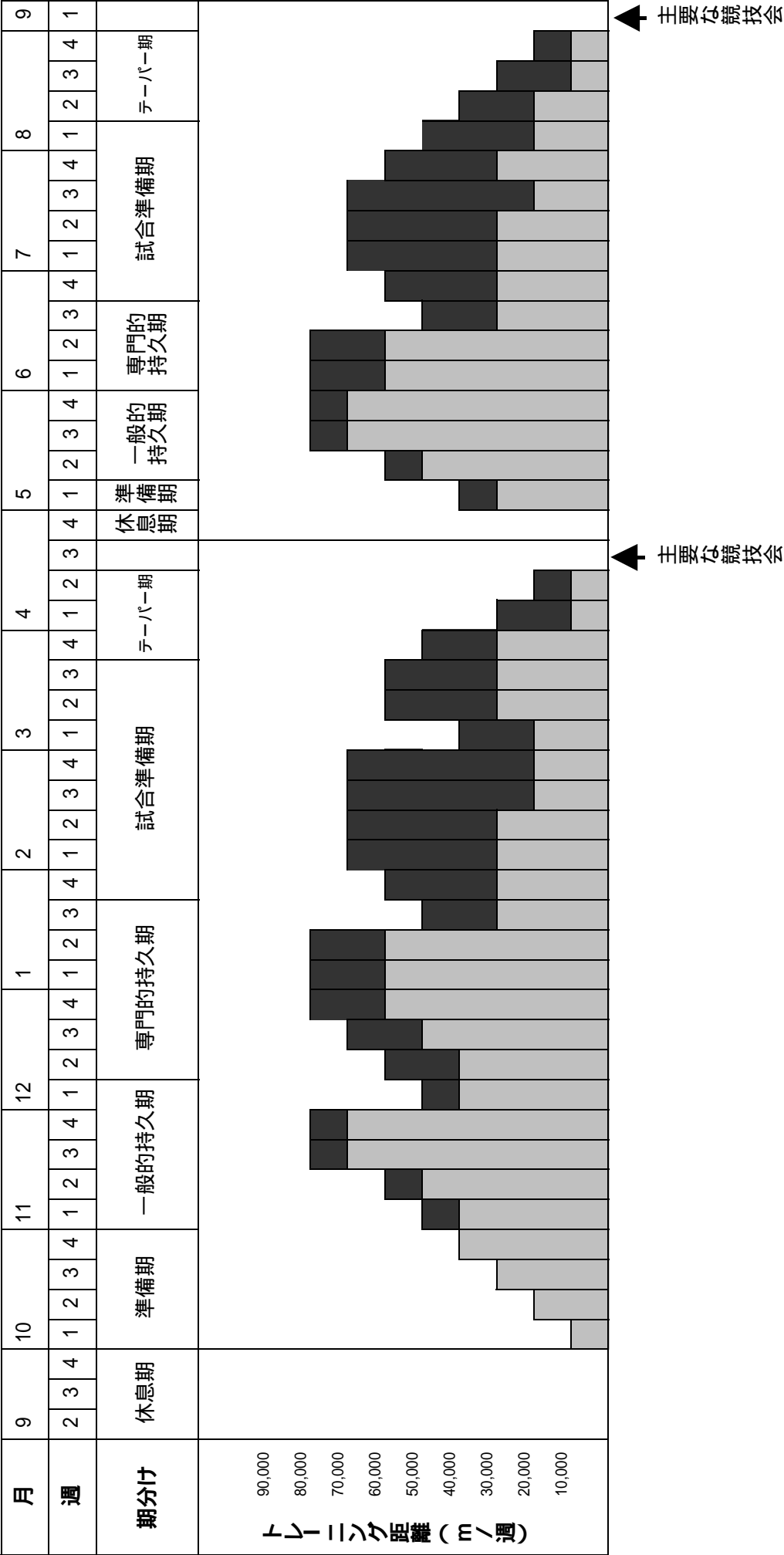


Fig.2 Yearly plan for a typical training season in competitive swimming (野村と下山, 2002)

有酸素性トレーニングが 1960 年代頃から取り入れられてきた。そして、Kindermann et al. (1979) によって血中乳酸濃度 4 mmol/L に相当する運動強度付近のトレーニング負荷がスポーツ選手にとって有酸素能力を改善させるのに効果的であるという報告がなされ、Jacobs et al. (1981) らによってその運動強度が OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) と定義された。また、前述したように End-2 の閾値有酸素性トレーニングは、V@OBLA 付近で行なうことによりオーバーストレスなく最も速い泳速度で有酸素能力を改善させると言われている (Maglischo et al., 1982 ; Skinner, 1987)。さらに、過去の研究によって V@OBLA は 30 分間全力泳の平均泳速度と非常に近似しており (Olbrecht et al., 1985)、最大乳酸定常状態 (Beneke and Duvillard, 1996) に近いということが示唆されている。これらのことから、水泳のトレーニング現場において V@OBLA は、有酸素能力や有酸素性トレーニングを管理する上で価値ある情報とされており、End-2 の閾値有酸素性トレーニングスピードを設定する一つの基準として用いられている (Madsen and Lohberg, 1987)。そのため、V@OBLA を測定するための血中乳酸濃度を用いた評価テストや、V@OBLA を指標とした有酸素性トレーニングが盛んに行なわれている (Hannula and Thornton, 2001 ; Maglischo, 1993)。

(3) 有酸素性トレーニングとしてのインターバル泳の位置づけ

上述した有酸素性トレーニングのカテゴリーの中で、End-1 や End-2 は最大酸素摂取量が出現しないような最大下強度であるため、比較的長時間連続的に運動し続けることが可能な泳速度である。しかし、水泳におけるこのような低強度の有酸素性トレーニングは一般的にサイクルタイムを用いたインターバル泳形式によって行われている。Counsilman (1977) は、インターバル泳は

運動と休息を繰り返す間欠的な運動形式で、「泳速度」、「泳距離」、「休息時間」、「反復回数」の4つの要素を組み合わせることでトレーニング負荷の調節が可能になるため、あらゆる目的のトレーニングとして活用することができるとしている。また、Olbrecht et al. (1985) は、30 分間全力泳の平均泳速度と、24 × 100 m で 10 秒あるいは 30 秒の休息を挟んだインターバル泳の平均泳速度を比較した場合、運動終了後の血中乳酸濃度には有意な差がなかったにも関わらず、インターバル泳の 10 秒休息で約 4%、30 秒休息で約 7% ほど 30 分間全力泳よりも有意に高い泳速度を示したことを報告している。この結果から、インターバル泳は連続泳よりも同一のトレーニング負荷においてより高い泳速度でトレーニングでき、さらに、連続泳では疲労困憊に至るような泳速度であっても、短い休息を挟むことによってより多くの時間、より多くの距離のトレーニングができると考えられる。また、水泳運動は推進するために下半身（脚）よりも上半身（腕）を多く使用し、全ての動作が非日常的であるため、できる限り長時間のトレーニングが必要とされている。したがって、このような最大下強度の有酸素性トレーニングがインターバル泳形式を用いて長年行われているものと考えられる。さらに、プールはコースロープに仕切られた環境のため他の選手を追い越すときに接触しやすいこと、あるいはインターバル泳は低強度から高強度まで幅広いカテゴリーのトレーニングとして体系化しやすいこと（Maglischo, 1993）、また、水泳運動の場合、陸上運動と異なり、運動中常に顔が水につかっており運動中は外からの情報が全く耳に入らないため、休息時間を入れることによりトレーニング中にコーチからの情報を得ることができること（Maglischo, 2003）も有酸素性トレーニングのほとんどがインターバル泳によって行なわれている理由の一つとして考えられる。

（４）インターバル泳に関する研究及びトレーニング現場での現状

有酸素性トレーニングにおけるインターバル泳に関し、泳速度や休息時間がトレーニング負荷にどのような影響を与えるのかについて研究が行われている（Olbrecht et al., 1985 ; Beltz et al., 1988 ; Wakayoshi et al., 1999）。また、End-2 のトレーニングとして V@OBLA をインターバル泳における泳速度の基準とする場合の、泳速度・泳距離・休息時間の組み合わせに関するガイドラインが Madsen and Lohberg（1987）によって示されている（表１）。この表は、同一の泳速度、反復距離、休息時間におけるインターバル泳であっても男女間でそのトレーニング負荷は異なることや反復距離が異なれば同一の休息時間であってもトレーニング負荷が異なること、あるいは同一の反復距離であっても 10 秒と 30 秒という休息時間の違いによってトレーニング負荷が異なることなどを示している。しかし、実際のトレーニング現場では綿密なトレーニング管理のため休息時間は 5 秒刻みで設定がされている。そしてその設定は、現場のコーチの勘や経験に基づいて行われているのが現状である。このようなことから、トレーニング現場に即し、どの程度の休息時間差からトレーニング負荷に影響を及ぼすのか明らかにする必要があると考えられる。また、インターバル泳を用いた有酸素性トレーニングを立案していく上で、泳種目や泳能力のタイプあるいは一定期間のトレーニングの影響などトレーニング負荷に関連すると考えられる他の様々な要因について検討することによって、トレーニングの目的に応じたより詳細なインターバル泳の設定が可能になると考えられる。しかし、このような視点からの研究は見られない。

２．研究の目的

Table 1. Scale to adjust the velocity of blood lactate 4mmol/l to classical interval sets with 10 and 30 seconds rest.

sex	rest period	repeated distance		
		400m	200m	100m 50m
Female	10sec.	100.0%	101.5%	103.0% 110.0%
	30sec.	100.5%	102.5%	106.5% 114.0%
Male	10sec.	99.5%	101.5%	103.0% 108.0%
	30sec.	100.5%	102.5%	108.0% 115.0%

(Madsen and Lohberg, 1987より引用)

本研究では、水泳の有酸素性トレーニングで主に用いられているインターバル泳に焦点をあて、そのトレーニング負荷に影響を与えていると考えられる休息時間の長さや、今までほとんど検討されてこなかった泳種目や個々の泳能力のタイプそして一定期間のトレーニングの影響について、血中乳酸濃度やエネルギー供給機構を指標とし検討することを目的とした。

これらのことを検討することにより、水泳の有酸素性トレーニングに用いられているインターバル泳について、詳細な休息時間の設定の重要性および、個人の特徴やトレーニングの進行状況などに応じた合理的で効果的なトレーニング法や評価方法を確立することが可能になると考えられる。また、これらの情報はインターバル泳をデザインするうえで一つの重要な視点になり、コーチや選手により詳細で有益な知見を提供してくれるものと考えられる。

II . 文献研究

1 . 水泳における有酸素性トレーニングの重要性

水泳競技において有酸素能力を改善させることがパフォーマンスを向上させるために非常に重要な要因の一つであることが一般的に認められている (Robson and Howat, 1992) 。そのため、特に年間シーズンの初期段階において、トレーニング効果を最大限に引き出すためにトレーニングの多くの部分が有酸素能力を改善させるような有酸素性トレーニングによって行われている。

(1) 有酸素性トレーニングがおよぼす生理的效果

有酸素性トレーニングとは長時間で比較的強度の低いトレーニングで、このようなトレーニングがもたらす効果に関する研究は数多く行われている。

心臓血管系に対する効果について、有酸素性トレーニングによって、心臓の分時拍出量および一回拍出量が増加し (Wolfe et al., 1992) 、活動筋への血流量が増加し (Silber et al., 1991) 、また、筋中の毛細血管密度が増加する (Klausen et al., 1981) などの報告がなされている。

一方、有酸素性トレーニングが筋の代謝系に対する効果については、有酸素代謝をコントロールするのに重要な役目を果たしている筋の酸化酵素である SDH が増加し (Gollonick et al., 1973) 、トレーニングで使われた筋中の乳酸生成率が減少する (Favier et al., 1986 ; Jansson et al., 1990) と報告されている。また、近年、有酸素性トレーニングを行なうことによって、乳酸を酸化組織に取り込ませる乳酸輸送担体である MCT1 (monocarboxylate transporter) が増加し、同一相対強度における筋中の乳酸が低下することが

認められている (Bonen et al., 1998)。さらに、Bergman et al. (1999) は、有酸素性トレーニングは筋中の乳酸の酸化能力を向上させることを報告している。

これらの研究報告から有酸素性トレーニングによって有酸素能力を改善させることは、同一相対強度における乳酸蓄積を抑え (Hurley et al., 1984)、無酸素代謝の割合を少なくさせ、アシドーシスを遅らせることができると考えられる。

このような事実から、Maglischo (1993) は有酸素性トレーニングを十分に行なった選手はレースの中盤に、より速いペースを維持することができるため、有酸素性トレーニングは水泳競技の 100 m 以上の全てのレースに出場する選手にとって重要であることを示唆している。

(2) 血中乳酸濃度 4 mmol/L を指標とした有酸素性トレーニング

従来は、有酸素性トレーニングの指標として最大酸素摂取量に対する割合 ($\% \dot{V}O_{2\max}$) や最大心拍数に対する割合 ($\%HR_{\max}$) などが用いられてきたが、血中乳酸濃度 4 mmol/L に相当する運動強度付近のトレーニング負荷がスポーツ選手にとって最適であるという報告が Kindermann et al. (1979) によってなされ、Jacobs et al. (1981) らによってその運動強度が OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) と定義された。また、OBLA は有酸素的持久性種目のパフォーマンスや有酸素能力と非常に相関が高いということで、有酸素能力の 1 つの有効な指標としても用いられている (Heck et al., 1985; Yoshida et al., 1987)。その後、その OBLA を指標としたトレーニング負荷に関する研究が数多くなされ、水泳においても、おおよそ OBLA 付近に相当する泳速度で有酸素性トレーニングを行なうことにより、オーバーストレスな

しで効果的に有酸素能力を改善させると報告されている（Maglischo et al., 1982 ; Skinner, 1987）。また、実際のトレーニング現場においても OBLA を測定するための血中乳酸濃度を用いた評価テストが盛んに行なわれるようになってきている。

さらに、Olbrecht et al.（1985）は水泳において OBLA 付近に相当する泳速度は 30 分間全力泳の平均泳速度と非常に近似しており、30 分間全力泳後の血中乳酸濃度が $4.01 \pm 0.75 \text{ mmol/l}$ であったと報告している。この結果は、OBLA での運動が血中での乳酸の生成と除去がバランスがとれている最大の強度として定義されている最大乳酸定常状態（Beneke and Duvillard, 1996）に近いということを示唆している。

また、水泳における OBLA に相当する泳速度の決定方法には、3 分から 5 分程度つまりおおよそ 300 ～ 500 m 程度の距離における間欠的漸増負荷テストが一般的なテストとして用いられている（Madsen and Lohberg., 1987）。

2．有酸素性トレーニングとしてのインターバル泳

一般的に水泳競技における有酸素性トレーニングは、その多くがインターバル泳形式で行われている。また、コースロープに仕切られた環境に応じ、インターバル泳はペースクロックを用い、5 秒刻みのサイクルタイム方式によって行われてる（Counsilman., 1977）。Counsilman（1977）はインターバル泳について、泳速度、泳距離、休息時間、反復回数と 4 つの要素から成り立っており、トレーニングの目的に応じてそれらの要素を変える必要があることを示している。具体的には、それらの要素について、有酸素能力を高めるような目

的で行なう場合は、反復回数を増やし、休息時間を短くし、低～中強度の泳速度で行なうべきであると報告している。

これまで有酸素性トレーニングとしてのインターバル泳に関するいくつかの報告がなされている。

Olbrecht et al. (1985) はドイツナショナルレベルの男子競泳選手を対象にして、12×200 m および 24×100 m のインターバル泳について、10 秒と 30 秒の休息時間でそれぞれクロールにて行なわせ、全ての本数を一定ペースを保てる最大の泳速度で泳ぐよう指示し、その時の泳速度と試技後の血中乳酸濃度を測定している。その結果、12×200 m インターバル泳における泳速度は漸増負荷テストから求めた OBLA に相当する泳速度よりも 10 秒休息で 2.95%、30 秒休息で 4.22% 高く、24×100 m インターバル泳では、泳速度は OBLA に相当する泳速度よりも 10 秒休息で 4.21%、30 秒休息で 7.24% 高く、インターバル泳後の血中乳酸濃度は全ての試技において、おおよそ 3～4 mmol/L であったことを報告している。

Bartels (1980) は、10×100 m インターバル泳において、1'10" サイクル、1'30" サイクル、1'45" サイクルの 3 種類の休息時間では、サイクルタイムが長くなるほど、泳速度を上げることができることを示しており、それぞれのインターバル泳の目的は、サイクルタイムが長くなるほど有酸素能力改善からスピード能力改善へと変化していくことを示唆している。

Beltz et al. (1988) は大学男子競泳選手を対象にして、20×50yd、10×100yd および 5×200yd インターバル泳（クロール）のそれぞれの試技において、10 秒、60 秒、180 秒の 3 種類の休息時間を指示し、反復距離と休息時間がペース（泳速度）とトレーニング負荷にどのような影響を及ぼすのかを試技後の $\dot{V}O_2$ 、血中乳酸濃度および pH の値から検討した。その結果、これらの休

息時間差によって、トレーニング負荷に大きく影響を及ぼし、100～200ydの反復距離で短い休息時間を挟んだインターバル泳が有酸素能力を高めるための有酸素性トレーニングとして最適であることを報告した。

Madsen and Lohberg (1987) は、今までの経験や先行研究および未発表データから OBLA に相当する泳速度をインターバル泳における泳速度の指標とする場合、泳距離や休息時間の組み合わせによってその泳速度が異なることを示唆しており、それらの組み合わせに関するおよそのガイドラインを示している(表1参照)。

また、Maglischo (1993) は先行研究や自らの競泳コーチの経験を基に、有酸素能力改善を目的とした有酸素性トレーニングは、200 mかそれ以下の反復距離で、10～30 秒の休息時間を挟んだインターバル泳が適していることを主張している。

Wakayoshi et al. (1999) は男子大学競泳選手を対象に、10×100 mインターバル泳(クロール)について、いくつかの泳速度と休息時間との組み合わせで行ない、血中乳酸濃度によって評価し、理論上、疲労困憊に至ることなくインターバル泳を継続できる泳速度と休息時間との関係が存在することを報告している。

上記のように、インターバル泳に関して、泳速度だけでなく、休息時間もトレーニング負荷に影響を与えることが示されているが、実際のトレーニング現場でのインターバル泳における休息時間は5秒刻みで設定が行われており、さらに詳細な検討が必要だと考えられる(問題1)。

3．泳種目の違いがエネルギー効率や生理的応答に及ぼす影響

水泳競技は、自由形（クロール）、平泳ぎ、バタフライ、背泳ぎと 4 つの泳種目が存在している。クロールは上肢および下肢の筋群を左右交互に動かす泳種目であるのに対して、バタフライおよび平泳ぎはクロールと同じ伏臥位姿勢ではあるが、上肢および下肢が常に左右対称の動作をする特徴を持っている。これらの泳種目はそれぞれ泳動作が異なるため、その泳動作に必要とされる主動筋も異なる（Maglischo, 1993）。このような理由から、それぞれの泳種目の特徴を明らかにし、競技力向上のためのそれぞれのトレーニング課題を設定するため、泳種目の違いがエネルギー効率や生理的応答などに及ぼす影響を示した先行研究がいくつか報告されている。

Holmer（1974）は、一流競泳選手を対象として、各泳種目における泳速度と $\dot{V}O_2$ と関係を示し、最もエネルギー効率の良い泳種目はクロールで、次いで背泳ぎ、そして平泳ぎとバタフライとなることを報告した。さらに、平泳ぎ、バタフライは 1 ストローク中に加速および減速の大きい種目であることから、他の 2 種目に比べ、0.8 ~ 1.2m/s の範囲内の同一泳速度におけるエネルギー需要量が約 2 倍であることを示唆した。

松波ら（1995）は大学競泳選手を対象に、その専門とする泳種目において、3 段階の間欠的漸増負荷テスト泳における泳速度と血中乳酸濃度の関係を求めた。その結果、泳種目によって泳速度の増加に伴う血中乳酸濃度の上昇の仕方が異なり、同一血中乳酸濃度における泳速度は、クロール、バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎの順になることを示した。

さらに、Avlonitou（1996）は 18 歳以上の男子 54 名（平均 21.6 歳）、女子 32 名（平均 19.3 歳）の競泳選手を対象に、100 m および 200 m レース後の血中乳酸濃度について泳種目間で比較を行なった。その結果、男女とも平泳

ぎがクロール、背泳ぎ、バタフライに比べ、わずかではあるが有意に低い値を示したことを報告している。

また、北村と鳥海（1996）はジュニアの水泳選手を対象に、 $\dot{V}O_{2max}$ と 50 mパフォーマンスタイムとの関連性について検討した結果、クロール、背泳ぎ、バタフライに関しては、それらの間に有意な相関関係が見られ、平泳ぎについては有意な相関関係が認められなかったことから、平泳ぎのパフォーマンスは他の3泳種目に比べ、体力的要素よりも技術的要素に依存している可能性を示唆している。

このようにそれぞれの泳種目でその生理的応答やエネルギー効率が異なる特徴を持つことが明らかにされている。一方、実際のインターバルトレーニングにおいては専門とする泳種目で行なわれることが多い。しかし、先行研究におけるインターバル泳の試技はそのほとんど全てがクロールで行われており、他の泳種目に関する研究は極めて少なく、検討する必要があるものと考えられる（問題2）。

4．一定期間のトレーニングとその効果

一定期間の水泳トレーニングとその効果に関する研究報告がいくつかなされている。

Wakayoshi et al.（1993）は大学男子競泳選手を対象に、6ヶ月間の有酸素能力改善を目的とした週平均8回の水泳トレーニングによって、OBLAの泳速度が有意に改善され、400 m全力泳のタイムが有意に改善したと報告している。

一方で、Costill et al.（1991）は大学男子競泳選手を対象に、有酸素能力改

善を目的とした水泳トレーニングを行なわせたところ、血中乳酸濃度および心拍数から測定された有酸素能力は最初の 8 週間で大きな改善が見られたものの、その後、トレーニング量を増加させても有酸素能力はほとんど改善されなかったことを報告している。

また、Gullstrand and Holmer (1983) は、スウェーデンナショナルチームの水泳選手を対象に、5 年間のトレーニングによって、競技記録は延び続けたにも関わらず、 $\dot{V}O_{2max}$ は増加しなかったことを報告している。 $\dot{V}O_{2max}$ に関連して、Nomura (1983) は、10 ~ 23 歳までのオリンピック代表選手を含む日本のエリート水泳選手（男子 66 名、女子 46 名）を対象に測定した結果、男子は 16 歳頃まで、女子は 14 歳頃まで加齢に伴って $\dot{V}O_{2max}$ は増加し続けるものの、それ以降はほとんどプラトー状態になることを認めている。

また、近年、Pyne et al. (2001) は、オーストラリアナショナルチームの水泳選手 12 名（1998 年世界ランキング 1 位を 2 名含む）を対象に、1998 年 10 月に行なわれる国際大会に向けた夏季シーズン中の 5 月（シーズン初期）、7 月（シーズン中期）、9 月（シーズン後期）と 3 回にわたり、200 m における 7 段階の間欠的漸増負荷泳を行ない、その泳速度と血中乳酸濃度の関係から、有酸素能力の指標として血中乳酸濃度の変換点における泳速度（ V_{LT} ）、無酸素能力の指標として血中乳酸濃度 5mmol/l と 10mmol/l における泳速度の差（ LT_{5-10} ）を求め、トレーニング効果を評価した。その結果、シーズン初期から中期にかけて V_{LT} 、 LT_{5-10} そして 200 m 最大努力泳のタイムがそれぞれ有意に改善され、さらに、それぞれの指標のシーズン初期から中期にかけての変化率の間に有意な相関関係が認められたことを報告している。

また水泳以外の有酸素性トレーニングによる有酸素能力の変化に関して、最大値で評価する $\dot{V}O_{2max}$ および最大下の値で評価する乳酸性閾値（LT）や

OBLA を用いて数多くの検討がなされてきた。それらによると、非鍛練者（一般健康成人）を対象とした場合、トレーニング前の体力レベルやトレーニング強度および頻度の相違があったとしても、その能力の改善が確実に認められている。Hickson et al. (1977) は、10 週間の有酸素性トレーニングによって $\dot{V}O_{2max}$ が直線的に増加し続けたことを認めており、Hurley et al. (1984) は、12 週間の有酸素性トレーニングにより $\dot{V}O_{2max}$ が 26% 増加し、さらに最大下の同一相対強度（55～85% $\dot{V}O_{2max}$ ）における血中乳酸濃度が有意に低下したことを報告している。

一方、日常的によくトレーニングを行なっている鍛練者および競技者に関する研究も数多く行われている。Sjodin et al. (1982) は、8 人の良くトレーニングされた中長距離走者を対象に、14 週間のトレッドミル走のトレーニングによって OBLA の走速度が有意に改善されたことを示している。また、Potteiger et al. (1993) は、1 名の女子エリートマラソン選手を対象に 16 週間の有酸素性トレーニングを行なった結果、 $\dot{V}O_{2max}$ はわずかしか増加しなかったのに対し、LT における $\dot{V}O_2$ は 16 週間大幅に増加し続け、OBLA における $\dot{V}O_2$ は最初の 8 週間で大幅に増加し、後半の 8 週間は変化しなかったことを事例研究として報告している。

上述したようにトレーニングを進行させていくうえで、パフォーマンスの変化や、有酸素能力の指標となる $\dot{V}O_{2max}$ や LT や OBLA などの変化については十分な研究が行われているが、実際のトレーニングのほとんどはインターバル泳によって行われており、トレーニングによってインターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は変化する可能性が考えられることから、このような検討も意義があるものと考えられる。（問題 3）

5 . エネルギー供給機構の貢献度

運動に必要なエネルギーは有酸素エネルギーおよび無酸素エネルギーによって供給されるが、それぞれのエネルギー供給機構の貢献度や運動時間および運動強度によって異なってくる。有酸素エネルギー供給量は $\dot{V}O_2$ によって測定され、定量化することができるが、一方で無酸素エネルギーはその供給量を直接的に実測することは不可能で、定量化することが非常に困難である（田畑，1994）。そこで、 $\dot{V}O_{2max}$ を越えるような超最大強度の運動における無酸素エネルギー供給量は、運動後の酸素負債量（oxygen debt）の概念を用いて評価されてきた。しかし、Alpert（1965）によって、酸素負債と酸素借（oxygen deficit）が一致しないと報告され、さらに筋中と血中の乳酸濃度の除去量と $\dot{V}O_2$ との変化が必ずしも一致しないことが報告された（Brooks, 1971）。また、酸素負債量と呼ばれている運動後の過剰な $\dot{V}O_2$ は、クレアチンリン酸（PCr）の再合成や乳酸からグリコーゲンへの合成という因子以外に、カテコールアミンの上昇や体温の上昇などによるエネルギー消費における $\dot{V}O_2$ の増加によって影響を受けることが示唆されている（Bahr et al., 1992）。このような理由から酸素負債という概念が疑われ、運動後の過剰な $\dot{V}O_2$ を EPOC（Excess Post-exercise Oxygen Consumption）という概念を 1980 年代ごろから用いることが多くなってきた（Gaesser and Brooks, 1984）。

それに伴い、無酸素エネルギー供給量は酸素負債ではなく、酸素借という概念を用いて評価する試みがなされてきた。これは、超最大強度における酸素需要量を推定し、そこから酸素借を求め、無酸素エネルギー供給量を定量化する方法（図 3）であった（Medbo et al., 1988；Hermansen and Medbo, 1984）。

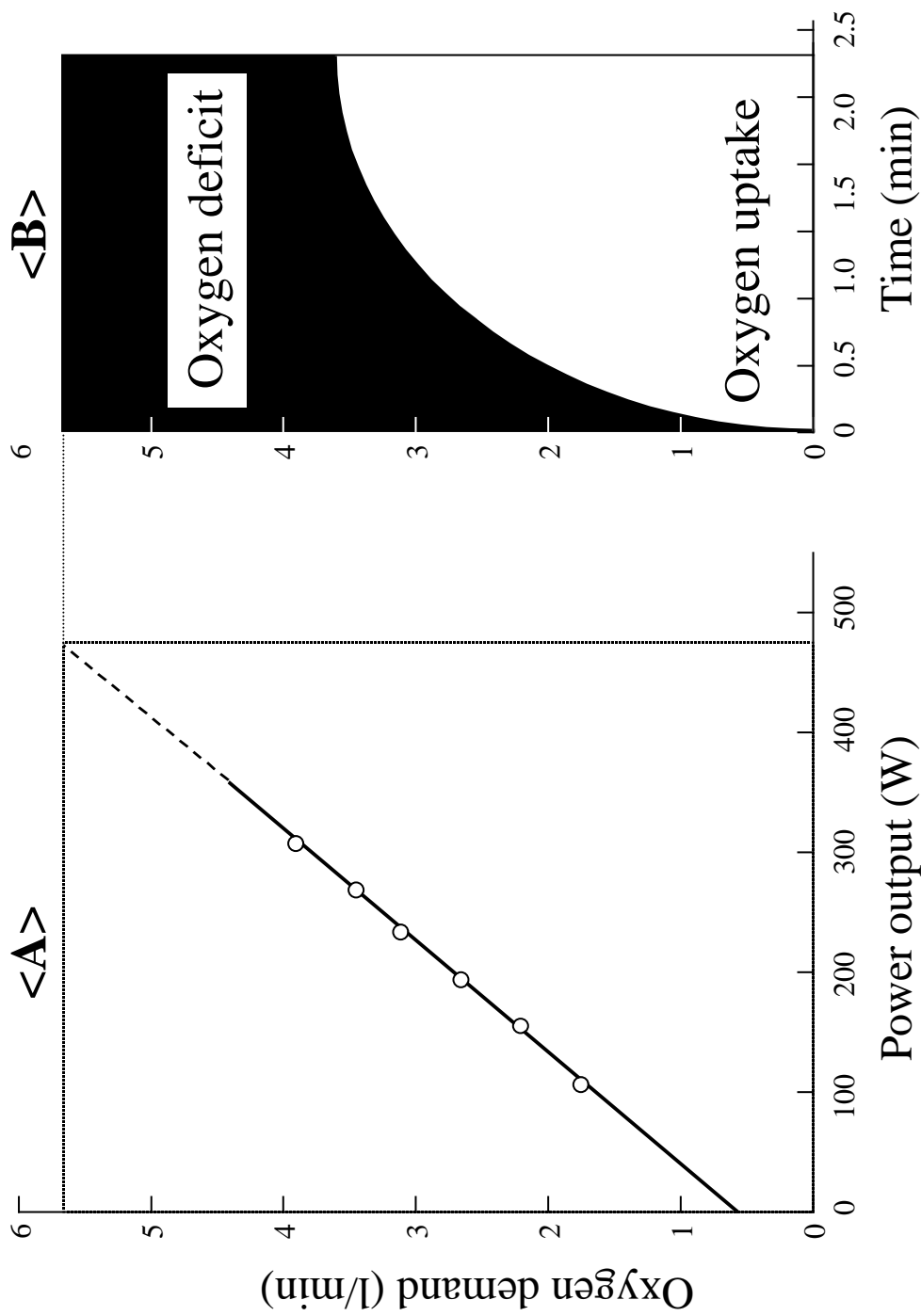


Fig. 3 Method for calculating the accumulated oxygen deficit during supramaximal exercise.
A: relationship between power output and oxygen demand during submaximal exercise.
B: accumulated oxygen deficit is calculated as difference between estimated oxygen demand and actual oxygen uptake.

(Medbo et al., 1988より引用)

この方法論は運動強度が異なっても機械的効率は変化しないという仮説に基づいて、最大下の運動強度と $\dot{V}O_2$ の直線関係から外挿することによって、 $\dot{V}O_{2max}$ を越えるような超最大運動における総酸素需要量を推定するものである。その外挿されたある運動強度における総酸素需要量からその運動中の総酸素摂取量を引いた値が総酸素借として見積もられる。しかし、これらの酸素借の測定は超最大運動における評価であるにも関わらず、総酸素需要量は最大下運動中の運動強度と $\dot{V}O_2$ の関係から直線外挿することによって推定しているため、総酸素需要量を過小評価してしまったり (Olsen, 1992)、無酸素エネルギー供給量を正確に評価できていないのではないかという批判 (Green and Dawson, 1996) もある。一方、運動中、 $\dot{V}O_2$ が定常状態を引き起こすような最大下運動においては、この定常状態での $\dot{V}O_2$ が運動で使われるエネルギーと等しいと考えられることから、総酸素需要量をほぼ正確に見積もることができ、したがって、総酸素借から無酸素エネルギー供給量は正確に評価できると報告されている (Bangsbo et al., 1990)。

また、酸素借の概念を用い、自転車エルゴメーター運動 (Medbo and Tabata, 1993) だけでなく、走運動 (Ramsbottom et al., 1994) や水泳運動 (平井ら, 1993 ; Ogita et al., 1996 ; Ogita et al., 1999 ; Robert et al., 2000) においてもエネルギー供給機構の貢献度が求められている。ただし、水泳運動の場合、身体にかかる水の抵抗が泳速度の 2 乗に比例するため、理論上、 $\dot{V}O_2$ は泳速度の 3 乗に比例することが示されており (Toussaint et al., 1988)、水泳運動における運動強度は泳速度の 3 乗を用いている。

水泳運動において、無酸素エネルギーを酸素負債量で評価していたころは、一流選手の 100 m 全力泳 (約 1 分間) におけるエネルギー供給機構の貢献度は有酸素エネルギーが約 20%、無酸素エネルギーが約 80% と報告されている

(Houston, 1978)。それに対し、無酸素エネルギーを酸素借で評価した場合、有酸素エネルギー、無酸素エネルギーともに約 50% と見積もられている (平井ら , 1993)。200 m (約 2 分間) の場合、前者が有酸素エネルギー 40 %、無酸素エネルギー 60 % (Houston, 1978) に対し、後者は有酸素エネルギー 65%、無酸素エネルギー 35 % (平井ら , 1993) と見積もられている。

以上のように、ある一定距離あるいは一定時間の最大努力泳におけるエネルギー供給機構の貢献度については十分に検討されているが、インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度について検討した研究は見あたらない (問題 4)。

6 . 選手の能力のタイプ分けとその特性

Nomura et al. (1999) は日本選手権水泳競技大会に出場した選手を対象として、100 m および 200 m の競技記録を z 得点に換算し、それらの得点差からスプリントタイプ、持久タイプ、両立タイプといった泳能力のタイプを 3 つに分類した。

Schnabel and Kindermann (1983) は男子の競技レベルの高い陸上競技選手を対象として、マラソンランナーのような長距離型の走者は中距離型の走者と比べて、高強度のトレッドミル走による疲労困憊に至る時間が短く、最大血中乳酸濃度が低いことを報告している。

坂井ら (2000) は ATP-PCr 系、乳酸系および有酸素系のエネルギー産生能力から、anaerobic index および aerobic index を算出し、それぞれの相対的な優劣によって球技選手を無気型と有気型に分類し、間欠的ペダリング運動のパワー出力について比較した。その結果、有気型群は無気型群よりも中盤から

後半にかけて高いパワーを発揮し、そのパワーの差は実測値よりも無気的能力の最大値に対する相対値で比較したときのほうが顕著であったことを報告している。

Scott et al. (1991) は、NCAA1 部チームにおける、陸上競技選手（短距離走者、中距離走者、長距離走者）を対象とし、2～3 分で疲労困憊に至るような運動における全エネルギー供給に対する無酸素エネルギー供給機構の貢献度（%）を比較したところ、短距離走者および中距離走者が長距離走者に比べ高い値を示したことを認めている。

また、佐伯（2000）は、大学男子中長距離走者を対象とし、中距離型の走者は長距離型の走者に比べ、2～3 分および 6 分の最大走行における peak $\dot{V}O_2$ に対して前半局面により多くの無気的能力エネルギーを動員させていることを認め、同一水準の $\dot{V}O_2$ を出現させていても、中距離型や長距離型といった走能力のタイプによって、動員されるエネルギーの割合が異なることを示した。

上記のように選手の特長（能力のタイプ）によって様々な特長の違いが報告されていることから、インターバル泳におけるトレーニング負荷について検討する際にも、この泳能力のタイプも考慮する必要があるものと考えられる。しかし、これらの選手の泳能力のタイプとインターバル泳におけるトレーニング負荷との関連性については検討されていない。（問題 5）

7．運動後の回復過程

運動終了後も安静時より高い過剰な酸素消費（EPOC）は、PCr の再合成、乳酸の分解によるグリコーゲンへの合成など、主に、運動中に使用された無酸

素エネルギーの回復に使われる（田畑，1994）。PCr の再合成は運動終了直後から起こり、一方、乳酸の分解によるグリコーゲンへの合成は数分を要すると言われている（Tabata et al., 1997）。運動後の PCr の再合成について、様々な方法を用いて、多くのことが明らかにされてきている。

Jansson et al.（1990）は一般健康成人を対象に、短時間高強度の膝伸展運動を行なわせ、運動終了前後に筋生検によって、筋中の PCr を測定した結果、高い有酸素能力を有している被検者ほど PCr の回復能力に優れていることを認めている。

一方、非侵襲的な方法として ^{31}P -MRS（リンの磁気共鳴分光法）を用いた筋中の PCr 濃度の推定がなされ（Mole et al., 1985）、運動後の PCr の再合成は有酸素代謝によってコントロールされていることが認められている。また、有酸素的持久性競技者はより高い酸化能力を有しており（Costill et al., 1976）、PCr の再合成速度が一般人よりも優れていることが報告されている（McCully et al., 1989）。

また、Yoshida and Watari（1993）は、長距離走者および一般健康成人を対象に膝屈曲の間欠的運動中における PCr 濃度の継時的変化を測定している。その結果、筋中の酸化能力が高いとされる長距離走者は、PCr の回復時間が短いことを示している。

さらに、Takahashi et al.（1995）は、有酸素的持久性競技者と非鍛練者を対象とし、膝伸展運動後における PCr 濃度変化を測定したところ、 $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ が高い被検者ほど PCr の回復時間が短いことを認めている。

III . 研究の課題、仮説、限界

1 . 研究の課題

前述の文献研究により、水泳のトレーニングにおいてそのほとんどを占めているインターバル泳に関連し、以下の問題点が指摘された。

- 1) インターバル泳中、泳速度だけでなく、休息時間もトレーニング負荷に影響を与え、実際のトレーニングにおけるインターバル泳の休息時間は5秒刻みという非常に詳細な設定が行われている。しかし、どの程度の休息時間差でその影響が現れるのか十分に検討されていない。(問題1)
- 2) 水泳競技は、自由形(クロール)、平泳ぎ、バタフライ、背泳ぎと4つの泳種目があり、実際のトレーニングにおいても専門とする泳種目で行なわれることが多い。それにも関わらず、インターバル泳に関する研究はほとんど全てクロール泳で行われており、他の泳種目について検討した研究は極めて少ない。(問題2)
- 3) トレーニングを進めていくうえで、ある一定距離のパフォーマンスタイムの変化や、 $\dot{V}O_{2max}$ の変化、あるいはある一定の血中乳酸濃度を基準としたスピードの変化などについては十分な研究が行われている。しかし、実際のトレーニングのほとんどはインターバル泳形式で行われており、それにも関わらず、一定期間のトレーニングによってインターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響がどのように変化するかわかりにされていない。(問題3)
- 4) ある一定距離あるいは一定時間の最大努力泳におけるエネルギー供給機構の貢献度については近年明らかにされている。しかし、インターバル泳中のエネルギー

ギー供給機構の貢献度については明らかにされていない。（問題 4）

- 5) 水泳競技は、50 mから 1500 mまで幅広く分かれており、選手の個々の専門的な特性によって、スプリントタイプや持久タイプといった泳能力のタイプに分類することができる。この泳能力のタイプとインターバル泳のトレーニング負荷やエネルギー供給機構の貢献度との関連性については検討されていない。（問題 5）

そこで本研究では、以上の問題点を検討するために、インターバル泳におけるトレーニング負荷に影響を与える要因を、休息時間の長さ、泳種目、個々の泳能力のタイプ、そして一定期間のトレーニングの影響などに関連づけて検討するために、以下の 3 つの研究課題を設定した。

【研究課題 1】

インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響について以下の観点から検討する。

- 1) 休息時間の長さとの関連性（実験 1）
- 2) 泳能力のタイプとの関連性（実験 1・2）
- 3) 泳種目の違いとの関連性（実験 2）

【研究課題 2】

8 週間の水泳トレーニングによってインターバル泳のトレーニング負荷がどのように変化するかを明らかにする（実験 3）。

【研究課題 3】

インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度を、休息時間の長さおよび泳能

力のタイプと関連づけて検討する（実験 4）。

2．研究の仮説

前述の研究課題を究明するために、以下の仮説を設定した。

- 1) 先行研究で検討されてきた 10 と 30 秒という休息時間の差よりも短い時間差でトレーニング負荷は影響を受ける。
- 2) スプリントタイプの選手よりも持久タイプの方が、休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響が大きい。
- 3) 同一相対速度（ $V@OBLA$ ）、同一休息時間であっても、左右交互の動作であるクロールより左右対称動作であるバタフライや平泳ぎの方が、休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は大きい。
- 4) 一定期間のトレーニングによって、同一相対速度（ $V@OBLA$ ）および同一休息時間におけるインターバル泳のトレーニング負荷は軽減される。
- 5) 休息時間のわずかな違いによってエネルギー供給機構の貢献度は異なり、さらに、同一条件のインターバル泳であってもその貢献度は泳能力のタイプによって異なる。

3．研究の限界

本研究の対象者は、日頃から十分にトレーニングを行なっている大学男子競泳選手に限定されている。したがって、本研究で得られた結果を日常的にトレーニングを行なっていない非鍛練者や若年者あるいは女子選手にそのまま適応することには限界がある。

本研究で用いたインターバル泳における泳速度は、有酸素性トレーニングを目的

とした水泳のトレーニングとして一般的な指標とされている血中乳酸濃度 4mmol/L に相当する強度（OBLA）について検討した。陸上運動では、このような低強度でインターバル形式でトレーニングを行なうことはほとんどないが、水泳では、できる限り長く水中でのトレーニングを行なう必要があることなどから、このような低強度でのインターバルトレーニングを非常に多く行なっている。したがって、本研究ではこのような低強度におけるインターバル形式の水泳運動をインターバル泳として用いた。よって、本研究で得られた結果を、陸上でのインターバル運動で用いたり、高強度インターバル運動にそのまま適応することには限界がある。

また、本研究の実験 4 で用いた水泳運動中のエネルギー供給機構の測定は、呼気ガスを採取するために回流水槽にて水泳用の特殊なマスクをつけて実験を行なわなければならない、プールで行なわれる自由泳と全く同じ泳動作で行なうことには限界がある。

休息時間中の回復過程の評価としては、運動前後における筋生検法や運動中における磁気共鳴装置などを用いた測定方法があるが、本研究で実施した実験は全て水の中で行なわれる運動であるため、それらの測定を行なうことは困難であった。

IV . インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす 影響（実験 1）

1 . 目的

水泳のトレーニングは、特に年間シーズンの初期段階において、その効果を最大限に引き出すために、多くの部分が有酸素能力改善を主目的とした有酸素性トレーニングによって行われている。また、 $V@OBLA$ 付近でトレーニングを行なうことが有酸素能力を改善させるために効果的であると報告されている（Maglischo et al., 1982 ; Skinner, 1987）。そのような有酸素性トレーニングのほとんどは、コースロープに仕切られたプール環境に応じ、ペースクロックによるサイクルタイムを用いたインターバル泳形式で行われている（Counsilman., 1977）。インターバル泳は運動と休息を繰り返す間欠的な運動形式で、「泳速度・泳距離・休息時間・反復回数」の4要素を組み合わせることにより、さまざまな目的のトレーニングとして応用することができる方法である（Counsilman., 1977）。また、Maglischo（1993）は有酸素性トレーニングとしてインターバル泳を行なう場合、反復距離200 m以下では、休息時間は10～30秒にすべきであるというガイドラインを提示している。さらに、有酸素性トレーニングにおけるインターバル泳に関して、その泳速度や泳距離および休息時間がどのようにトレーニング負荷に影響を与えるのかについていくつかの研究が報告されている（Olbrecht et al., 1985 ; Beltz et al., 1988 ; Wakayoshi et al., 1999 ; Madsen and Lohberg., 1987）。

Olbrecht et al.（1985）は12×200 mおよび24×100 mのインターバル泳について、10秒と30秒の休息時間でそれぞれ行なわせた結果、12×200 mインターバル泳における泳速度は $V@OBLA$ よりもそれぞれ2.95%および4.22%高く、24×

100 m インターバル泳では、泳速度は OBLA に相当する泳速度よりもそれぞれ 4.21% および 7.24% 高く、インターバル泳後の血中乳酸濃度は全ての試技において、おおよそ 3~4 mmol/L であったことを報告している。この結果から、インターバル泳のトレーニング負荷は反復距離および休息时间によって影響を受けることが明らかになった。さらに、V@OBLA をインターバル泳における泳速度の基準とする場合の泳速度・泳距離・休息時間の組み合わせに関するガイドラインが提示されている (Madsen and Lohberg., 1987) (表 1 参照)。しかし、実際のトレーニング現場におけるインターバル泳は、綿密なトレーニング管理のためサイクルタイムを用いて休息時間を 5 秒刻みで設定されている。そして、その設定は現場のコーチの勘や経験に基づいて行われているのが現状である。

そこで本研究では、インターバル泳における休息時間をトレーニング現場に即し、5 秒刻みで設定することにより、どの程度の休息時間の違いがトレーニング負荷に影響を与えるのか検討し、さらにどのようなタイプの選手が休息時間の影響を受けやすいのかを評価し、実際のトレーニング現場におけるインターバル泳に反映できる情報を得ることを目的とした。

2 . 方法

(1) 被検者

被験者は大学男子競泳選手 13 名 (主に 50 , 100 m を専門とする短距離選手 3 名、100 , 200 m を専門とする中距離選手 7 名、400 m 以上を専門とする長距離選手 3 名) で、週に 8 ~ 10 回 (1 回 5000 ~ 8000 m) 程度、日頃から十分トレーニングを行っていた。被験者の身体的特徴は表 2 に示した。実験に先立って、被験者は本

Table 2. The physical characteristics of the subjects (n=13)

	Age (yrs)	Height (cm)	Body Weight (kg)	% Body Fat (%)
Mean	19.8	173.9	68.2	10.0
SD	0.8	4.8	5.8	2.1
Range	19-21	169.1-180.0	57.0-78.0	7.3-15.6

研究の目的と意義および実験の手順などについて、説明を受け、それらを十分理解したうえで実験に参加した。

なお、本研究では、被検者のクロールにおける 100 m ベストタイムの平均泳速度と 200 m ベストタイムの平均泳速度の比 ($V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$) を各被検者の泳能力のタイプを示す指標として用いた。

(2) 実験スケジュール

本研究における実験は年間シーズンの初期段階で、有酸素性トレーニングが中心となる時期に行われた。なお、全ての実験は 25 m 屋内プールにて行われ、テスト前にあらかじめ規定した約 30 分間のウォーミングアップを実施させた。また、全ての実験における泳法はクロールとした。

(3) 実験プロトコール

1) 漸増負荷テスト泳 (図 4)

400 m 泳を 4 段階の泳速度で、それぞれの段階ごとに 20 分程度の休息時間を挟んだ漸増負荷テスト泳から、各被験者の $V@OBLA$ を測定した (Madsen and Lohberg, 1987)。4 段階の試技におけるそれぞれの泳速度は個々の最大努力の 85、90、95、100% であった。なお、それぞれの試技は一定ペースで泳ぐよう指示され、検者がラップタイムを測定することによってそれを確認した。それぞれの試技終了後に指先より採血し、直ちに自動血中乳酸分析器 (Model 23L; YSI 社製) を用いて血中乳酸濃度を測定した。 $V@OBLA$ の決定は、泳速度と血中乳酸濃度の関係を用い、Jacobs et al. (1981) の方法に従い算出した (図 4)。

2) インターバル泳 (図 5)

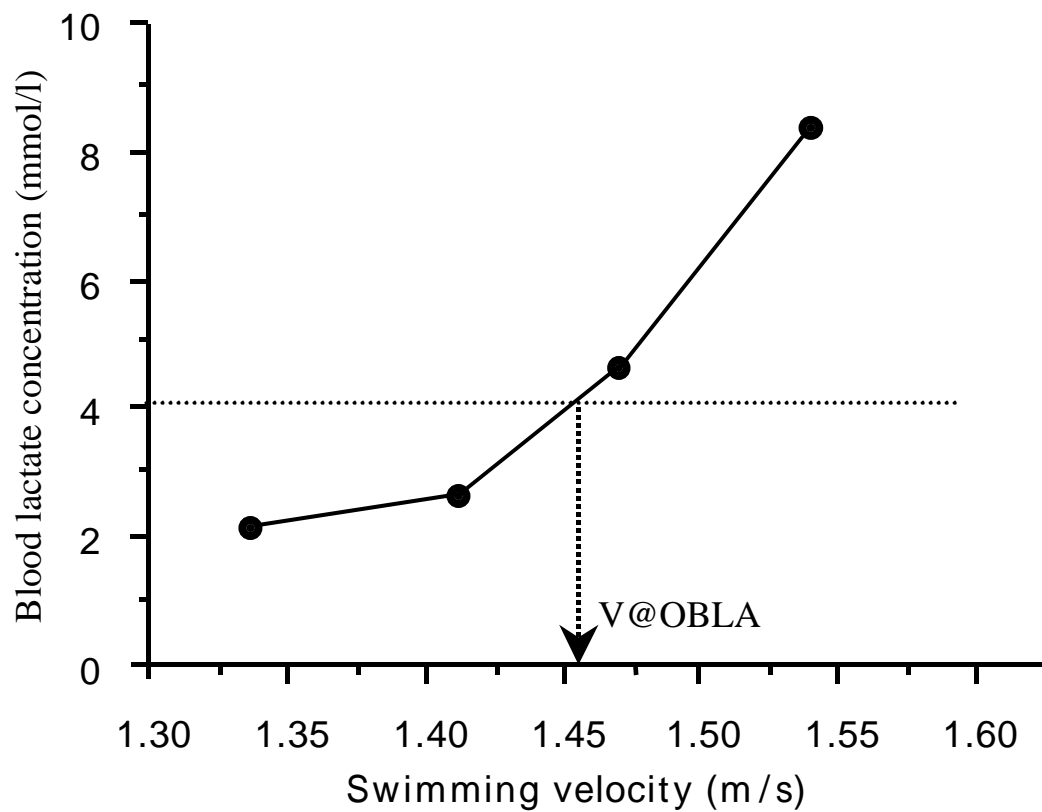


Fig. 4 Method for calculating the V@OBLA.
(Jacobs et al., 1981)

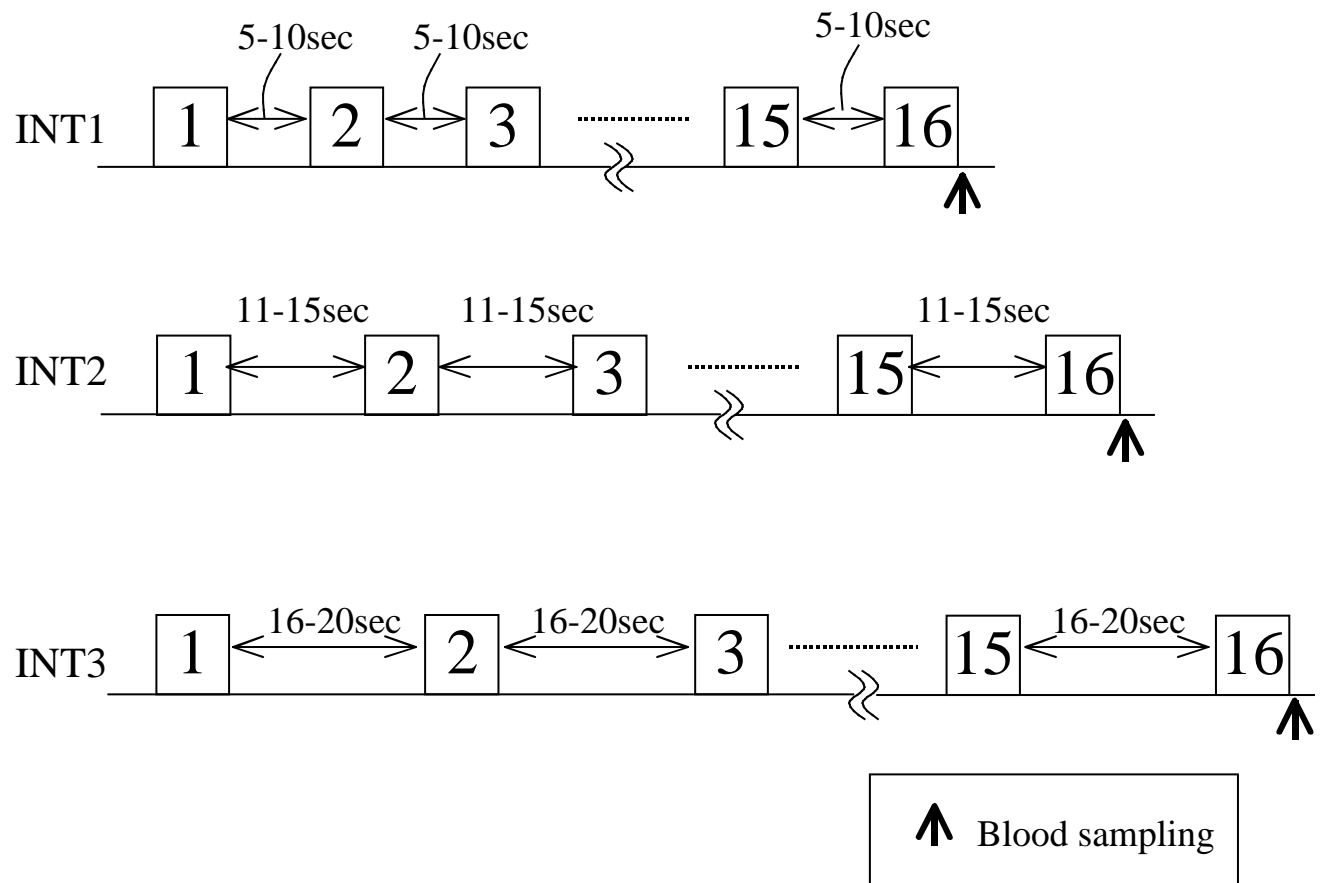


Fig. 5 Experimental design for interval swimming test which consisted of $16 \times 100\text{m}$ at $V@OBLA$ with 3 different rest periods.

クロールにて、16×100 mのインターバル泳を3種類の異なる休息时间（5～10秒；INT1、11～15秒；INT2、16～20秒；INT3）の試技をそれぞれ行なわせた（図5）。なお、泳速度は各被験者のV@OBLAであった。これら休息时间の異なる3試技のインターバル泳は全てランダムに行なわれた。なお、休息时间の違いによってどれだけ血中乳酸濃度が異なるのかを表す指標としてLA@INT3とLA@INT1の比（LA@INT3/LA@INT1）を用いた。

（4）統計処理

測定項目は全て平均値±標準偏差で示した。なお、各測定項目における平均値の有意差検定を行なった。休息时间の異なる3試技間の有意差検定には、一元配置の分散分析を用い、F値が有意であった項目についてはさらに多重比較を行なった。いずれも有意性は危険率5%未満で判定した。

3．結果

図6に、休息时间の異なる3種類の試技（INT1、INT2、INT3）における血中乳酸濃度の比較を示した。INT1、INT2、INT3における血中乳酸濃度は、それぞれ、 2.7 ± 0.4 mmol/L、 2.5 ± 0.5 mmol/L、 2.1 ± 0.3 mmol/Lであり、最も短い休息时间（INT1）と最も長い休息时间（INT3）の間に有意な差が認められた（ $P < 0.05$ ）。

図7に泳能力タイプの指標である100 mベストタイムの平均泳速度と200 mベストタイムの平均泳速度の比（ $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ ）とINT3とINT1の血中乳酸濃度の比（LA@INT3/LA@INT1）との関係を示した。両者間には有意な正の相関関係が認められた（ $r=0.78$ 、 $P < 0.05$ ）。

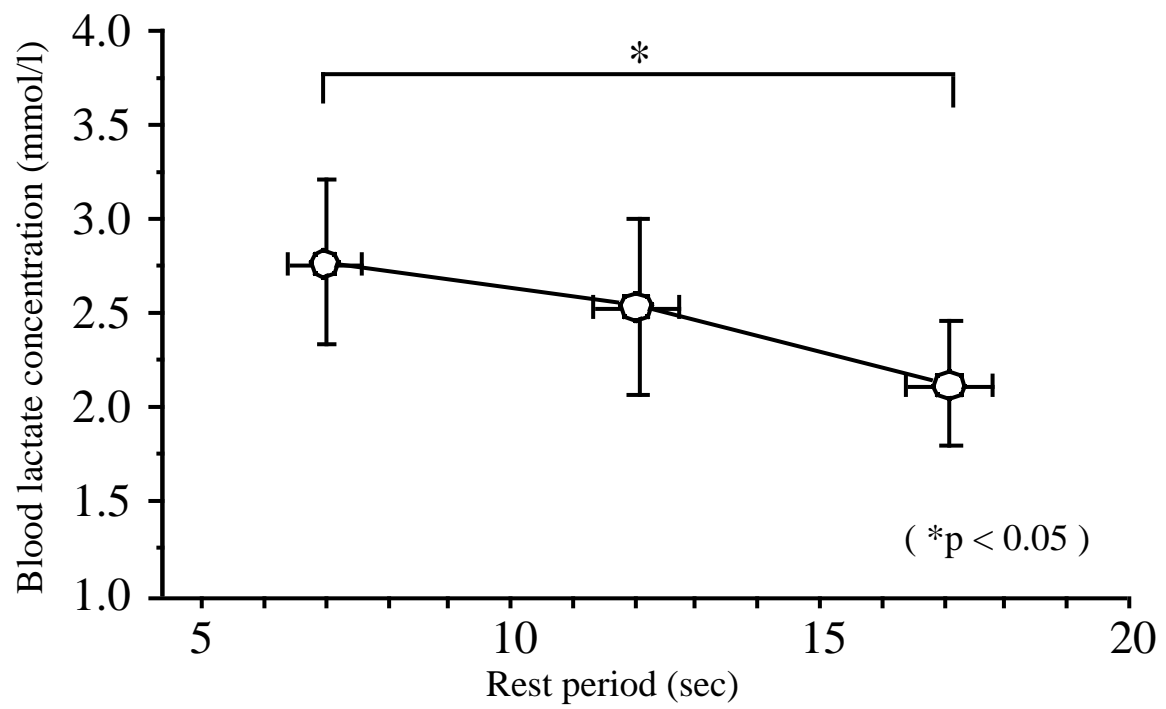


Fig. 6 Comparisons in blood lactate concentration between 3 different rest periods.

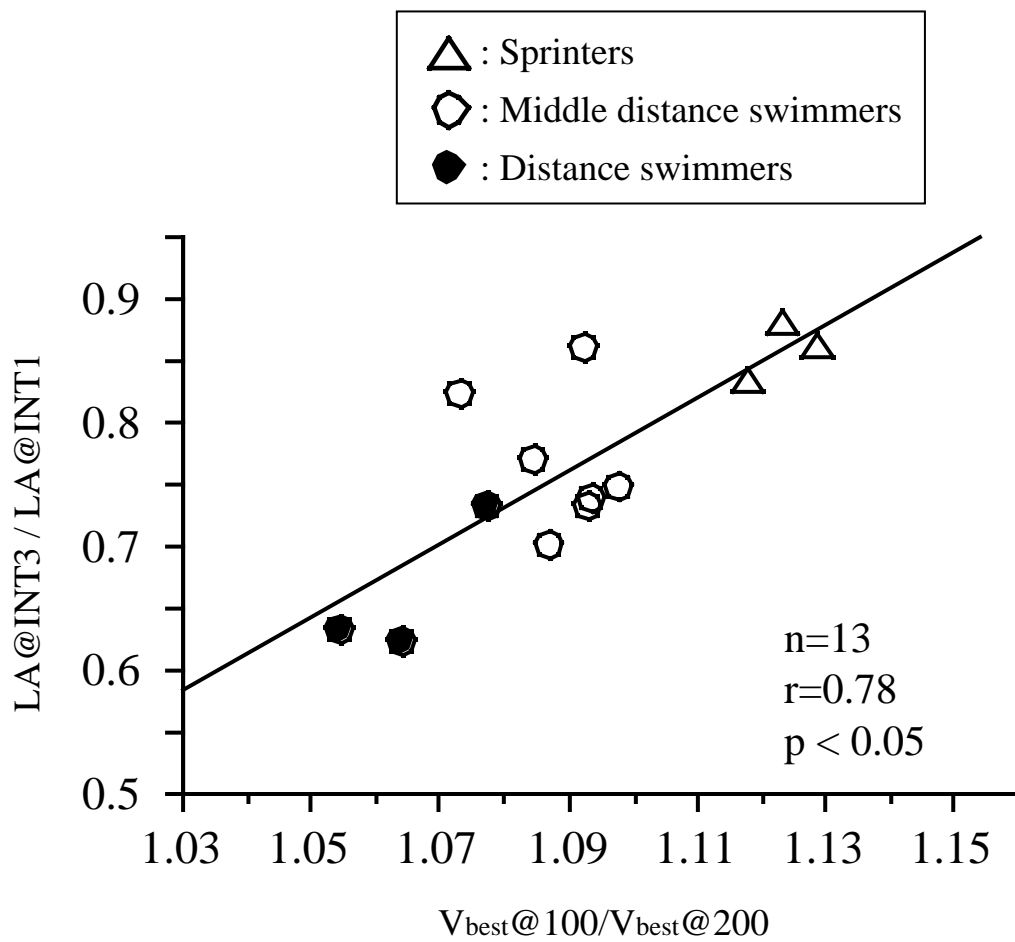


Fig. 7 Relationship between “ $V_{best@100}/V_{best@200}$ ” and “ $LA@INT3/LA@INT1$ ”.

$V_{best@100}/V_{best@200}$; the ratio of mean swimming velocity of best time between 100 m and 200 m .

$LA@INT3/LA@INT1$; the ratio of blood lactate concentration of INT3 and INT1.

4 . 考察

これまでの先行研究によって、インターバル泳のトレーニング負荷はその泳速度だけでなく、休息时间によっても影響を受けることが認められている (Olbrecht et al., 1985 ; Beltz et al., 1988 ; Wakayoshi et al., 1999 ; Madsen and Lohberg, 1987)。しかし、これらの先行研究における実験の設定は休息時間が幅広く設定されており、どの程度の休息時間の違いからトレーニング負荷が影響を受けるのか明らかにされていない。実際のトレーニング現場では、休息時間はサイクルタイムを用いて 5 秒刻みで設定されているため、本研究では、まず、このような休息時間の詳細な違いについて検討した。その結果、16 × 100 m のインターバル泳において 10 秒の休息時間差で試技後の血中乳酸濃度に有意な差が生じた (図 6)。V@OBLA 付近の泳速度におけるインターバル泳に関し、10 秒と 30 秒の休息時間の違いによってトレーニング負荷が影響を受けることが認められている (Olbrecht et al., 1985 ; Madsen and Lohberg, 1987)。それに対して本研究結果は、休息時間が 10 秒異なるだけでトレーニング負荷に大きく影響を及ぼすことが認められ、休息時間の詳細な設定の重要性が示唆された。

多くの研究報告 (Gaitanos et al., 1993 ; Margaria et al., 1969 ; Olbrecht et al., 1985) によって、インターバル泳のような間欠的運動では、有酸素エネルギーに加え、ATP-PCr 系からのエネルギーが多く利用されることが報告されている。間欠的運動の休息時間中、更なる乳酸は生成されずに、運動中に分解された PCr が休息時間中に有酸素的な過程を通して再合成され、ATP-PCr 系のエネルギーが次の運動中に再び利用されることによって乳酸が上昇することなく運動を継続できることが認

められている (Mole et al., 1985)。したがって、本研究で得られた 16×100 m インターバル泳において、10 秒休息時間が長くなると血中乳酸濃度が有意に低くなるという結果は、インターバル泳の水泳運動中に分解された PCr が 10 秒という短い休息時間中に回復し、次の運動中に利用したことによって生じたと推測できる。しかし、本研究はインターバル泳試技終了後の血中乳酸濃度のみの測定であったため、休息時間中の回復について直接検討することはできない。今後さらに、このような低強度の間欠的運動における休息時間中の回復過程について検討する必要があると考えられる。

さらに本研究ではどのようなタイプの選手が休息時間の影響を受けやすいのかを評価した。各被検者の泳能力のタイプを示す指標として、100 m と 200 m のベストタイムの速度比 ($V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$) を用いた。短距離選手はこの指標が大きく、長距離選手はこの指標が小さい値を示したことから、この指標は泳能力のタイプを示す指標として妥当であると考えられる。また、休息時間の違いによってどれだけ血中乳酸濃度が異なるのかを表す指標としてインターバル泳の INT3 と INT1 の血中乳酸濃度における比 ($LA@INT3/LA@INT1$) を用いた。そして、 $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ と $LA@INT3/LA@INT1$ との関係について検討した。その結果、これらの指標の間には正の有意な相関関係が認められた (図 7)。このことは、相対的に 200 m を得意とする被検者は 100 m を得意とする被検者よりも、インターバル泳の休息時間が長くなると血中乳酸濃度が低くなる、つまり、トレーニング負荷が軽減される傾向があることを示すものと考えられる。先行研究によって、高い有酸素能力を有している被検者ほど PCr の回復能力に優れている (Jansson et al., 1990 ; Takahashi et al., 1995) ことや、有酸素性トレーニングを日頃からよく行なっている競技者は PCr の回復時間がより短い (Yoshida and Watari, 1993) ことなどが認められている。相対的に 200 m を得意とする被検者は、100 m を得意と

する被検者よりも、一般的に高い有酸素能力を有していると考えられるため、休息時間中における PCr の回復能力がより優れていると推測できる。その結果、相対的に 200 m を得意とする被検者は、インターバル泳中、同一泳速度であっても、休息時間が長くなるとトレーニング負荷がより低くなると考えられる。したがって、本研究で用いたインターバル泳のトレーニング負荷はこのような泳能力のタイプの相違が影響していることが考えられる。

5 . 要約

本研究の目的は、インターバル泳における休息時間について、どの程度の違いからトレーニング負荷に影響を与えるのか検討し、さらにどのようなタイプの選手が休息時間の影響を受けやすいのかを評価することであった。大学男子競泳選手を対象として、各々の $V_{@OBLA}$ で 16×100 m インターバル泳を休息時間の異なる 3 試技 (INT1 ; 5-10 秒、INT2 ; 11-15 秒、INT3 ; 16-20 秒) 行なわせ、それぞれの試技後の血中乳酸濃度を測定した。

本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- 1) 休息時間の最も短い試技である INT1 と最も長い試技の INT3 後の血中乳酸濃度の間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。
- 2) 泳能力のタイプを示す指標として用いた $V_{best@100} / V_{best@200}$ と休息時間の違いによってどれだけ血中乳酸濃度が異なるのかを表す指標として用いた $LA@INT3 / LA@INT1$ との間に正の有意な相関関係が認められた ($r = 0.78$ 、 $P < 0.05$)。

上述の結果は、10 秒間という短い休息時間によって、インターバル泳におけるト

レーニング負荷は影響を受け、さらに、その影響は泳能力のタイプと関連性がある
ということを示すものである。

V. 泳種目の違いとインターバル泳におけるトレーニング負荷との関連性（実験 2）

1. 目的

水泳競技は、自由形（クロール）、平泳ぎ、バタフライ、背泳ぎと 4 つの泳種目が存在している。クロールは上肢および下肢の筋群を左右交互に使用する泳種目であるのに対して、平泳ぎおよびバタフライはクロールと同じ伏臥位姿勢であるが、上肢および下肢が常に左右対称という特徴を持っているため、これらの泳種目はその泳動作に必要とされる主動筋が異なる（Maglischo, 1993）。このような理由から、泳種目と様々な測定項目との関連性を示した先行研究がいくつか報告されている。

Holmer et al. (1974) は、泳種目間で同一泳速度におけるエネルギー需要量が異なることから、エネルギー効率が泳種目によって異なることを示し、松波ら（1995）は泳種目によって泳速度の増加に伴う血中乳酸濃度のカーブが異なることを報告した。また、Avlonitou (1996) は同一距離のレース後における最大血中乳酸濃度が泳種目によって異なることを認めた。このような泳種目毎の差は、クロールに比べて平泳ぎやバタフライは 1 ストローク中における加速および減速が大きいことが原因であると考えられている（Holmer et al., 1974）。上述したように、それぞれの泳種目でその生理的応答やエネルギー効率が異なることが明らかにされているが、インターバル泳に関する先行研究のほとんどがクロールを対象としたものであり、それ以外の泳種目でのインターバル泳に関してはほとんど明らかにされていない。しかし実際、有酸素性トレーニングとしてのインターバル泳は専門とする泳種目で行なわれることも多く、これらのことを検討することはトレーニングを効率良く行なう上で大きな貢献をするものと考えられる。

そこで本研究では、同一被検者において専門とする泳種目とクロールにおけるインターバル泳のトレーニング負荷を比較検討することによって、泳種目の違いがインターバル泳のトレーニング負荷に及ぼす影響を明らかにし、合理的なインターバルトレーニングに関する知見を得ることを目的とした。

2．方法

(1) 被検者

被験者は大学男子競泳選手 12 名で、週に 8～10 回（1 回 5000～8000 m）程度、日頃から充分トレーニングを行っていた。被験者はそれぞれの専門種目によって平泳ぎ群 6 名、バタフライ群 6 名の 2 群に分けられた。彼らは全員が全国レベルの大会に出場経験を持ち、そのうち、6 名が全国大会入賞経験を持つ非常に高いレベルの選手であった。被験者の身体的特徴は表 3 に示した。実験に先立って、被験者は本研究の目的と意義および実験の手順などについて、説明を受け、それらを十分理解したうえで実験に参加した。

なお、本研究では、被検者の 100 m ベストタイムの平均泳速度と 200 m ベストタイムの平均泳速度の比（ $V_{\text{best}@100} / V_{\text{best}@200}$ ）を各被検者の泳能力のタイプを示す指標として用いた。

(2) 実験スケジュール

本研究における実験はシーズン開始から約 2 ヶ月経過した、準備期から一般的持久トレーニング期へ移行するシーズン初期に行われた。なお、全ての実験は 25 m 屋内プールにて行われ、テスト前にあらかじめ規定した約 30 分間のウォーミングアップ

Table 3. The physical characteristics of the subjects (Breast ; n=6 , Butterfly ; n=6)

Group	Age (yrs)	Height (cm)	Body Weight (kg)	% Body Fat (%)
Breast	Mean	177.6	70.5	13.7
	SD	4.6	2.5	1.4
	Range	173.2-184.0	68.2-75.0	12.1-15.0
Butterfly	Mean	172.3	69.2	10.9
	SD	2.5	3.7	1.8
	Range	169.5-176.0	66.8-75.5	8.2-13.2

プを実施した。

(3) 実験プロトコール

1) 2 スピードテスト泳 (図 8)

専門とする泳種目 (平泳ぎまたはバタフライ) およびクロールにおける各被験者の $V@OBLA$ を測定するために、300 m 泳を 2 回、30 分程度の休息時間を挟んだ、2 スピードテスト (Mader et al., 1980) を行なった。平泳ぎおよびバタフライの競技は 200 m 以下で行われ、 $V@OBLA$ を決定するためには 300 ~ 500 m 程度の距離で行なうことが一般的であるため、300 m の距離で行なった。なお、1 本目は最大努力の 85%、2 本目は最大努力で、それぞれ一定ペースで泳ぐよう指示し、検者がラップタイムを測定することによってそれを確認した。また、2 本目の最大努力泳時の平均泳速度を $V_{max}@300$ と定義した。それぞれの試技終了 1 分後、3 分後、5 分後に指先より採血し、直ちに自動血中乳酸分析器 (Model 23L; YSI 社製) を用いて血中乳酸濃度の測定を行ない、最も高い値をその試技の血中乳酸濃度として用いた。なお、Mader et al. (1980) の方法に従い、1 本目の血中乳酸濃度が 4 mmol/L を越えなかった場合、再度試技を行ない、図 8 に示すような方法で各被検者の専門とする泳種目およびクロールにおける $V@OBLA$ を求めた。専門とする泳種目およびクロールの 2 スピードテストは被検者ごとランダムに実施した。

2) インターバル泳 (図 9)

専門とする泳種目およびクロールにて、10 × 100 m のインターバル泳を 10 秒、20 秒、30 秒の 3 種類の休息時間で合計 6 試技行なった。休息時間 10 秒時の試技を INT10、20 秒時の試技を INT20、30 秒時の試技を INT30 とそれぞれ定義した。これら全てのインターバル泳における泳速度は各被験者のそれぞれの泳種目での

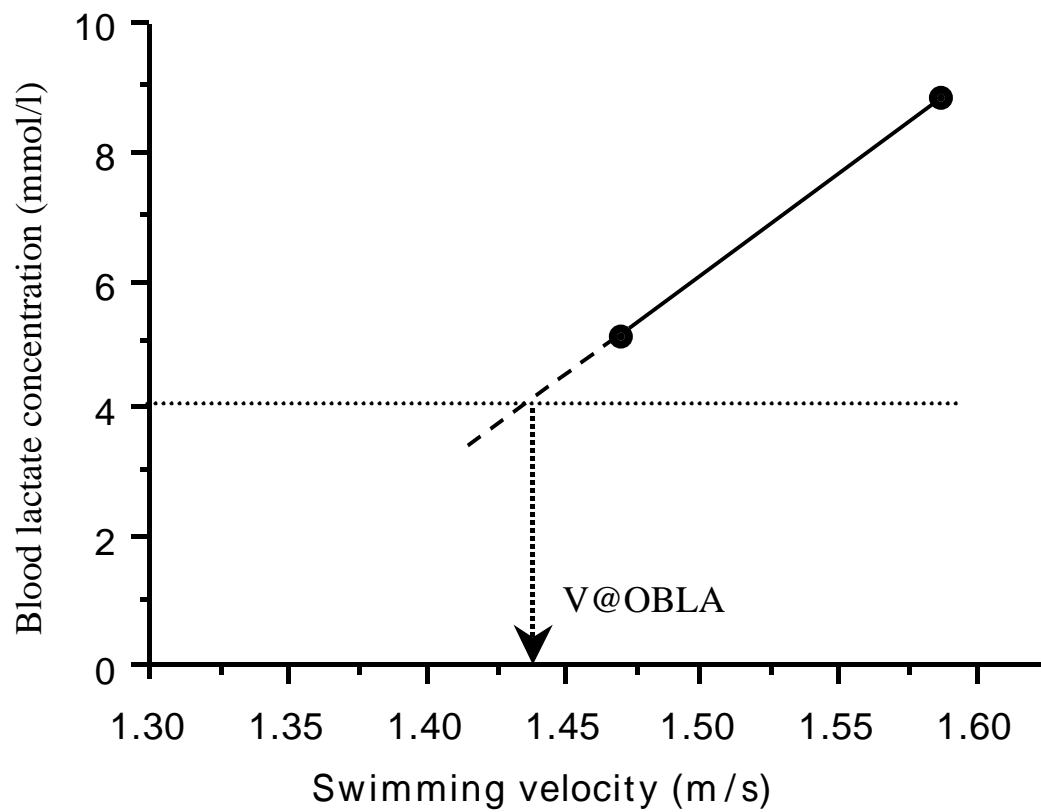


Fig. 8 Method for calculating the V@OBLA from the two speed test.
(Mader et al., 1980)

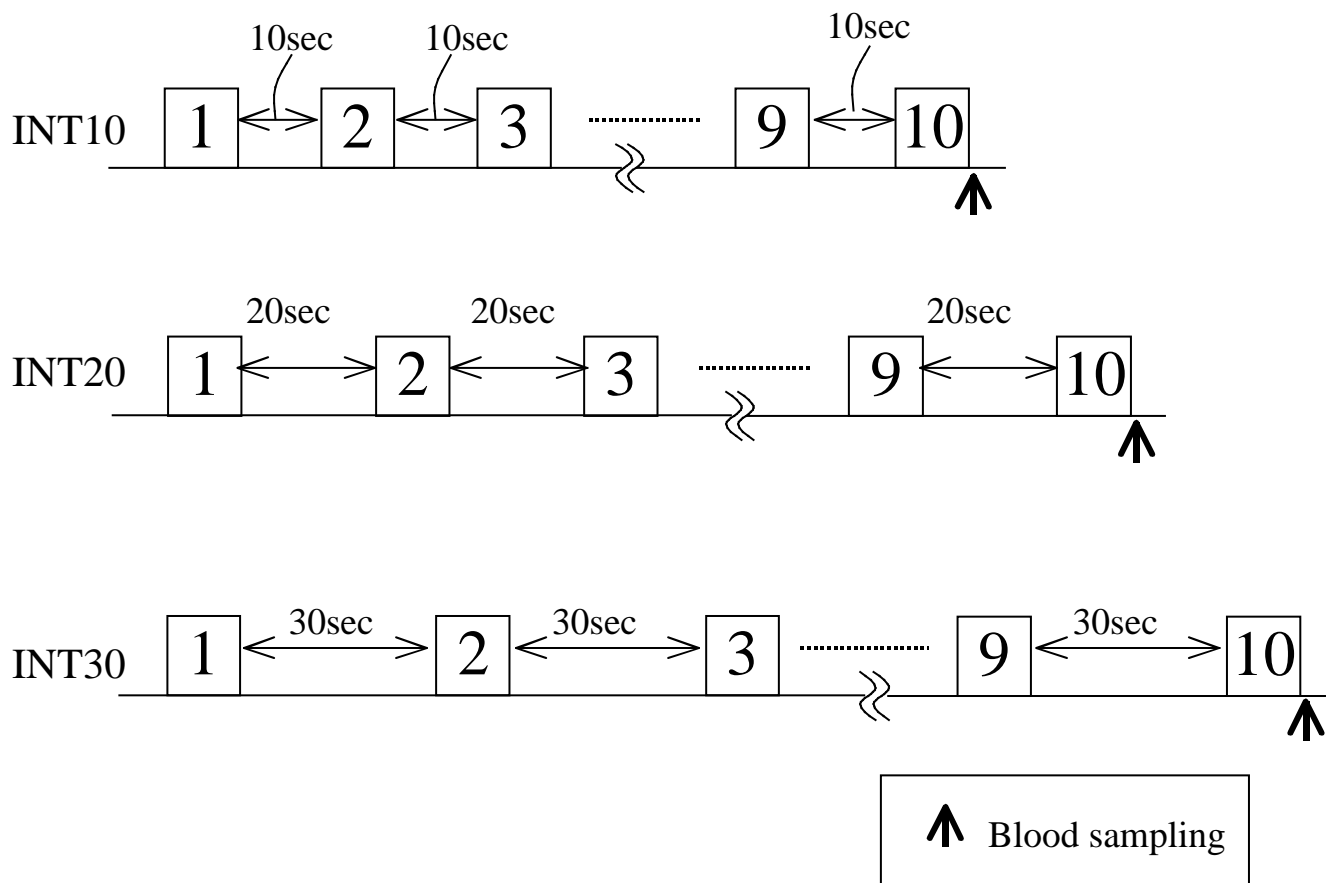


Fig. 9 Experimental design for interval swimming test which consisted of $10 \times 100\text{m}$ at V@OBLA with 3 different rest periods using major swimming style and front crawl.

V@OBLA であった。インターバル泳試技終了直後に指先より採血し、自動血中乳酸分析器（Model 23L; YSI 社製）を用いて血中乳酸濃度の測定を行ない、INT10、INT20、INT30 後の血中乳酸濃度をそれぞれ、LA@INT10、LA@INT20、LA@INT30 と定義した。なお、休息時間の違いによってどれだけ血中乳酸濃度が異なるのかを表す指標として LA@INT30 と LA@INT10 の比（LA@INT30/LA@INT10）を用いた。これら 6 試技のインターバル泳は全てランダムに行なった。

（４）統計処理

測定項目は全て平均値 ± 標準偏差で示した。なお、各測定項目における平均値の有意差検定を行なった。専門とする泳種目とクロールとの間の有意差検定には、対応のある t-test 検定を用いた。また、異なる休息時間の 3 試技間の有意差検定には、一元配置の分散分析を用い、F 値が有意であった項目についてはさらに多重比較を行なった。いずれも有意性は危険率 5% 未満で判定した。

３．結果

（１）２スピードテスト泳

表 4 に、専門とする泳種目およびクロールにおける 2 スピードテストから測定された V@OBLA、V_{max}@300、V_{max}@300 時の血中乳酸濃度、V_{max}@300 に対する V@OBLA の割合（V@OBLA が V_{max}@300 の何%に相当するか）を示した。平泳ぎ群、バタフライ群共に、V@OBLA および V_{max}@300 では専門とする泳種目とクロールにおいて有意な差が見られ、V_{max}@300 時の血中乳酸濃度および V_{max}@300

Table 4. V@OBLA, V_{max@300}, blood lactate at V_{max@300} and the proportion of V@OBLA to V_{max@300} in the two-speed test.

Group	Style	V@OBLA (m/s)	V _{max@300} (m/s)	LA at V _{max@300} (mmol/l)	proportion of V@OBLA to V _{max@300} (%)
Breast	Breast stroke	1.21 ± 0.87*	1.25 ± 0.87*	7.6 ± 1.6	96.6 ± 1.0
	Crawl stroke	1.44 ± 0.86	1.50 ± 0.92	7.7 ± 1.6	96.4 ± 1.6
Butterfly	Butterfly stroke	1.33 ± 0.52*	1.41 ± 0.50*	7.8 ± 1.4	94.6 ± 3.7
	Crawl stroke	1.46 ± 0.55	1.53 ± 0.42	7.6 ± 1.4	95.5 ± 2.8

* : significantly different from Crawl stroke (P < 0.05)

V_{max@300} ; velocity of 300m maximum effort measuring from the two-speed test

に対する V@OBLA の割合には有意な差は見られなかった。

(2) 専門とする泳種目およびクロールにおけるインターバル泳後の血中乳酸濃度

図 10 に平泳ぎ群における平泳ぎおよびクロールでのインターバル泳試技後の血中乳酸濃度の比較を示した。平泳ぎでの試技後の血中乳酸濃度は、INT10、INT20、INT30 においてそれぞれ、 4.4 ± 1.1 mmol/L、 3.0 ± 1.2 mmol/L、 2.3 ± 0.8 mmol/L であり、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。また、クロールでの試技後の血中乳酸濃度は、INT10、INT20、INT30 においてそれぞれ、 4.6 ± 1.2 mmol/L、 3.2 ± 0.8 mmol/L、 2.7 ± 0.8 mmol/L であり、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。平泳ぎ群における同一休息時間における平泳ぎとクロール間での血中乳酸濃度には INT10、INT20、INT30 いずれの試技も有意な差は認められなかった。

図 11 にバタフライ群におけるバタフライおよびクロールでのインターバル泳試技後の血中乳酸濃度の比較を示した。バタフライでの試技後の血中乳酸濃度は、INT10、INT20、INT30 においてそれぞれ、 3.8 ± 0.6 mmol/L、 2.5 ± 0.4 mmol/L、 1.9 ± 0.2 mmol/L であり、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。また、クロールでの試技後の血中乳酸濃度は、INT10、INT20、INT30 においてそれぞれ、 3.4 ± 1.1 mmol/L、 2.2 ± 0.5 mmol/L、 1.8 ± 0.7 mmol/L であり、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。同一休息時間におけるバタフライとクロール間での血中乳酸濃度には INT10、INT20、INT30 いずれの試技も有意な差は認められなかった。

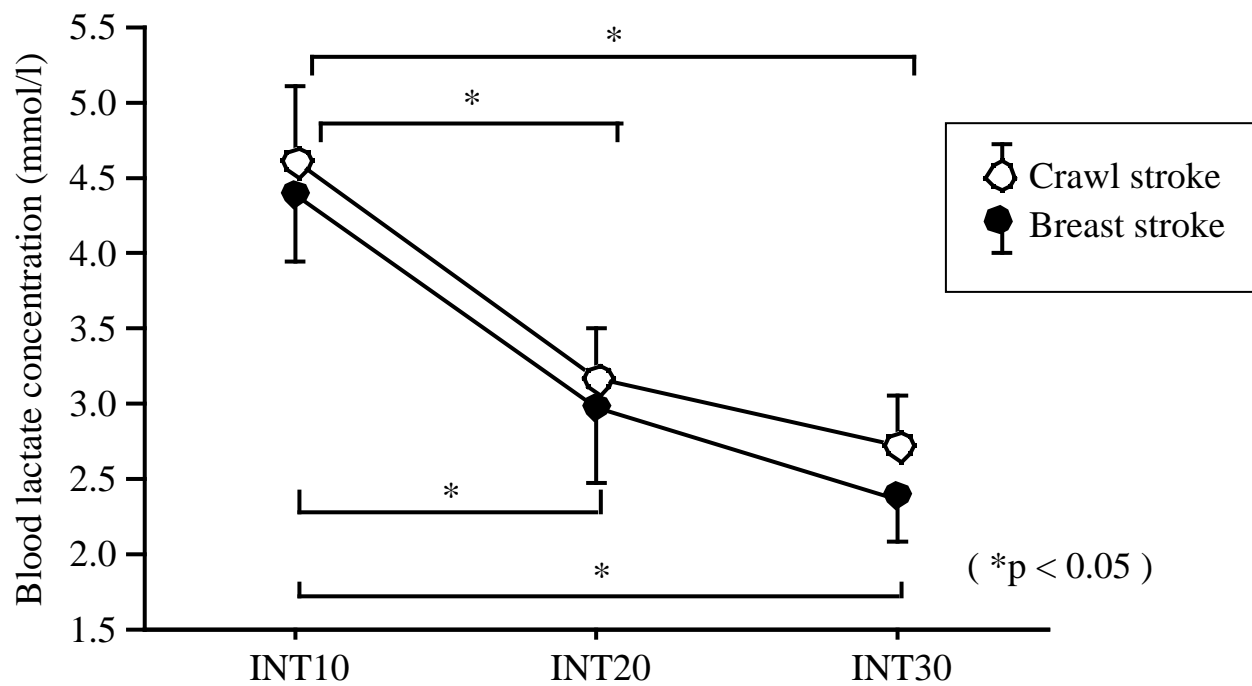


Fig. 10 Comparisons in blood lactate concentration between INT10, INT20 and INT30 in breast group.

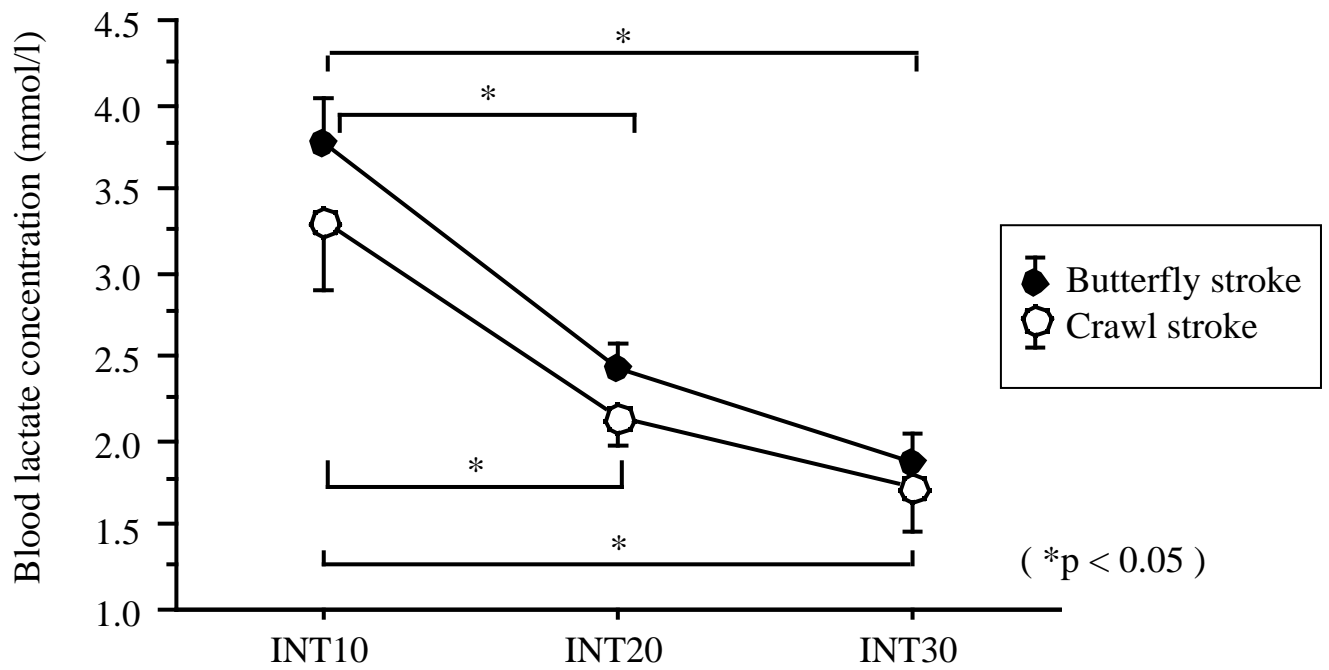


Fig. 11 Comparisons in blood lactate concentration between INT10, INT20 and INT30 in butterfly group.

(3) 泳能力のタイプと INT30 と INT10 の血中乳酸濃度の比との関係

図 12 に泳能力のタイプの指標として用いた全被検者の専門とする泳種目における 100 m ベストタイムの平均泳速度と 200 m ベストタイムの平均泳速度の比 ($V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$) と専門とする泳種目での INT30 と INT10 の血中乳酸濃度の比 ($LA@INT30/LA@INT10$) との関係を示した。両者間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.68$, $P<0.05$)。

4. 考察

本研究では、同一被検者が専門とする泳種目とクロールでインターバル泳を行なった場合、泳種目の違いによりトレーニング負荷が異なるのかどうかを検討するため、10 秒、20 秒、30 秒と 3 つの異なる休息時間における 10×100 m インターバル泳をそれぞれの泳種目での $V@OBLA$ にて行ない、試技後の血中乳酸濃度で比較した。その結果、平泳ぎ群およびバタフライ群ともに、専門とする泳種目でインターバル泳を行なった場合もクロールで行なった場合においても、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間で試技後の血中乳酸濃度に有意な差が見られ、泳種目間では有意な差は認められなかった。このことは、 $V@OBLA$ でインターバル泳を行なった場合、そのトレーニング負荷は泳種目の違いには影響を受けずに、専門とする泳種目でもクロールでも同様の傾向を示すものと考えられる。

クロールと平泳ぎおよびバタフライは同じ伏臥位姿勢ではあるが、クロールが上肢および下肢を左右交互に動かすのに対し、平泳ぎおよびバタフライは常に左右対称に動かす泳動作であるため、それぞれの泳動作に必要とされる主動筋も異なることが示されている (Maglischo, 1993)。そのため、異なる泳種目ではエネルギー効

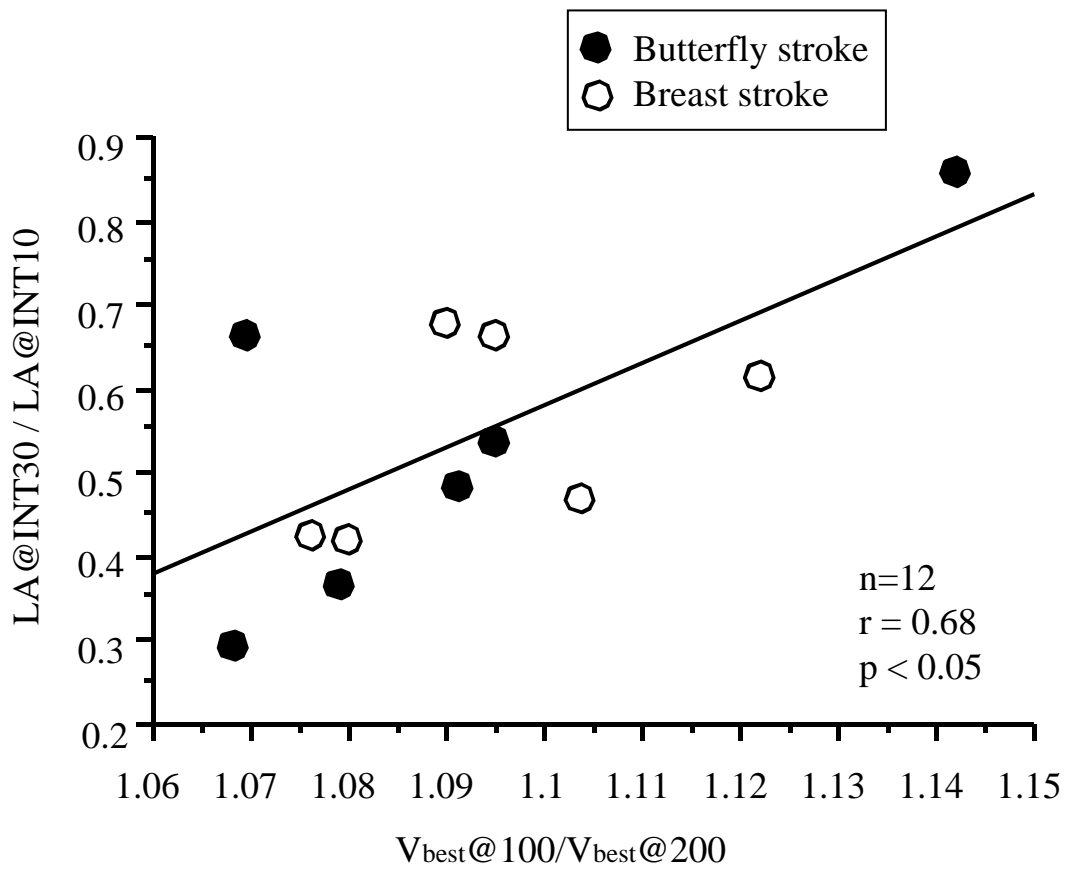


Fig. 12 Relationship between “ $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ ” and “ $LA@INT30/LA@INT10$ ”.

$V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$; the ratio of mean swimming velocity of best time between 100 m and 200 m .

$LA@INT30/LA@INT10$; the ratio of blood lactate concentration of INT30 and INT10.

率 (Holmer et al., 1974) や泳速度と血中乳酸濃度の関係 (松波ら, 1995) そして同一距離のレース後における最大血中乳酸濃度 (Avlonitou, 1996) などが異なることが認められている。

Holmer et al. (1974) は、一流競泳選手を対象として、各泳種目における泳速度と酸素摂取量との関係からエネルギー効率を検討した中で、平泳ぎおよびバタフライは1ストローク中に加速および減速の大きい種目であることから、約0.8～1.2m/sの範囲内における同一泳速度のエネルギー需要量がクロールに比べ約2倍であることを報告している。また、松波ら (1995) は大学競泳選手を対象に、3段階の間欠的漸増負荷テスト泳における泳速度と血中乳酸濃度の関係から、泳種目によって泳速度の増加に伴う血中乳酸値の上昇の仕方が異なり、同一血中乳酸値における泳速度は、速い順にクロール、バタフライ、平泳ぎの順になることを示した。さらに、Avlonitou (1996) はエリート競泳選手を対象に、100 mおよび200 mレース後の血中乳酸濃度について泳種目間で比較した中で、男女とも平泳ぎがクロール、バタフライに比べ、有意に低い値を示したことを認めている。

泳種目が異なれば、その最大努力時の泳速度も異なるため、エネルギー効率や同一血中乳酸濃度における泳速度は当然異なるものと考えられる。しかし、レース後の最大血中乳酸濃度について、Avlonitou (1996) の研究報告における比較は、同一被検者によるものではないため、同一被検者で平泳ぎとクロールにおける比較を行なった場合、一概にこのような結果になるとは考えにくい。本研究では、平泳ぎおよびバタフライを専門とする被検者が、専門とする泳種目とクロールでの試技について比較を行なった。その結果、 $V_{\max@300}$ や $V@OBLA$ は有意な差は認められものの、 $V_{\max@300}$ 時の血中乳酸濃度、 $V@OBLA$ の $V_{\max@300}$ に対する割合 ($V@OBLA$ が $V_{\max@300}$ の何%に相当するか) については、有意な差は認められなかった (表4)。つまり、本研究においては、専門とする泳種目でもクロールで

もインターバル泳に用いた $V@OBLA$ は最大努力泳の泳速度に対する割合が同等であるといえる。したがって、泳種目が異なっても相対的強度が同等であれば、インターバル泳におけるトレーニング負荷は、泳種目の違いと関連性が低いものと考えられる。

本研究では、研究課題 1 - 2 (IV 章) でクロールにおいて泳能力のタイプがインターバル泳におけるトレーニング負荷と関連性があることを認めた。そこで、平泳ぎ、バタフライにおいても同様に泳能力のタイプとインターバル泳のトレーニング負荷の関連性を検討した。その結果、泳能力のタイプを示す指標 ($V_{best@100}/V_{best@200}$) と INT30 と INT10 の血中乳酸濃度の比 ($LA@INT30/LA@INT10$) との間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.68$) (図 12)。このことは、相対的に 200 m を得意とする被検者は 100 m を得意とする被検者よりも、休息時間が長くなるとトレーニング負荷が軽減される傾向があることを示すものと考えられる。この結果は、クロールにおけるインターバル泳のトレーニング負荷について検討した研究課題 1 - 2 (IV 章) の結果と同様の傾向であった。

以上の結果から、有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳におけるトレーニング負荷は、泳種目との関連性が低く、泳種目の違いよりも泳能力のタイプによって影響を及ぼされることが明らかになった。

5 . 要約

本研究の目的は、同一被検者において専門とする泳種目とクロールにおけるインターバル泳のトレーニング負荷を比較検討することによって、泳種目の違いがイン

ターバル泳のトレーニング負荷に及ぼす影響を明らかにすることであった。平泳ぎおよびバタフライを専門とする大学男子競泳選手を対象として、300 mの2スピードテスト泳から専門とする泳種目とクロールにおける $V@OBLA$ を測定し、それぞれの $V@OBLA$ で 10 × 100 m インターバル泳を 10 秒 (INT10)、20 秒 (INT20)、30 秒 (INT30) の 3 つの休息時間について、合計 6 試技行ない、専門とする泳種目とクロールの同一休息時間における試技後の血中乳酸濃度を比較した。本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- 1) 平泳ぎ群においては、平泳ぎおよびクロールで行なったインターバル泳において、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。
- 2) バタフライ群においては、バタフライおよびクロールで行なったインターバル泳において、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。
- 3) 平泳ぎ群とバタフライ群ともに、同一休息時間における全ての試技において、専門とする泳種目とクロールとの間に有意な差は認められなかった。
- 4) 泳能力のタイプを示す指標 ($V_{best@100}/V_{best@200}$) と INT30 と INT10 の血中乳酸濃度の比 ($LA@INT30/LA@INT10$) との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.68$, $P < 0.05$)。

上述の結果は、有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳におけるトレーニング負荷は、泳種目との関連性が低く、泳種目の違いよりも、泳能力のタイプによって影響を及ぼされることを示すものである。このことは、インターバルトレーニングをデザインする際、泳種目よりも泳能力のタイプを考慮することが重要であるものと考えられる。

VI . 8 週間の水泳トレーニングがインターバル泳のトレーニング負荷に及ぼす影響（実験 3）

1 . 目的

一般的に水泳競技における有酸素性トレーニングは、その多くがインターバル泳形式で行われており、これまでインターバル泳に関するいくつかの研究報告がなされている。Beltz et al. (1988) は 100 ~ 200yd の反復距離で短い休息時間を挟んだインターバル泳が有酸素性トレーニングとして最適であるとしており、Maglischo (1993) は 200 m かそれ以下の反復距離で、10 ~ 30 秒の休息時間を挟んだインターバル泳が有酸素性トレーニングとして適しているというガイドラインを示している。本研究では、研究課題 1（第 IV、V 章）において、10 秒というわずかな休息時間の違いがトレーニング負荷に影響を及ぼすことを認めた。これらのことから、インターバル泳におけるトレーニング負荷を決定する要因はその泳速度だけでなく、休息時間も非常に重要であることが示された。

ところで、これまで水泳トレーニングとその効果に関する研究報告がいくつかなされている。Wakayoshi et al. (1993) は 6 ヶ月の水泳トレーニングによって 400 m 泳パフォーマンスおよび血中乳酸濃度 4 mmol/L に相当する泳速度が有意に改善したと報告している。一方で、Costill et al. (1991) は有酸素能力改善を目的とした水泳トレーニングによって、血中乳酸濃度および心拍数から測定された有酸素能力は最初の 8 週間で大きな改善が見られたものの、その後、トレーニング量を増加させても有酸素能力はほとんど改善されなかったことを報告している。また、Gullstrand and Holmer (1983) は、スウェーデン

ナショナルチームの水泳選手を対象に、5年間のトレーニングによって、競技記録は延び続けたにも関わらず、 $\dot{V}O_{2max}$ は増加しなかったことを報告している。また、近年、Pyne et al. (2001) は、オーストラリアナショナルチームの水泳選手 12 名を対象に、夏季シーズン中、3 回にわたり、200 m における 7 段階の間欠的漸増負荷泳を行ない、特にシーズン初期から中期にかけて乳酸性閾値 (LT) における泳速度が改善されたことを報告している。これらの研究報告から、有酸素能力はトレーニングを開始して最初の数ヶ月で大きく改善されることが考えられる。このように、トレーニングを進行させていくうえで、パフォーマンスの変化や、有酸素能力の指標となる $\dot{V}O_{2max}$ や LT、OBLA などの変化については十分な研究が行われている。しかし、実際、水泳の有酸素性トレーニングのほとんどはインターバル泳形式で行われており、トレーニングによってもインターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は変化する可能性が考えられる。トレーニングを進行させていくうえで、パフォーマンスの変化や、血中乳酸濃度を基準としたスピードの変化などと併せ、インターバル泳におけるトレーニング負荷の変化を検討することは、インターバルトレーニングを効果的に行なう上でコーチや選手に重要な示唆を与えてくれるものと考えられる。しかし、トレーニング効果と関連づけて、インターバル泳を評価・検討した研究は見られない。

そこで本研究では、8 週間の水泳トレーニングが、一般的に有酸素性トレーニングとして用いられているインターバル泳のトレーニング負荷にどのような影響を与えるのか、 $V@OBLA$ および 400 m 全力泳パフォーマンス ($V_{max@400}$) の変化と関連づけて検討することを目的とした。

2．方法

(1) 被検者

被検者には、普段から非常によくトレーニングを行なっている大学男子競泳選手 13 名を用いた。なお、すべての被検者に実験の趣旨および手順について説明をし、参加の同意を得た。被検者の身体的特徴を表 5 に示した。

(2) 実験スケジュール

本研究における実験は 25 m 屋内プールにて、有酸素性トレーニングが中心となるシーズン初期に行われ、泳法は全てクロール泳とした。トレーニングの流れと、実験プロトコルを図 13 に示した。同様のテストが 8 週間の水泳トレーニングを挟んで 2 回行われた。1 回目のテスト (Pre-test) は本実験を遂行するための準備期間としてシーズン開始後 8 週間を経てから行われた。なお、この準備期間中、トレーニング距離を 1 週間に 30km から 60km まで徐々に増加させていった。なお、トレーニング内容は約 90% が有酸素性トレーニング、約 10% が無酸素性トレーニングであった。2 回目のテスト (Post-test) は Pre-test 終了後、8 週間のトレーニング期間を経た後、実施された。このトレーニング期間中、被検者は平均で週に 8 回、1 回 2 ～ 3 時間の水泳トレーニングを行っていた。トレーニング距離は 1 週間に約 60km であり、トレーニング内容は約 80% が有酸素性トレーニング、約 20% が無酸素性トレーニングであった。この時期のトレーニングは有酸素能力改善・維持を主目的としており、そのほとんどがインターバル泳形式によって行われた。

(3) 実験プロトコルおよび測定項目

Table 5. The physical characteristics of the subjects (n=13)

	Age (yrs)	Height (cm)	Body Weight (kg)	% Body Fat (%)
Mean	19.8	173.9	68.2	10.0
SD	0.8	4.8	5.8	2.1
Range	19-21	169.1-180.0	57.0-78.0	7.3-15.6

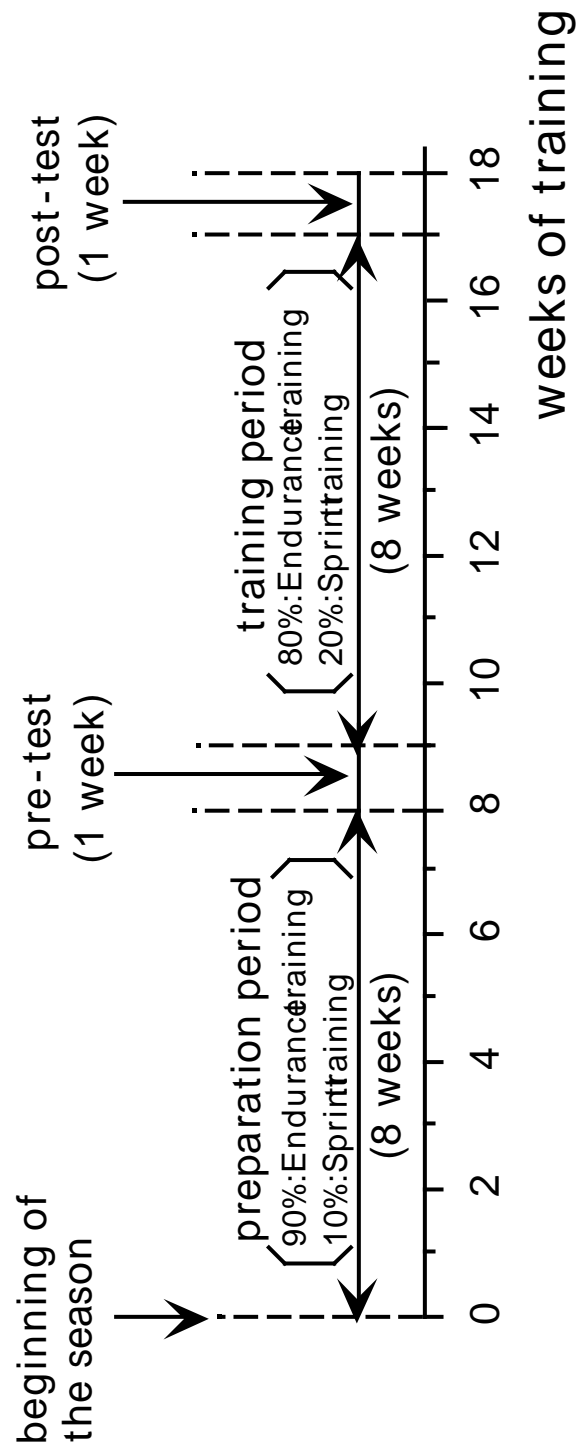


Fig. 13 Experimental schema of the present study

1) 漸増負荷テスト泳

水泳運動において、 $V@OBLA$ を測定するもっとも一般的な方法は 400 m を 4～5 段階に泳速度を漸増させる漸増負荷テスト泳であると言われており、実際のトレーニング現場においても広く実践されている (Madsen and Lohberg, 1987)。そこで本研究では、漸増負荷テスト泳として、クロール泳にて 400 m を 4 段階、それぞれに 20 分の休息を挟んで行なう方法を用いた。被検者にはあらかじめ設定された 30 分間程度のウォーミングアップを行なわせた後、個々の最大努力の 85、90、95、100% の 4 段階でそれぞれ試技を行なわせた。なお、それぞれの試技は一定ペースで泳ぐよう指示され、検者がラップタイムを測定することによってそれを確認した。それぞれの試技終了後に指先より採血し、直ちに自動血中乳酸分析器 (Model 23L; YSI 社製) を用いて血中乳酸濃度を測定した。 $V@OBLA$ の決定は、泳速度と血中乳酸濃度の関係を用い、Jacobs et al. (1981) の方法に従い算出した。 $V_{max}@400$ は、個々の 100% 最大努力時の試技における平均泳速度を用いた。

2) インターバル泳

インターバル泳は、有酸素性トレーニングとして一般的に用いられている 8×200 m について、泳速度は漸増負荷テスト泳から求めた個々の $V@OBLA$ で 3 種類の異なる休息時間についてそれぞれ試技を行なわせた。一般的に、インターバル泳はコースロープに仕切られたプールの制限からサイクルタイム方式を用いて休息時間を規定し (e.g., 8×200 m on 2'30")、ペースクロックを用いてトレーニングを行なっている。そのため、本研究においても 3 種類の休息時間を規定するのに同様の方法を用い、10-20 秒 (INT1)、21-30 秒 (INT2)、31-40 秒 (INT3) と定義した。なお、これらの休息時間が異なる 3 種類の試

技は、それぞれ別々の日に、漸増負荷テスト泳時と同様のウォーミングアップ後に実施された。

血中乳酸濃度はそれぞれの試技終了後に指先より採血し、直ちに自動血中乳酸分析器（Model 23L; YSI 社製）を用いて測定した。

（４）統計処理

測定項目は全て平均値 ± 標準偏差で示した。なお、各測定項目における平均値の有意差検定を行なった。Pre と Post との間の有意差検定には、対応のある t-test 検定を用いた。また、異なる休息時間の 3 試技間の有意差検定には、一元配置の分散分析を用い、F 値が有意であった項目についてはさらに多重比較を行なった。いずれも有意性は危険率 5% 未満で判定した。

３．結果

（１）漸増負荷テスト泳における泳速度と血中乳酸濃度の関係

図 14 に Pre、Post における漸増負荷テスト泳中の泳速度と血中乳酸濃度の関係を示した。4 段階全てにおいて Pre と Post 間で血中乳酸濃度に有意差は認められなかった。

図 15 に、 $V@OBLA$ および $V_{max}@400$ における Pre と Post の比較を示した。 $V@OBLA$ は Pre が $1.44 \pm 0.08\text{m/s}$ で Post が $1.44 \pm 0.07\text{m/s}$ であり、これらの間で有意差は認められなかったが、 $V_{max}@400$ においては、Pre が $1.48 \pm 0.08\text{m/s}$ で Post が $1.50 \pm 0.06\text{m/s}$ であり、Post の方が Pre よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

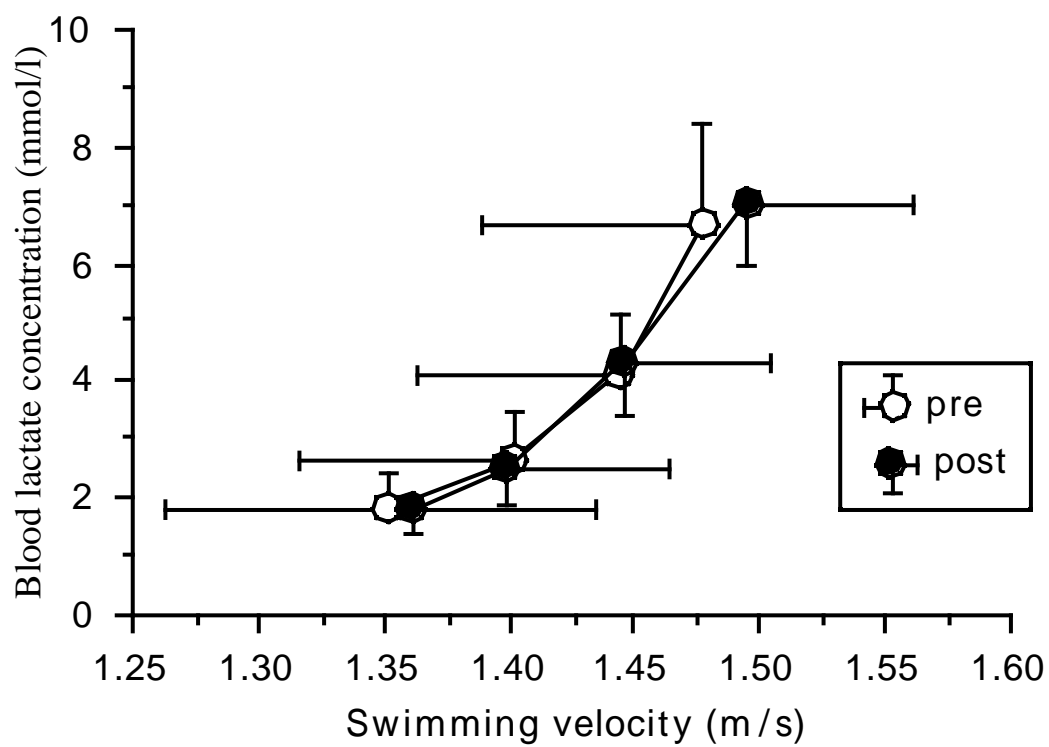


Fig. 14 Relationship between swimming velocity and blood lactate in 4 × 400m progressive test at pre- and post-test.

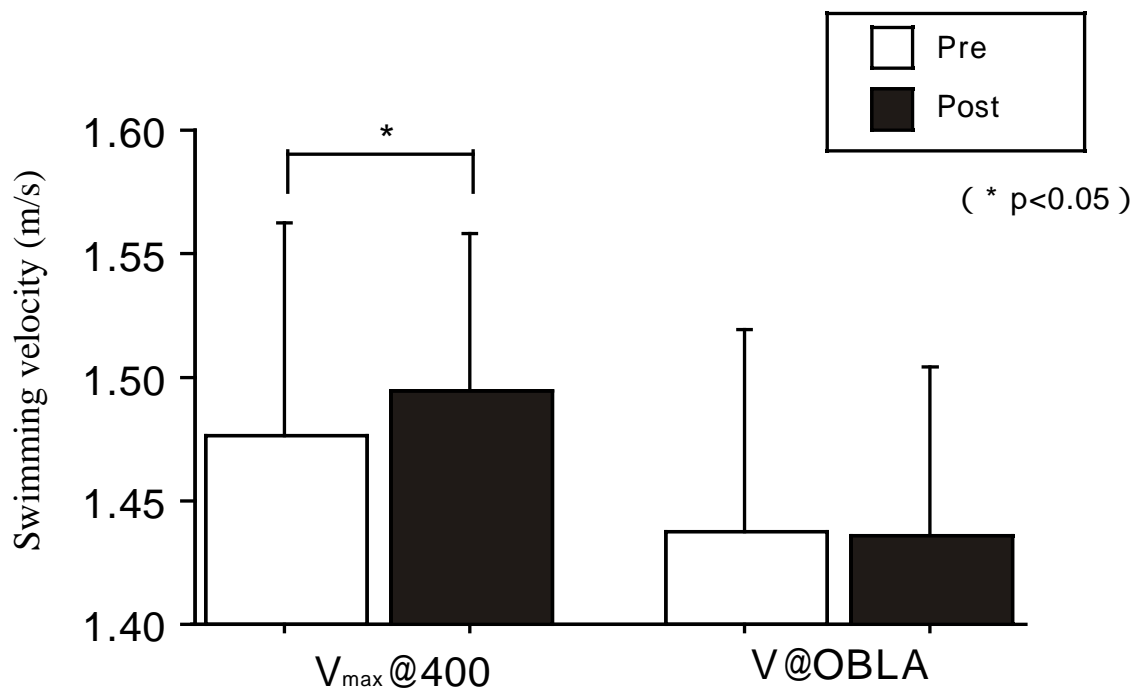


Fig. 15 Changes in $V_{\max} @ 400$ and $V @ OBLA$ between pre- and post-test.

(2) インターバル泳後における血中乳酸濃度

図 16 にインターバル泳後の血中乳酸濃度における Pre と Post の比較を示した。それぞれの血中乳酸濃度は Pre においては INT1 ; 3.6 ± 0.8 mmol/L、INT2 ; 3.5 ± 0.6 mmol/L、INT3 ; 3.4 ± 0.6 mmol/L で、Post では INT1 ; 3.4 ± 0.9 mmol/L、INT2 ; 3.0 ± 0.5 mmol/L、INT3 ; 2.7 ± 0.6 mmol/L であった。3 種類の異なる休息時間についてそれぞれ試技間で比較を行なったところ、Pre では、試技間で有意な差は認められなかったが、Post において、INT1 と INT3 に有意な差が認められた ($P < 0.05$)。また、Pre と Post の比較では、INT1 では有意な差は認められなかったが、INT2 と INT3 においてそれぞれ Post が Pre よりも有意に低い値を示した ($P < 0.05$)。

4 . 考察

(1) V@OBLA の変化

図 15 に示したように、本研究においては、8 週間の水泳トレーニングの前後で V@OBLA が有意に変化しなかった。OBLA に相当する運動強度はアシドーシスなしに有酸素能力を効果的に改善させることができるため、効果的な有酸素性トレーニング強度になりうると言われている (Maglischo et al., 1982 ; Skinner, 1987)。また、Olbrecht et al. (1985) は水泳運動において OBLA に相当する泳速度は 30 分間全力泳の平均泳速度と非常に近似しており、30 分間全力泳後の血中乳酸濃度が 4.01 ± 0.75 mmol/L であったことを認めている。この結果は、OBLA に相当する泳速度は、血中での乳酸の生成と除去が balan

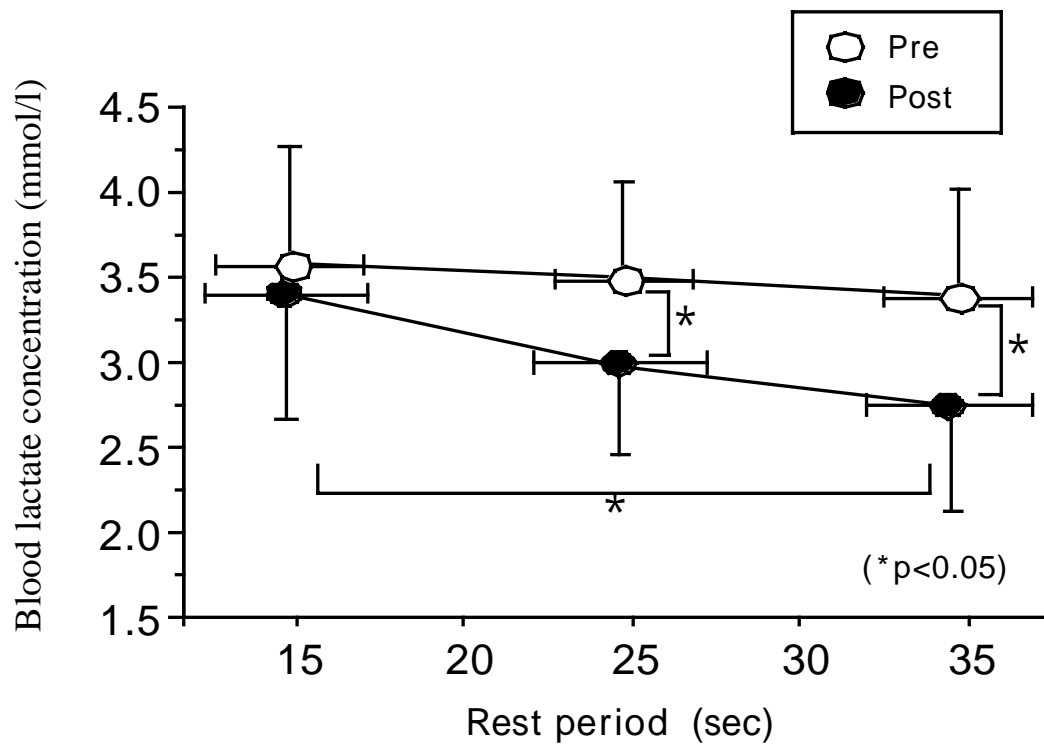


Fig. 16 Changes in blood lactate during the 8 × 200 m interval swimming test between pre- and post-test.

スがとれている最大の強度として定義されている最大乳酸定常状態 (Beneke and Duvillard, 1996) に近いということを示唆しているものと考えられる。さらに、OBLA に相当する運動強度は持久的な種目のパフォーマンスや有酸素能力と非常に相関が高いということで、有酸素能力の 1 つの有効な指標として用いられている (Heck et al., 1985 ; Kindermann et al., 1979 ; Yoshida et al., 1987)。これまで、有酸素能力に関するトレーニング効果に関する研究報告では、10 週間の有酸素性トレーニングによって $\dot{V}O_{2max}$ が直線的に増加し続けた (Hickson et al., 1977)、6 ヶ月の水泳トレーニングによって OBLA に相当する泳速度が有意に改善された (Wakayoshi et al., 1993)、14 週間のトレッドミル走のトレーニングによって $\dot{V}O_{2max}$ および OBLA に相当する走速度が有意に改善された (Sjodin et al., 1982) など、有酸素能力の指標とされている項目の改善が数多く報告されている一方で、有酸素能力の主要な改善はトレーニングを開始してから最初の 8 週間で起こり、その後はトレーニング量を増加させてもほとんど変化しなかったという報告もある (Costill et al., 1991)。また、前述したように、Pre-test は、本実験を行なうための準備期間としてシーズン開始後 8 週間を経てから行われ、この期間中、トレーニング距離は 1 週間に 30km から 60km まで徐々に増加させ、その内容は約 90% が有酸素性トレーニングであった。また、本研究における被検者は全国大会上位入賞者を数名含む非常によくトレーニングを行なっている大学男子競泳選手であった。これらの状況と、Costill et al. (1991) らの研究報告を併せると、本研究においては、Pre-test の時点で有酸素能力がすでにほぼプラトーに達していたため、その後の 8 週間の水泳トレーニングによって有酸素能力の大きな改善は見られなかったものと推測できる。

(2) $V_{\max@400}$ の変化

8 週間の水泳トレーニングによって $V@OBLA$ は有意に変化しなかった一方で、400 m 全力泳については、試技終了後の血中乳酸濃度には有意な変化が見られなかったものの、そのパフォーマンス ($V_{\max@400}$) は、有意な改善が認められた ($P < 0.05$)。400 m 全力泳パフォーマンスは $\dot{V}O_{2\max}$ の 85% に相当する泳速度と高い相関関係があることが報告されている (Rebeiro et al., 1990)。また、Costill et al. (1985) は、400 yd (365.8 m) 全力泳パフォーマンスは $\dot{V}O_{2\max}$ と有意な相関関係は認められたものの、その相関係数が小さかった ($r = 0.43$) ことを認めている。これらのことから、400 m 全力泳パフォーマンスは $\dot{V}O_{2\max}$ に直接依存しているのではなく、有酸素能力と無酸素能力両方の能力とも必要としていることが考えられる。さらに、より高い血中乳酸濃度に耐える能力やそのような状態におけるスイミングエコノミー (推進効率) が高いことが 400 m 泳パフォーマンスに関与する重要な要因であることが示されている (Madsen and Lohberg, 1987 ; Rebeiro et al., 1990 ; Troup, 1986)。これらのことを踏まえると、本研究において、前述したように Pre-test の時点で有酸素能力がほぼプラトーに達していたと考えられ、400 m 全力泳後の血中乳酸濃度には有意な変化が見られずパフォーマンスが改善されたことから、8 週間の水泳トレーニングによる 400 泳パフォーマンスの有意な改善は、より高い血中乳酸濃度に耐える能力および 400 m 全力泳時のスイミングエコノミーが改善されたことによるものと推測される。

(3) インターバル泳におけるトレーニング負荷の変化

図 16 で示したように、Pre-test において異なる休息時間の試技間で血中乳酸濃度に有意な差は認められなかったにも関わらず、Post-test において

INT3 時の血中乳酸濃度が INT1 よりも有意に低い値を示した。おおよそ V@OBLA 付近の泳速度は有酸素能力を効果的に改善させるため、有酸素性トレーニングはその泳速度付近で行なうことがよいと示されている (Maglischo et al., 1982 ; Skinner, 1987)。したがって、本研究の結果を踏まえると、有酸素性トレーニングとして泳速度を規定しインターバルトレーニングを行なう場合、休息時間がより長くなるとトレーニング負荷を過小評価してしまう可能性が考えられる。このような結果は、インターバル泳において泳速度と同様に休息時間もトレーニング負荷に大きく影響を及ぼすという研究課題 I (第 IV、V 章) の結果や過去の研究結果 (Olbrecht et al., 1985) を支持するものであった。したがって、トレーニングによって、インターバル泳における休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は変化することが示された。さらに、これらのインターバル泳は、トレーニング効果を調べる上でコーチや選手に、より詳細な情報を提供できる評価方法としても役立ち、インターバル泳に関して新たな知見を提供できたものと考えられる。

また、同一の休息時間かつ泳速度におけるインターバル泳であったにも関わらず、8 週間の水泳トレーニングによって、休息時間がより長い INT2 および INT3 において血中乳酸濃度の有意な減少傾向が認められ (図 16)、インターバル泳のトレーニング負荷が減少したことが示された。それゆえ、たとえ有酸素能力がほぼプラトーに達していても、トレーニングを継続することにより、休息時間が比較的長いインターバル泳におけるトレーニング負荷は軽減されるものと考えられる。言い換えれば、トレーニングによって、インターバル泳の休息時間が比較的長い場合、血中乳酸濃度の増加なしにより速く泳ぐことができるようになると考えられる。このようなインターバル泳におけるトレーニング効果は、効率的にトレーニングを遂行させる上でシーズンが進むにつれイン

ターバル泳の休息時間を長くし泳速度を増加させるべきあるという Stewart and Hopkins (2000) の概念を支持するものであり、トレーニングを進めていく上で重要不可欠なことであると考えられる。

5．要約

本研究の目的は、8週間の水泳トレーニングが、インターバル泳のトレーニング負荷にどのような影響を及ぼすのか $V@OBLA$ および $V_{max@400}$ の変化と関連づけて検討することであった。大学男子競泳選手を対象として、8週間の水泳トレーニング前後に、 $V@OBLA$ 、 $V_{max@400}$ を測定し、さらに各々の $V@OBLA$ での $8 \times 200m$ インターバル泳を休息時間の異なる3つの試技（INT1；10-20秒、INT2；21-30秒、INT3；31-40秒）についてそれぞれ行なわせ、インターバル泳のトレーニング負荷を試技後の血中乳酸濃度で比較した。

本研究で得られたおもな結果は次の通りである。

8週間の水泳トレーニングによって

- 1) $V@OBLA$ は有意な変化が認められなかった。
- 2) $V_{max@400}$ は有意な改善を示した ($P < 0.05$)。
- 3) 休息時間のより長い（INT2 および INT3）インターバル泳後の血中乳酸濃度が有意に減少した ($P < 0.05$)。

上述の結果から、8週間の水泳トレーニングによって $V@OBLA$ から判断した有酸素能力は変化がなかったにも関わらず、休息時間が比較的長いインターバル泳におけるトレーニング負荷は軽減されることが示された。このことは、

インターバル泳における休息時間がトレーニング負荷に与える影響はトレーニングによって変化することを示唆するものである。

VII . インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度 (実験 4)

1 . 目的

運動に必要なエネルギーは有酸素エネルギーおよび無酸素エネルギーによって供給され、運動時間や運動強度によってそれぞれのエネルギー供給機構の貢献度が異なる。 $\dot{V}O_2$ が定常状態を引き起こすような最大下運動においては、この定常状態での $\dot{V}O_2$ が運動で使われるエネルギーと等しいと考えられることから、総酸素需要量をほぼ正確に見積もることができ、したがって、無酸素エネルギー供給量は正確に評価できる (Bangsbo et al., 1990)。一方、 $\dot{V}O_{2max}$ を超えるような運動強度に関して、Medbo et al. (1988) は、運動強度が異なっても機械的効率は変化しないという仮説に基づき、最大下の運動強度と $\dot{V}O_2$ の直線関係から、無酸素エネルギー供給量を定量化し、エネルギー供給機構の貢献度を求める方法論を示した (図 3 参照)。このような方法論を用い、今まで連続的水泳運動中のエネルギー供給機構の貢献度に関する研究がいくつか報告され (平井ら, 1993 ; Ogita et al., 1996 ; Ogita et al., 1999 ; Robert et al., 2000)、様々な運動時間あるいは運動強度における水泳運動中のエネルギー供給機構の貢献度が明らかにされている。

ところで、有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳におけるトレーニング負荷は、一般的に血中乳酸濃度によって評価されており (Olbrecht et al., 1985 ; Beltz et al., 1988 ; Wakayoshi et al., 1999)、本研究においても、第 IV 章および第 V 章で、インターバル泳試技後の血中乳酸濃度を用い、泳速だけでなく 10 秒という短い休息時間の差がトレーニング負荷に影響を及ぼ

すことを明らかにした。しかし、これらはインターバル泳の試技終了後における評価のため、なぜそのような短い休息時間差でトレーニング負荷に差が生じるのか、あるいは休息時間中にどのような回復が行われているのか、その詳細はまだ明確にされていない。

また、これまでインターバル泳中の $\dot{V}O_2$ を測定し、エネルギー供給機構の貢献度について検討した研究は見られない。インターバル泳におけるエネルギー供給機構の貢献度を推定することにより、どのような機序によって休息時間の違いがトレーニング負荷に影響を及ぼしているのか、さらには、休息時間中の回復のメカニズムを推測することも可能になると思われる。

そこで本研究の第 1 の目的は、インターバル泳中の $\dot{V}O_2$ を測定することにより、インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度を明らかにすることであった。

さらに、同一運動時間の全力走運動であっても、スプリントタイプや持久タイプといった選手の能力のタイプによってエネルギー供給機構の貢献度が異なるという報告がなされていることから (Scott et al., 1991)、インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度は選手の泳能力のタイプとどのような関連性があるのかを検討することを本研究の第 2 の目的とした。

2. 方法

(1) 被検者

被検者には、普段から非常によくトレーニングを行なっている大学男子競泳選手 7 名を用いた。被検者の泳能力のタイプを示す指標として、各被検者の

100 m および 200 m の ベ ス ト タ イ ム の 平 均 泳 速 度 の 比
($V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$) を用いた。

なお、すべての被検者に実験の趣旨および手順について説明をし、参加の同意を得た。被検者の身体的特徴を表 6 に示した。

(2) 実験環境およびウォーミングアップ

本研究における全ての実験は垂直循環型回流水槽（五十嵐工業社製）を用いて行われ（図 17）、いずれのテストにおいても泳法はクロール泳とし、被検者はスノーケルタイプの水泳用マスクを装着し、試技を行なった。実験に先立ち、被検者には、あらかじめ規定した約 30 分間（約 2000 m）のウォーミングアップを行なわせた。

(3) 実験プロトコールおよび測定項目

1) プレテスト（間欠的 4 段階漸増負荷テスト泳）

各被検者の $V@OBLA$ を測定するため、4 段階（最大下泳速度）の間欠的漸増負荷テスト泳をそれぞれ 4 分間行なわせた。それぞれの段階における試技終了後の血中乳酸濃度から、泳速度と血中乳酸濃度の関係を用い、Jacobs et al. (1981) の方法に従い $V@OBLA$ を算出した。

2) 連続泳テストおよびインターバル泳テスト

プレテストで求めた各被検者の $V@OBLA$ で 10 分間の連続泳テスト（CON）および 1 分間水泳運動に 20 秒間休息を挟み 10 回繰り返すインターバル泳テスト（INT20）、1 分間水泳運動に 30 秒間休息を挟み 10 回繰り返すインターバル泳テスト（INT30）を行なわせた。なお、全てのテストは日を変えて行わ

Table 6. The physical characteristics of the subjects (n=7)

	Age (yrs)	Height (cm)	Body Weight (kg)	% Body Fat (%)
Mean	20.0	172.3	67.1	12.2
SD	1.5	6.0	5.6	3.1
Range	19-23	162.5-181.7	60.6-74.0	7.8-16.1

% Body Fat was measured with a body composition analyzer (BC-118, TANITA, Tokyo, Japan), which estimated with bioimpedance analysis system.

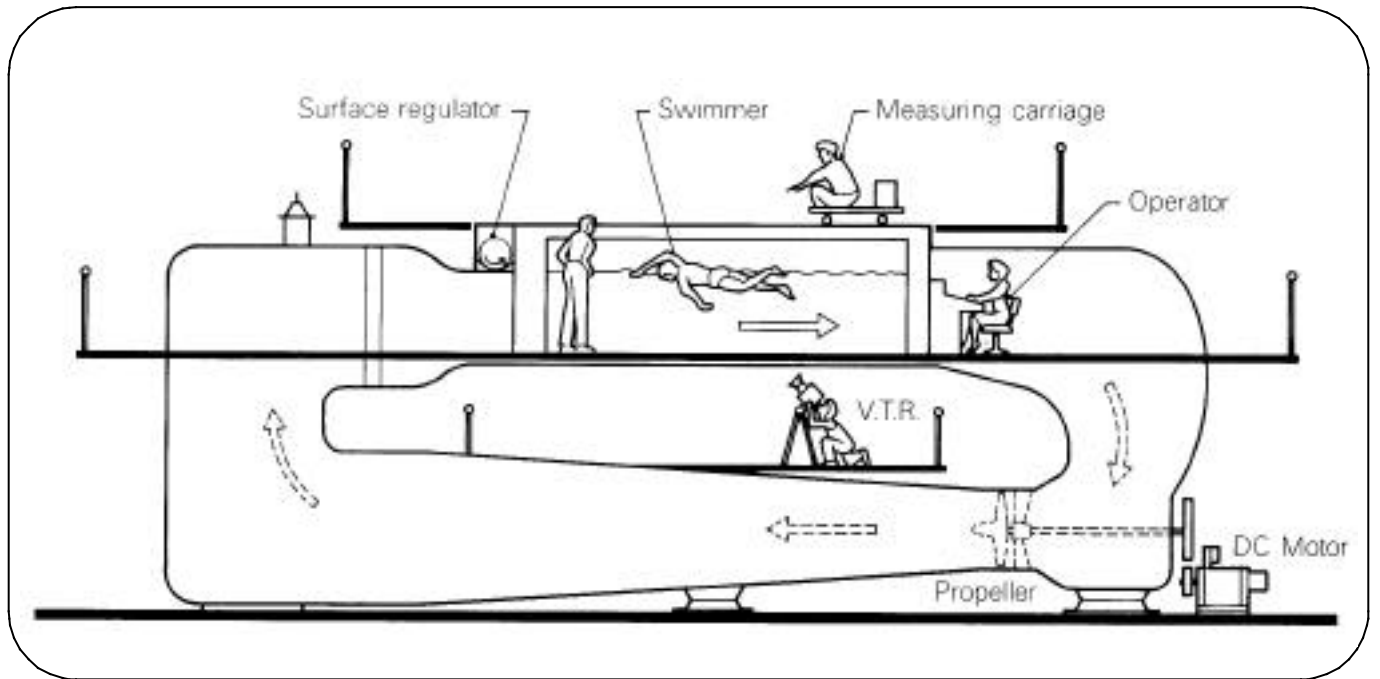


Fig. 17 Swimming flume used in the present study

れ、プレテストの終了後、CON、INT20、INT30 はランダムに行われた。

3) 測定項目

CON、INT20、INT30 とともに、試技終了後の血中乳酸濃度および試技中の $\dot{V}O_2$ を測定した。血中乳酸濃度は試技終了 1 分後、3 分後、5 分後に指先より採血し、自動血中乳酸分析器 (BIOSEN5030 ; EKF 社製) を用いて測定し、最も高い値をその試技の血中乳酸濃度として用いた。また、被検者は水泳用にデザインされたシュノーケルタイプのマスクを装着し、試技を行なった。呼気ガスは蛇管を通して自動呼気ガス測定装置 (AE-280S ; ミナト医科学社製) に送られ、10 秒間毎に $\dot{V}O_2$ を測定した。

図 18 に連続泳テストおよびインターバル泳テストにおける総酸素摂取量および総酸素借の測定方法を示した。連続泳テスト中、全被検者において $\dot{V}O_2$ の定常状態を確認し、被検者個々について総酸素需要量が決められた。総酸素借は設定された総酸素需要量から実際の総酸素摂取量を引くことによって求められた。また、インターバル泳テストにおいても連続泳テストと同様に被検者個々の $V@OBLA$ で試技を行なったことから、インターバル泳テスト中に必要とされる総酸素需要量は連続泳テスト中の定常状態時と同一に見積もられた。したがって、インターバル泳テスト中の水泳運動時における総酸素借は連続泳テストで設定された総酸素需要量から水泳運動時における実際の総酸素摂取量を引くことによって求められた。

(4) 統計処理

測定項目は全て平均値 \pm 標準偏差で示した。なお、各測定項目における平均値の有意差検定を行なった。テスト間の有意差検定には、一元配置の分散分析

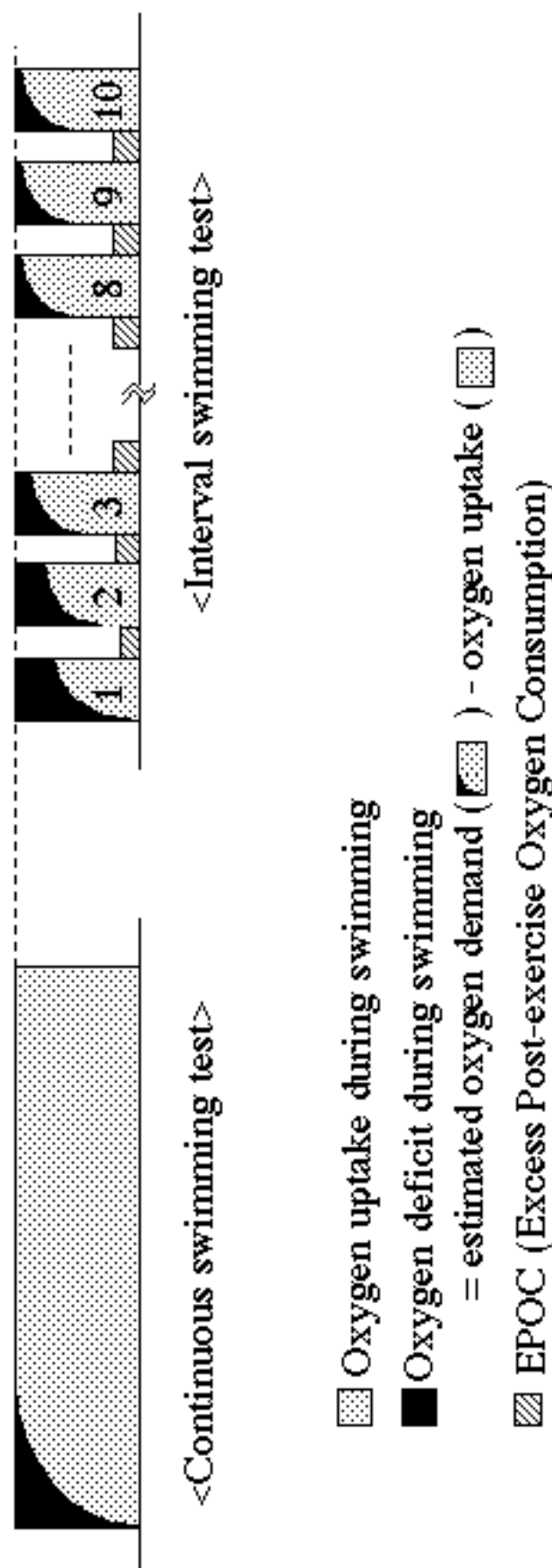


Fig. 18 Method for calculating the accumulated oxygen uptake and accumulated oxygen deficit.

を用い、F 値が有意であった項目についてはさらに多重比較を行なった。各項目間の相関係数はピアソンの積率相関分析を用いて求めた。これらの統計処理の有意性は危険率 5%未満で判定した。

3．結果

図 19 に CON、INT20、INT30 それぞれの試技間における血中乳酸濃度の比較を示した。CON (5.0 ± 1.8 mmol/L) は INT20 (3.5 ± 1.3 mmol/L) および INT30 (3.2 ± 0.5 mmol/L) と比較して有意に高い値を示したが ($P < 0.05$)、INT20 と INT30 の間には有意な差は認められなかった。

図 20 および図 21 に総酸素摂取量および総酸素借における試技間の比較をそれぞれについて示した。総酸素摂取量について、全ての試技間で有意な差 ($P < 0.05$) が認められ (CON ; 530 ± 93 ml/kg、INT20 ; 459 ± 95 ml/kg、および INT30 ; 378 ± 52 ml/kg)、総酸素借においても全ての試技間で有意な差 ($P < 0.05$) が認められた (CON ; 39 ± 13 ml/kg、INT20 ; 110 ± 69 ml/kg、および INT30 ; 191 ± 70 ml/kg)。

有酸素エネルギー供給量は運動中の総酸素摂取量によって評価され、無酸素エネルギー供給量は総酸素借によって評価されるため、有酸素エネルギーと無酸素エネルギー供給機構の貢献度は、総酸素摂取量と総酸素借の比率によって求められる (Bangsbo et al., 1990 ; Medbo et al., 1988)。そこで、本研究においても、図 20 および図 21 の結果から有酸素エネルギー供給機構および無酸素エネルギー供給機構の貢献度を求め、図 22 に示した。有酸素エネルギー供給機構の貢献度は、CON ; $93.3 \pm 1.1\%$ 、INT20 ; $81.0 \pm 10.4\%$ 、INT30 ;

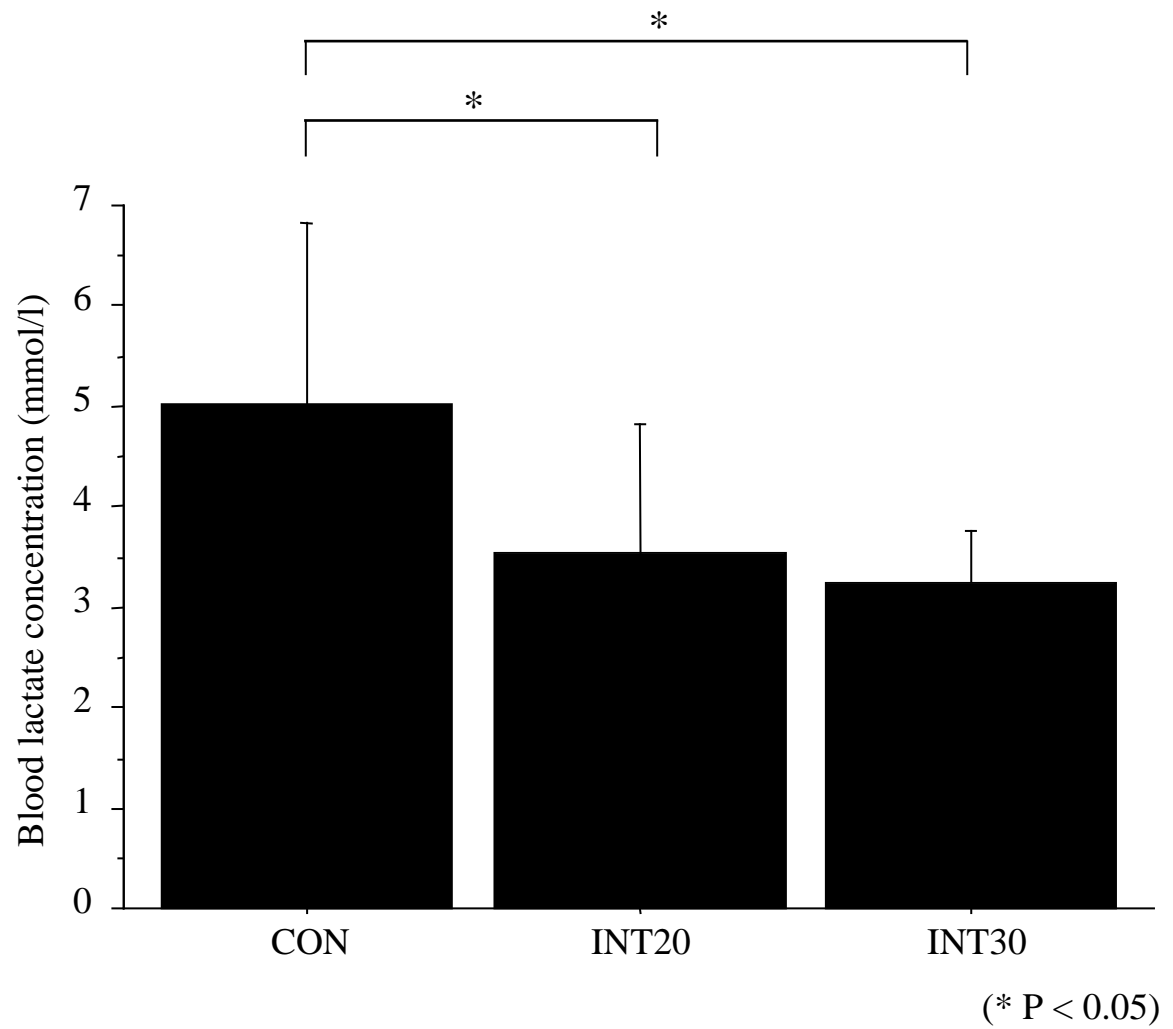


Fig. 19 Comparisons in blood lactate concentration between CON, INT20 and INT30.

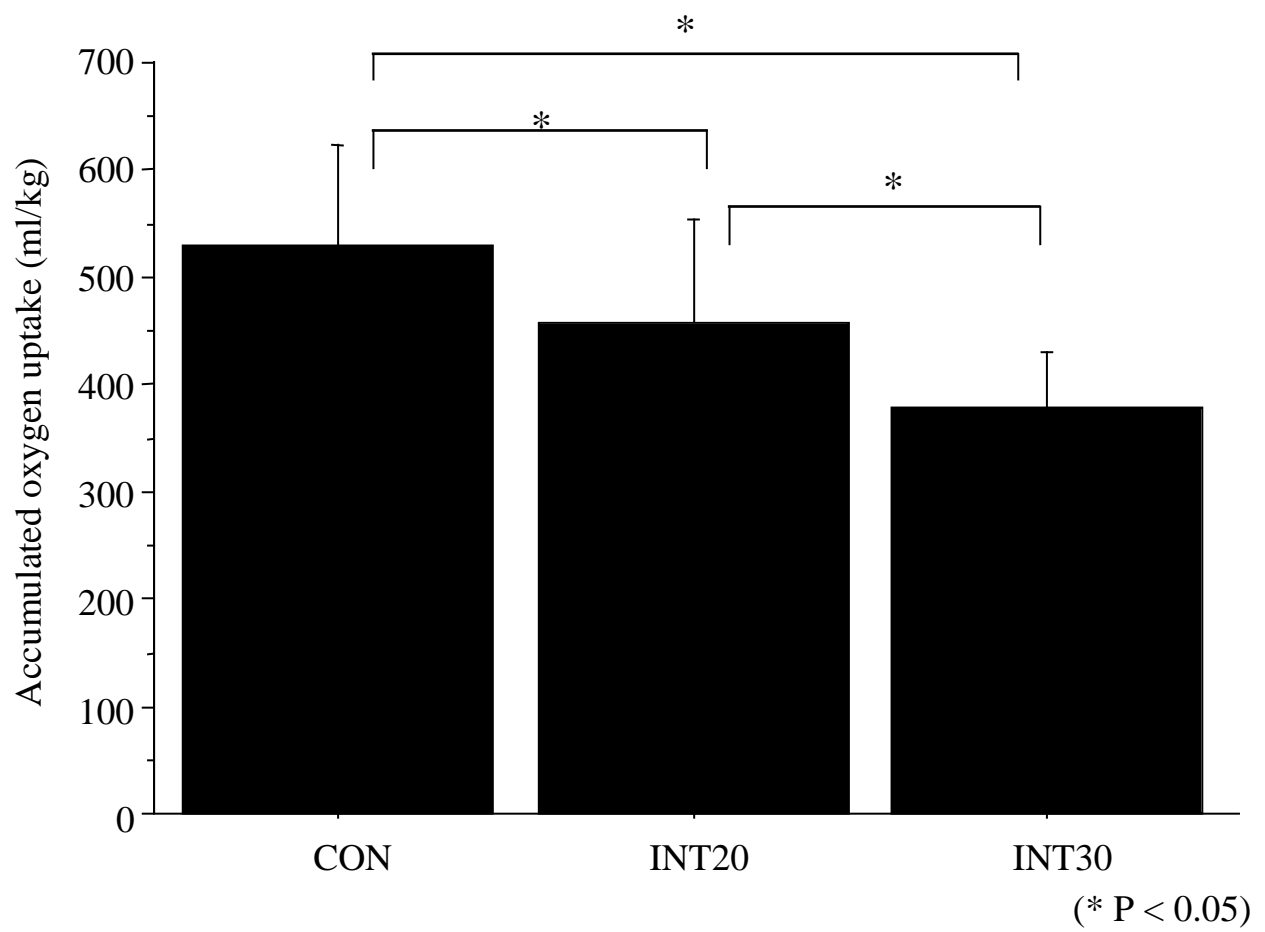


Fig. 20 Comparisons in accumulated oxygen uptake between CON, INT20 and INT30.

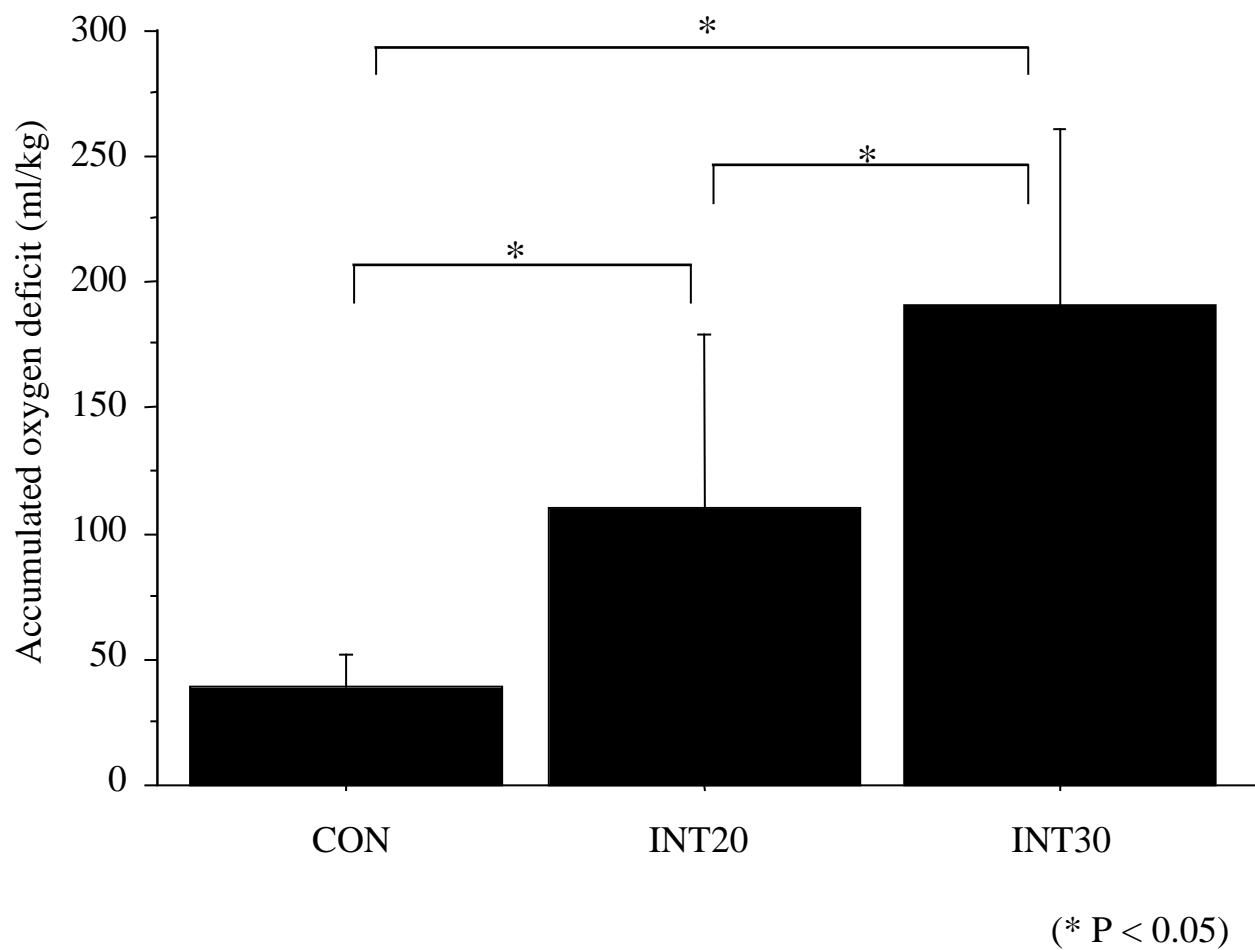


Fig. 21 Comparisons in accumulated oxygen deficit between CON, INT20 and INT30.

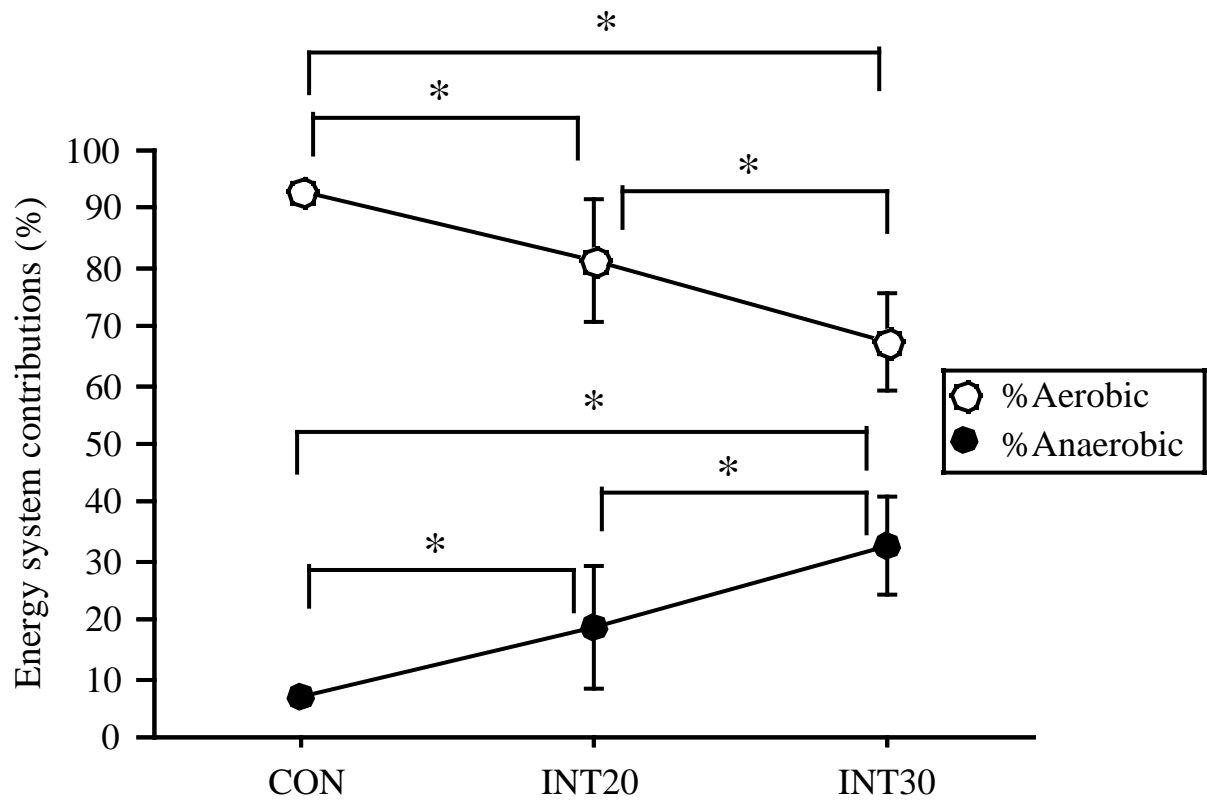


Fig. 22 Comparisons in relative aerobic and anaerobic energy system contributions between CON, INT20 and INT30.

67.4 ± 8.5% で、それぞれの試技間で有意な差 ($P < 0.05$) が認められた。また、無酸素エネルギー供給機構の貢献度は、CON ; 6.7 ± 1.1%、INT20 ; 19.0 ± 10.4%、INT30 ; 32.6 ± 8.5% で、同様にそれぞれの試技間で有意な差 ($P < 0.05$) が認められた。

表 7 に INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度と $V_{\text{best}@100}$ (100 m ベストタイムの平均泳速度)、 $V_{\text{best}@200}$ (200 m ベストタイムの平均泳速度)、 $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ それぞれの変数との関係を示した。INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度は $V_{\text{best}@100}$ ($r = 0.38$, ns) および $V_{\text{best}@200}$ ($r = 0.07$, ns) とは有意な相関関係は認められず、 $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.81$, $P < 0.05$)。さらに図 23 に $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ と INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度の関係を示した。全ての被検者について Nomura et al. (1999) らの方法を用い、相対的に 100 m または 200 m を得意としているかあるいは両立型かを分類するために 3 つの泳能力タイプ分け (スプリントタイプ、持久タイプ、両立タイプ) を行なった。その結果、 $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ の値がより大きい 2 名の被検者がスプリントタイプ ()、より小さい 3 名の被検者が持久タイプ ()、それ以外の 2 名の被検者が両立タイプ () を示した。

4 . 考察

(1) 連続泳とインターバル泳との比較

図 19 および図 22 に示したように、同一泳速度で泳いでいるにも関わらず、

Table 7. Correlation between relative anaerobic contribution during INT30 and variables

Variable	r	r ²	p
$V_{\text{best@100}}$	0.38	0.14	>0.05
$V_{\text{best@200}}$	0.07	0.05	>0.05
$V_{\text{best@100}}/V_{\text{best@200}}$	0.81	0.65	<0.05

$V_{\text{best@100}}$; mean swimming velocity derived from best record for 100m

$V_{\text{best@200}}$; mean swimming velocity derived from best record for 200m

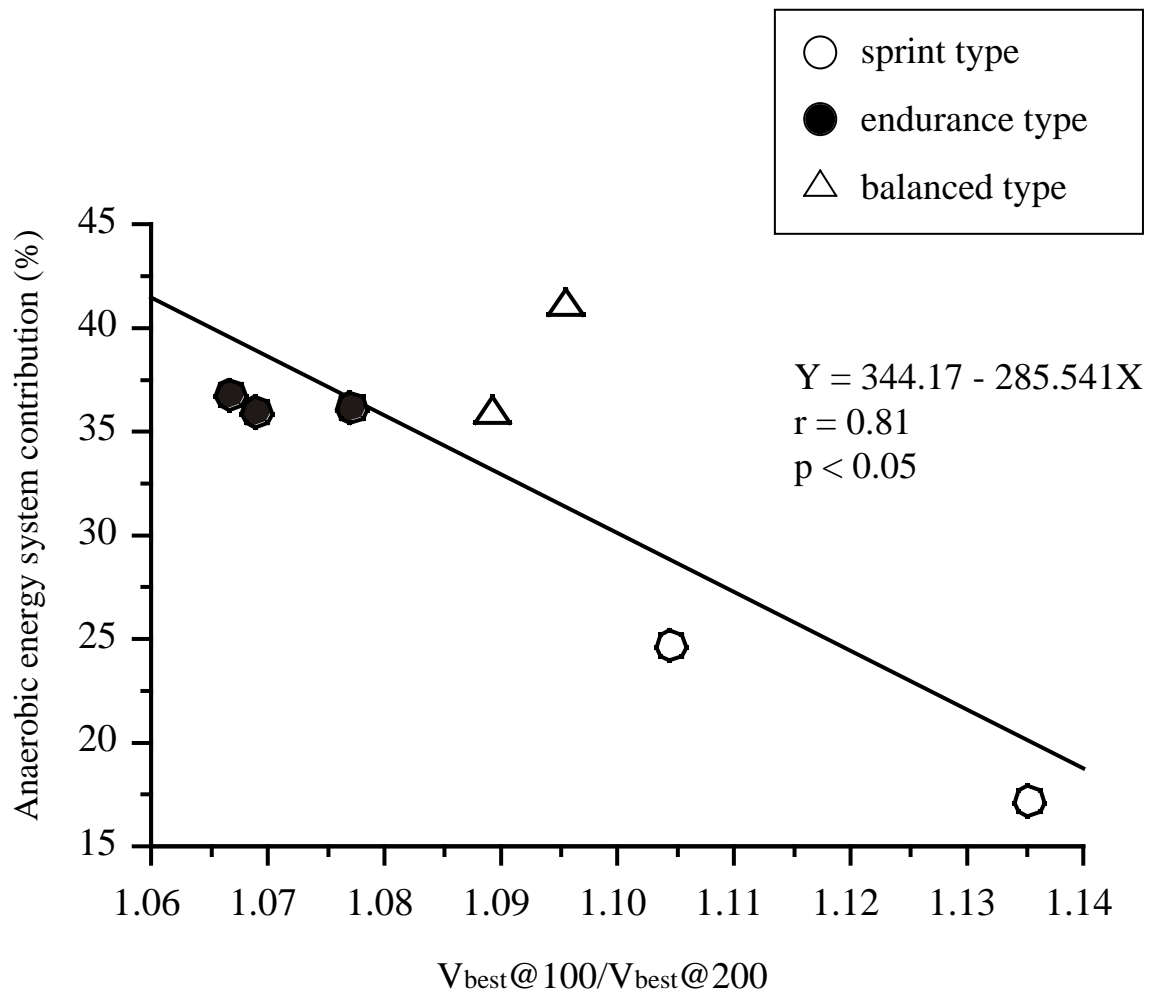


Fig. 23 Relationship between $V_{best@100}/V_{best@200}$ and anaerobic energy system contribution during INT30.

CON はINT20 およびINT30 と比較し、血中乳酸濃度および有酸素エネルギー供給機構の貢献度が有意に高い値を示した。Fox et al. (1969) は同一運動強度および同一運動時間における間欠的運動と連続的運動を比較すると、間欠的運動は、休息時間中に PCr が再合成され、そのエネルギーが次の運動で利用されるため乳酸の蓄積が遅れ、疲労を遅らせることができると報告している。その結果、間欠的運動は連続的運動と比べ、解糖系からのエネルギー供給がより低く、ATP-PCr 系からのエネルギー供給がより大きくなることを示している。それらの理由から、間欠的運動は連続的運動と比較して、同一運動強度において、より長い時間、運動を継続できることが認められている (Damarie et al., 2000)。以上のことから、同一泳速度および同一泳時間における連続泳とインターバル泳を比較したところ、インターバル泳における血中乳酸濃度がより低く、無酸素エネルギー供給機構の貢献度がより高いという本研究の結果は、上述したような先行研究を支持するものであると考えられる。

(2) 休息時間の異なる試技間での比較

血中乳酸濃度は INT20 と INT30 の間に有意な差が認められなかったにも関わらず、無酸素エネルギー供給機構の貢献度は INT30 のほうが INT20 よりも有意に高い値が認められた。INT20 と INT30 は同一泳速度および同一運動時間で、休息時間のみが異なるインターバル泳の試技であるため、これらの結果から INT30 は INT20 と比較し、10 秒間のより長い休息時間中に無酸素エネルギーがより多く回復したものと考えられる。間欠的運動中のパフォーマンスは休息時間中の回復能力に依存し (Balsom et al., 1992 ; Blonc et al., 1998)、その回復能力は PCr の再合成、乳酸の分解によるグリコーゲンへの合成、筋中の酸素濃度の回復などによって決定されると言われている (Tabata et al.,

1997)。さらに、運動終了直後における過剰な $\dot{V}O_2$ の大部分は PCr の再合成に使用される (Piiper and Spiller, 1970)。これらの先行研究および本研究結果から、INT20 と INT30 との間におけるエネルギー供給機構の貢献度の違いは休息時間中の PCr の再合成が主な原因であると推測できる。

(3) エネルギー供給機構の貢献度と泳能力のタイプとの関連性

インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度は選手の泳能力のタイプとどのような関連性があるのかを検討するため、INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度と被検者の泳能力のタイプとの関係について表 7 および図 23 に示した。

INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度は $V_{best@100}$ および $V_{best@200}$ とは有意な相関関係がなく、 $V_{best@100}/V_{best@200}$ と有意な相関関係が認められたことから (表 7)、エネルギー供給機構の貢献度は水泳パフォーマンスの優劣とではなく、泳能力のタイプと関連性があることが示された。

さらに、図 23 の結果より、無酸素エネルギー供給機構の貢献度はスプリントタイプの被検者ほど低く、持久タイプの被検者ほど高い傾向が認められた。先行研究によってスプリントタイプの選手ほど速筋線維の占める割合が大きく、より無酸素的な能力を有しており、対照的に、持久タイプの選手ほど遅筋線維の占める割合が大きく、より有酸素的な能力を有していることが示されている (Costill et al., 1976a)。また、間欠的運動の休息時間中、更なる乳酸は生成されず、有酸素的な過程を通して、PCr が再合成されるということが報告されている (Mole et al., 1985)。さらに、高い有酸素能力を有している被検者ほど高い酸化能力を有しており (Costill et al., 1976b)、PCr の回復能力に優れているという報告 (Jansson et al., 1990; Takahashi et al., 1995) や長距離

走者のような有酸素的持久性競技者は PCr の回復時間がより短いこと (Yoshida and Watari, 1993) などが報告されている。これらの先行研究から、一般的に高い有酸素能力を有している持久タイプの選手は、休息時間中における PCr の回復能力に優れていると考えられる。その結果、スプリントタイプの選手よりも休息時間によって無酸素エネルギーがより回復するため、エネルギー供給機構の貢献度に与える影響が大きくなるものと考えられる。これらの結果から、もしインターバル泳の休息時間がスプリントタイプや持久タイプといった選手の泳能力のタイプを考慮せずに設定された場合、エネルギー供給機構の貢献度が過大にあるいは過小に見積もられる可能性があることを示唆するものである。したがって、これらの泳能力のタイプはインターバル泳をデザインするうえで非常に重要な情報であることが考えられる。

5 . 要約

本研究の目的は、インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度を明らかにし、その貢献度は泳能力のタイプとどのような関連性があるのかを検討することであった。大学男子競泳選手を対象として、回流水槽における各々の V@OBLA で 10 分間の連続泳 (CON) および 1 分間水泳運動に 20 秒間休息を挟み 10 回繰り返すインターバル泳テスト (INT20)、1 分間水泳運動に 30 秒間休息を挟み 10 回繰り返すインターバル泳テスト (INT30) の 3 試技を行なわせた。それぞれの試技における総酸素摂取量および総酸素借を測定し、有酸素および無酸素エネルギー供給機構の貢献度を算出した。

本研究で得られたおもな結果は次の通りである。

- 1) インターバル泳は、同一速度かつ同一総時間の連続泳に比べ、血中乳酸濃度が有意に低く ($P < 0.05$)、無酸素エネルギー供給機構の貢献度が有意に高いことが認められた ($P < 0.05$)。
- 2) INT20 と INT30 を比較したところ、血中乳酸濃度には有意な差が認められなかったにも関わらず、INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度が INT20 のそれよりも有意に高いことが認められた ($P < 0.05$)。
- 3) INT30 における無酸素エネルギー供給機構の貢献度は持久タイプの被検者ほど高く、スプリントタイプの被検者ほど低い傾向が認められた。

上述の結果は、10 秒間という短い休息時間によって、エネルギー供給機構の貢献度は影響を受け、さらに、その貢献度は泳能力のタイプと関連性があるということを示すものである。このことは、泳能力のタイプはインターバル泳をデザインするうえで一つの重要な視点になりうるものと考えられる。

VIII . 総合討論

水泳のトレーニングでは、そのほとんどがインターバル泳の形式で行われているにも関わらず、連続的運動形式に比べ、間欠的運動形式に関する研究が非常に少なく、インターバル泳のトレーニング負荷に影響を与える要因についてあまり明らかにされていない。このような背景もあり、実際のトレーニング現場では、インターバル泳を立案する場合、現場のコーチの勘や経験に基づいて行われているのが現状である。

本研究では、インターバル泳における休息時間の長さについて、どの程度の違いがトレーニング負荷に影響を与えるのかを明らかにするとともに、今までほとんど検討されてこなかった泳種目や個々の泳能力のタイプあるいは一定期間のトレーニングの影響とインターバル泳のトレーニング負荷との関連性について検討した。

1 . インターバル泳におけるトレーニング負荷を決定する要因

これまで、有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳について、その休息時間は 10 秒間と 30 秒間の違いでトレーニング負荷に影響を及ぼすことが報告されてきた (Olbrecht et al., 1985 ; Madsen and Lohberg, 1987) 。しかし、本研究では、更に詳細な実験設定を行なったことにより、わずか 10 秒の休息時間差でトレーニング負荷に影響を及ぼすことが認められた (研究課題 1-1) 。このことは、休息時間に関して今まで詳細な設定が重要視されてこなかったが、休息時間は泳速度と同様にインターバル泳におけるトレーニング負荷を決定する上で非常に重要な因子であることを示唆するものである。

一方、水泳競技では、50 mから 1500 mまでのレース距離が存在するため、その専門性に応じて、スプリントタイプや持久タイプといった泳能力のタイプに分類することができる。先行研究において、このような能力のタイプにより、同一時間の全力運動中に動員されるエネルギー供給機構の貢献度が異なることが報告されている（Scott et al., 1991）ことから、インターバル泳のトレーニング負荷を検討する際、このような泳能力のタイプとの関連性も考慮する必要があると考えられる。そこで、本研究では、どのような泳能力のタイプの選手が休息時間の影響を受けやすいのか検討した（研究課題 1-2）。その結果、泳能力のタイプを示す指標として用いた 100 mベストタイムの平均泳速度と 200 mベストタイムの平均泳速度の比（ $V_{\text{best}@100}/V_{\text{best}@200}$ ）と INT3 と INT1 の血中乳酸濃度の比（ $LA@INT3/LA@INT1$ ）との間に有意な正の相関関係が認められた（図 7； $r=0.78$ 、 $P<0.05$ ）。このことは、泳能力のタイプはトレーニング負荷に影響を及ぼす一つの要因であり、持久タイプの選手はスプリントタイプの選手よりも、休息時間中により早く回復することを示唆するものである。

また、水泳競技には 4 つの泳種目が存在し、クロールは上肢および下肢を左右交互に使用するに対して、同じ伏臥位姿勢でも平泳ぎやバタフライは常に左右対称の動作であるため、泳種目によって必要とされる主動筋が異なる（Maglischo, 1993）。有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳は、専門とする泳種目だけでなく、クロールで行なわれることも多いため、インターバル泳に関する先行研究（Olbrecht et al., 1985；Beltz et al., 1988；Wakayoshi et al., 1999）はそのほとんど全てがクロールを対象としている。したがって、その研究結果をそのまま他の泳種目に当てはめることはトレーニングをより正確に管理する上でふさわしくないと考えられる。そこで、本研究

では、同一被検者が自分の専門とする泳種目（平泳ぎまたはバタフライ）とクロールで同一相対速度（ $V@OBLA$ ）におけるインターバル泳を行なった場合のトレーニング負荷について比較検討した（研究課題 1-3）。その結果、専門とする泳種目とクロールでの試技間で、トレーニング負荷に有意な差は認められなかった（図 10、図 11）。また、専門とする泳種目においてもクロールと同様にそのトレーニング負荷は泳能力のタイプと関連性があることが認められた（図 12）。これらのことは、インターバル泳におけるトレーニング負荷は、泳種目との関連性が低く、泳種目の違いよりも泳能力のタイプによって影響を及ぼされることを示唆するものである。

さらに、本研究では、8 週間の水泳トレーニングによって、インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は変化するか否か、 $V@OBLA$ の変化と関連づけて検討した（研究課題 2）。その結果、 $V@OBLA$ は変化がなかったにも関わらず、 $V@OBLA$ でのインターバル泳におけるトレーニング負荷は休息時間が比較的長い場合、軽減されることが示された。このことは、インターバル泳における休息時間がトレーニング負荷に与える影響は一定期間のトレーニングによって変化することを示唆するものである。

2．インターバル泳におけるエネルギー供給機構の貢献度

研究課題 1 および研究課題 2 において、インターバル泳のトレーニング負荷を試技後の血中乳酸濃度で評価したが、上述したような短い休息時間の差でなぜトレーニング負荷に影響を及ぼすのか、あるいは、休息時間中にどのような回復が行われているのかは明確にできなかった。

一方、運動に必要なエネルギーは有酸素エネルギーおよび無酸素エネルギーによって供給され、運動時間や運動強度によってそれぞれのエネルギー供給機構の貢献度が異なることが報告されている (Bangsbo et al., 1990)。しかし、同一の泳速度・反復距離・反復回数でのインターバル泳において、その休息時間の違いによって貢献度が異なるのかどうか検討した研究は見あたらない。そこで、休息時間の異なるインターバル泳 (1 分運動を 10 回) 中のエネルギー供給機構の貢献度について検討した (研究課題 3)。その結果、20 秒休息と 30 秒休息試技との比較において、血中乳酸濃度に有意な差が認められなかったにも関わらず、30 秒休息試技における無酸素エネルギー供給機構の貢献度が 20 秒休息試技のそれよりも有意に高いことが認められた (図 22 ; $P < 0.05$)。運動終了直後の過剰な $\dot{V}O_2$ は主に PCr の再合成に使用されることから、インターバル泳中の休息時間が 10 秒間長くなると、主に ATP-PCr 系の無酸素エネルギー供給機構の貢献度が大きくなるものと推測された。また、インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度は選手の泳能力のタイプとどのような関連性があるのかを検討した。その結果、インターバル泳中の無酸素エネルギー供給機構の貢献度は、スプリントタイプの選手ほど低く、持久タイプの選手ほど高い傾向が認められた (図 23)。このことに関連して、Mole et al. (1985) は、間欠的運動における休息時間中は更なる乳酸は生成されず、有酸素的な過程を通して、PCr が再合成されることを示しており、また、高い有酸素能力を有している者ほど高い酸化能力を有していること (Costill et al., 1976b) や、PCr の回復能力に優れていること (Jansson et al., 1990 ; Takahashi et al., 1995) が報告されている。これらのことから、一般的に高い有酸素能力を有している持久タイプの選手は、休息時間中における PCr の回復能力に優れていると考えられ、スプリントタイプの選手よりも休息時間によって無酸素エネルギー

がより回復し、無酸素エネルギー供給機構の貢献度がより高くなったものと考えられる。

3．トレーニング現場への応用

本研究で得られた上記の知見は、インターバル泳のトレーニング負荷に影響を及ぼす要因の中で、休息時間の詳細な設定の重要性や今まで注目されずほとんど検討されてこなかった泳能力のタイプや一定期間のトレーニング効果などの重要性を支持する一つの結果であると考えられる。

これまで、インターバル泳をデザインする上で、泳能力タイプのような個々の特性に関してはあまり重視されてこなかった。しかし、本研究の結果から、持久タイプの選手はスプリントタイプの選手に比べて休息時間中の回復能力が高いことが示唆された（研究課題 1-2）。このことより、持久タイプの選手を対象にする場合、スプリントタイプの選手と比較して、トレーニング負荷を正確にコントロールするためにより慎重に休息時間の設定をすべきであると考えられる。つまり、持久タイプの選手は、休息時間をより短くすることでトレーニングカテゴリーの目的に応じたトレーニングを行なうことができると考えられる。

さらに、一定期間のトレーニングの影響に関して、8 週間の水泳トレーニングによって $V@OBLA$ は変化しなくても、その泳速度におけるインターバル泳のトレーニング負荷は軽減される可能性が示唆された（研究課題 2）。 $V@OBLA$ は有酸素能力の指標として一般的に用いられ、トレーニングの現場においても広く活用されている。しかし、本研究の結果を踏まえると、

V@OBLA が変化しなかったことでその期間のトレーニング効果がなかったと一概に判断すべきではなく、休息時間中の回復能力が改善されたとも考えられ、トレーニング効果を調べる上で、インターバル泳を用いた新たな評価方法として活用できる可能性が示唆された。

休息時間中の回復能力について、連続的運動である水泳競技では直接的にパフォーマンスに関与するものではないが、水泳のトレーニングのほとんどがインターバル泳形式で行われているため、トレーニングを行なう上で以下のような関連性が考えられる。まず、休息時間中の回復能力が改善されることにより、同一の休息時間であってもインターバル泳中のスイミングエコノミーが改善され、その結果、同一トレーニング負荷においてより速く泳ぐことが可能になると考えられる。Rebeiro et al. (1990) は、スイミングエコノミーが高いことは水泳パフォーマンスに関与する非常に重要な要因であると報告していることから、これらの適応はパフォーマンス改善のために重要不可欠であると考えられる。また、Stewart and Hopkins (2000) は、水泳パフォーマンス向上のためには、シーズンが進むにつれインターバルトレーニング中の休息時間を変化させずに泳速度を増加させるか、あるいは、泳速度を変化させずに休息時間を短くしていくべきであると示している。したがって、休息時間中の回復能力が改善されることにより、このような適応を起こすことができるものと考えられる。さらに、本研究より、スプリントタイプや持久タイプといった選手の泳能力のタイプによって休息時間中の回復能力が異なることが示唆されたことから（研究課題3）、もしこのようなことを考慮に入れずにインターバル泳の休息時間を設定した場合、トレーニング負荷が過大あるいは過小に見積もられる可能性がある。このような理由から、休息時間中の回復能力は、インターバルトレーニングと密接に関与しており、パフォーマンス向上のための一つの重要

な因子になっているものと推測される。

これら本研究から得られた知見は、インターバル泳を行なうトレーニング実践の場において、いくつかの新たな視点を提示したものと考えられる。

4．今後の課題

本研究では、水泳の有酸素性トレーニングとして用いられているインターバル泳について検討を行なった。前述したように、インターバル泳は、泳速度、泳距離、休息时间、反復回数を変化させることにより、目的に応じた幅広いトレーニング負荷の設定が可能であるため、当然、無酸素能力改善を目的とした無酸素性トレーニングとしても用いられている。しかし、これらに関して、詳細な検討はまだ行われていないため、今後は、 $\dot{V}O_{2max}$ を越えるような高強度におけるインターバル泳について検討することが必要であろう。

また、最近の研究において、高強度水泳運動中のエネルギー供給機構の貢献度に関する報告がされている（平井ら, 1993 ; Ogita et al., 1996 ; Ogita et al., 1999 ; Robert et al., 2000）。したがって、泳速度や休息時間の様々な組み合わせにおける高強度インターバル泳におけるエネルギー供給機構の貢献度を明らかにすることによって、実際のレースで必要とされるエネルギー供給に即したインターバル泳をデザインできる可能性が考えられ、これらについて検討する必要があるだろう。

IX． 総括

1．研究目的

本研究では、有酸素性トレーニングとして用いられるインターバル泳のトレーニング負荷に影響を与える要因について検討するために、休息時間の長さ、泳種目、個々の泳能力のタイプ、そして一定期間のトレーニングの影響などとの関連性を明らかにすることを目的とした。

2．研究課題

上述の研究目的を達成するために、以下に示す3つの研究課題を設定した。

【研究課題1】

インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響について以下の観点から検討する。

- 1) 休息時間の長さとの関連性(実験1)
- 2) 泳能力のタイプとの関連性(実験1・2)
- 3) 泳種目の違いとの関連性(実験2)

【研究課題2】

8週間の水泳トレーニングによってインターバル泳のトレーニング負荷がどのように変化するか明らかにする(実験3)。

【研究課題 3】

インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度について、休息時間の長さや泳能力のタイプと関連づけて検討する（実験 4）。

3．研究結果

（1）インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響（実験 1）

本研究の目的は、インターバル泳の休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響について検討するために、インターバル泳の休息時間について、どの程度の違いからトレーニング負荷に影響を及ぼすのか、さらにどのようなタイプの選手が休息時間の影響を受けやすいのかを明らかにすることであった。大学男子競泳選手 13 名を対象として、各々の $V_{\text{best}}@OBLA$ で $16 \times 100 \text{ m}$ インターバル泳を休息時間の異なる 3 試技（INT1；5-10 秒、INT2；11-15 秒、INT3；16-20 秒）実施し、それぞれの試技後の血中乳酸濃度を測定した。

本研究の結果、休息時間の最も短い試技の INT1 と最も長い試技の INT3 後の血中乳酸濃度の間に有意な差が認められた（ $P < 0.05$ ）。また、泳能力のタイプを示す指標として用いた $V_{\text{best}}@100/V_{\text{best}}@200$ と休息時間の違いによってどれだけ血中乳酸濃度が異なるのかを表す指標として用いた $LA@INT3/LA@INT1$ との間に正の有意な相関関係が認められた（ $r = 0.78$ 、 $P < 0.05$ ）。

これらの結果は、10 秒という短い休息時間によって、インターバル泳におけるトレーニング負荷は影響を受け、さらに、相対的に 200 m を得意とする選手

のほうが 100 m を得意とする選手よりも休息時間が長くなるとトレーニング負荷が軽減されやすく、休息時間がトレーニング負荷に与える影響は泳能力のタイプと関連性があるということを示唆するものである。

(2) 泳種目の違いとインターバル泳におけるトレーニング負荷との関連性 (実験 2)

本研究の目的は、泳種目の違いとインターバル泳におけるトレーニング負荷との関連性を検討するために、同一被検者において専門とする泳種目とクロールにおけるインターバル泳のトレーニング負荷を比較し、泳種目の違いがインターバル泳のトレーニング負荷に及ぼす影響を明らかにすることであった。大学男子競泳選手で平泳ぎを専門とする 6 名およびバタフライを専門とする 6 名の計 12 名を対象として、それぞれの専門とする泳種目とクロールにおける $V@OBLA$ を測定し、それぞれの $V@OBLA$ で 10 × 100 m インターバル泳を 10 秒 (INT10)、20 秒 (INT20)、30 秒 (INT30) の 3 つの休息時間について、合計 6 試技行ない、専門とする泳種目とクロールにおける同一休息時間における試技後の血中乳酸濃度を比較した。

本研究の結果、平泳ぎおよびバタフライを専門とする被検者ともに、INT10 と INT20 との間および INT10 と INT30 との間に有意な差が認められ ($P < 0.05$)、同一休息時間における全ての試技 (INT10、INT20、INT30) において、専門とする泳種目とクロールとの間に有意な差は認められなかった。また、泳能力のタイプを示す指標 ($V_{best@100}/V_{best@200}$) と INT30 と INT10 の血中乳酸濃度の比 ($LA@INT30/LA@INT10$) との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.68$ 、 $P < 0.05$)。

これらの結果は、インターバル泳におけるトレーニング負荷は、泳種目との関連性が低く、泳種目が異なっても休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は変わらないことを示唆するものである。また、インターバル泳をデザインする際、泳種目よりも泳能力のタイプを考慮することが重要になることを示唆するものである。

(3) 8 週間の水泳トレーニングがインターバル泳のトレーニング負荷に及ぼす影響 (実験 3)

本研究の目的は、8 週間の水泳トレーニングが、インターバル泳のトレーニング負荷にどのような影響を及ぼすのか $V@OBLA$ および $V_{max@400}$ の変化と関連づけて検討することであった。大学男子競泳選手 13 名を対象として、8 週間の水泳トレーニング前後に、 $V@OBLA$ 、 $V_{max@400}$ および、各々の $V@OBLA$ での $8 \times 200m$ インターバル泳を休息時間の異なる 3 つの試技 (INT1 ; 10-20 秒、INT2 ; 21-30 秒、INT3 ; 31-40 秒) についてそれぞれ行なわせ、試技後の血中乳酸濃度で比較した。

本研究の結果、8 週間の水泳トレーニングによって、 $V@OBLA$ は有意な変化が認められず、 $V_{max@400}$ は有意な改善を示し ($P < 0.05$)、休息時間がより長い INT2 および INT3 における試技後の血中乳酸濃度が有意に減少した ($P < 0.05$)。

これらの結果から、8 週間の水泳トレーニングによって $V@OBLA$ から判断した有酸素能力は変化がなかったにも関わらず、休息時間が比較的長いインターバル泳におけるトレーニング負荷が軽減されたことが考えられ、このことは、インターバル泳における休息時間がトレーニング負荷に与える影響はトレーニ

ングによって変化することを示唆するものである。

(4) インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度 (実験4)

本研究の目的は、インターバル泳中のエネルギー供給機構の貢献度を明らかにし、その貢献度は泳能力のタイプとどのような関連性があるのかを検討することであった。大学男子競泳選手7名を対象として、回流水槽において各々のV@OBLAで10分間の連続泳(CON)および1分間水泳運動に20秒間休息を挟み10回繰り返すインターバル泳(INT20)、1分間水泳運動に30秒間休息を挟み10回繰り返すインターバル泳(INT30)の3試技を行なわせ、それぞれの試技における総酸素摂取量および総酸素借を測定し、有酸素および無酸素エネルギー供給機構の貢献度を算出した。

本研究の結果、INT20とINT30の血中乳酸濃度に有意な差は認められなかったにも関わらず、INT30における無酸素エネルギー供給機構の貢献度がINT20のそれよりも有意に高いことが認められた($P < 0.05$)。さらに、INT30における無酸素エネルギー供給機構の貢献度は持久タイプの被検者ほど高く、スプリントタイプの被検者ほど低い傾向が認められた。

これらの結果は、10秒間という短い休息時間によって、エネルギー供給機構の貢献度は影響を受け、さらに、その貢献度は泳能力のタイプと関連性があることを示唆するものである。

X. 結論

本研究では、有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳におけるトレーニング負荷に影響を与える要因について、休息时间、泳種目、泳能力のタイプ、そして一定期間のトレーニングの影響などに関連づけ、血中乳酸濃度やエネルギー供給機構に着目し検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) インターバル泳におけるトレーニング負荷は、10 秒間という短い休息时间によって影響を受け、その影響は泳種目によって変化せず、泳能力のタイプの相違と関連性があること（研究課題 1：IV、V 章）。
- (2) 休息時間が比較的長いインターバル泳は、水泳トレーニングによってそのトレーニング負荷が軽減される可能性があること（研究課題 2：VI 章）。
- (3) 10 秒間という短い休息時間の差によって、エネルギー供給機構の貢献度は異なり、さらに、その貢献度は泳能力のタイプと関連性があること（研究課題 3：VII 章）。

これらの結果は、インターバル泳における休息時間がトレーニング負荷に及ぼす影響は大きく、その影響はこれまでほとんど考えられていなかった泳能力のタイプや一定期間のトレーニングによって変化することなどを示唆するものである。したがって、本研究は、有酸素性トレーニングを目的としたインターバル泳をデザインする上で、スプリントタイプあるいは持久タイプといった泳能力のタイプやトレーニングの進行状況などが考慮すべき重要な視点であることを明らかにした。

謝 辞

本論分の作成にあたり、多くの方々のご指導、ご協力を賜りました。簡単ではありますが、この場をお借りしてお礼を述べさせていただきます。

まず、本研究を遂行するにあたり、終始懇親丁寧なご指導およびご校閲を賜りました筑波大学体育科学系教授の野村武男先生に深く感謝の意を表します。水泳部のコーチをしていた私にとって、野村先生は水泳部の総監督としても、研究の指導教官としても、非常に多くの事柄について常に的確なアドバイスをいただきました。先生のご指導のもと研究能力とコーチング能力を少しずつ積み重ねることができ、さらに、コーチング現場と研究の連携について深く考えることができました。また、本論文を執筆するにあたり貴重なお時間を割いていただき、ご助言及びご校閲いただきました副指導教官の筑波大学体育科学系教授の高松薫先生および村木征人先生、そして、筑波大学臨床医学系講師の金岡恒治先生および曽根博仁先生に深く感謝いたします。

また、本論文を遂行するにあたり、体育センター長の萩原武久先生を始め、体育センターの先生方・技官・事務官の皆様から非常に多くの激励やサポートをいただき、さらに、水泳部のスタッフの皆様からは、常にコーチング現場という視点から助言をいただきました。また、実験に際し、快く被検者を引き受けて下さった筑波大水泳部の選手、実験及び論文作成にわたってご協力いただいた水泳研究室技官の菅野篤子さんおよび大学院生の皆様、このような方々のご協力に対し深く感謝いたします。

最後になりましたが 1990 年からの学生時代、2000 年からの筑波大学での技官時代、私が挫折しそうなときも常に陰ながら温かく応援してくれた両親と兄妹に心より感謝いたします。

本当にどうもありがとうございました。

参考文献

Alpert NR. 1965. Lactate production and removal and the regulation of metabolism. *Ann. NY Acad. Sci.* 119: 995-1012.

Avlonitou E. 1996. Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style. *J Sports Med Phys Fitness* 36: 24-30.

Bahr R, Gronnerod O, Sejersted OM. 1992. Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 66-71.

Balsom PD, Seger JY, Sjodin B, Ekblom B. 1992. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med* 13: 528-533.

Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Juel C, Kiens B, Mizuno M, Saltin B. 1990. Anaerobic energy production and O₂deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J. Physiol. (London)* 422: 539-559.

Bartels RL. 1980. Analysis of three interval training sets. *Swimming Technique* 17: 19-20.

Beltz JD, Costill DL, Thomas R, Fink WJ, Kirwan JP. 1988. Energy demands of interval training for competitive swimming. *J. Swimming Res.* 4: 5-9.

Beltz JD, Costill DL, Thomas R, Fink WJ, Kirwan JP. 1988. Energy demands of interval training for competitive swimming. *J. Swimming Res.* 4: 5-9.

Beneke R, von Duvillard SP. 1996. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc* 28: 241-246.

Bergman BC, Wolfel EE, Butterfield GE, Lopaschuk GD, Casazza GA, Horning MA, Brooks GA. 1999. Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. *J Appl Physiol* 87: 1684-1696.

Blonc S, Casas H, Duche P, Beaune B, Bedu M. 1998. Effect of recovery duration on the force-velocity relationship. *Int J Sports Med* 19: 272-276.

Bonen A, McCullagh KJ, Putman CT, Hultman E, Jones NL, Heigenhauser GJ. 1998. Short-term training increases human muscle MCT1 and femoral venous lactate in relation to muscle lactate. *Am J Physiol* 274: E102-107.

Brooks SA, Hittelman KJ, Faulkner JA, Beyer RE. 1971. Temperature, skeletal muscle mitochondria functions, and oxygen debt. *Am. J. Physiol.* 220: 1053-1059.

Costill DL, Daniels J, Evans W, Fink W, Krahenbuhl G, Saltin B. 1976a. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 40: 149-154.

Costill DL, Fink WJ, Pollock ML. 1976b. Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 8: 96-100.

Costill DL, Kovaleski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D. 1985. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 6: 266-270.

Costill DL, Thomas R, Robergs RA, Pascoe D, Lambert C, Barr S, Fink WJ. 1991. Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 371-377.

Counsilman JE. 1977. Competitive swimming manual for coaches and swimmers. Indiana: Bloomington.

Demarie S, Koralsztejn JP, Billat V. 2000. Time limit and time at $\dot{V}O_{2max}$ during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness* 40: 96-102.

Favier RJ, Constable SH, Chen M, Holloszy JO. 1986. Endurance exercise

training reduces lactate production. J Appl Physiol 61: 885-889.

Fox EL, Robinson S, Wiegman DL. 1969. Metabolic energy sources during continuous and interval running. J. Appl. Physiol. 27: 174-178.

Gaesser GA, Brooks GA. 1984. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. Med Sci Sports Exerc 16: 29-43.

Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. 1993. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. J Appl Physiol 75: 712-719.

Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW, W.L. S, Shepherd RE. 1973. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. J. Appl. Physiol. 34: 107-111.

Green S, Dawson BT. 1996. Methodological effects on the $\dot{V}O_2$ -power regression and the accumulated O₂ deficit. Med. Sci. Sports Exerc. 28: 392-397.

Gullstrand L, Holmer I. 1983. Physiological characteristics of champion swimmers during a five-year follow-up period. In: Hollander AP, Huijing PA, Groot GD. Biomechanics and Medicine in Swimming. Illinois: Human Kinetics Publishers. 258-262.

Hannula D, Thornton N. 2001. The swim coaching bible. Champaign: Human Kinetics. 361p.

Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, Hollmann W. 1985. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. Int. J. Sports Med. 6: 117-130.

Hermansen L, Medbo JL. 1984. The relative significance of aerobic and anaerobic processes during maximal exercise of short duration. In: Marconnet P, Poortmans J, Hermansen L. Physiological chemistry of training and detraining. New York: Karger. 56-67.

Hickson RC, Bomze HA, Holloszy JO. 1977. Linear increase in aerobic power

induced by a strenuous program of endurance exercise. J Appl Physiol 42: 372-376.

平井雄介，小笠原悦子，田畑泉．1993．超最大強度の水泳運動における無酸素性及び有酸素性エネルギー供給機構の貢献度．Jpn. J. Sports Sci. 12: 124-129.

Holmer I. 1974. Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 33: 105-118.

Houston M. 1978. Metabolic responses to exercise, with special reference to training and competition in swimming. In: Eriksson BO, Furberg B. University Park Press. 207-232.

Hurley BF, Hagberg JM, Allen WK, Seals DR, Young JC, Cuddihee RW, Holloszy JO. 1984. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. J Appl Physiol 56: 1260-1264.

Jacobs I, Sjodin B, Kaiser P, Karlsson J. 1981. Onset of blood lactate accumulation after prolonged exercise. Acta Physiol Scand 112: 215-217.

Jansson E, Dudley GA, Norman B, Tesch PA. 1990. Relationship of recovery from intensive exercise to the oxidative potential of skeletal muscle. Acta Physiol Scand 139: 147-152.

Kindermann W, Simon G, Keul J. 1979. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. Eur. J. Appl. Physiol. 42: 25-34.

北村潔和，鳥海清司．1996．水泳競技におけるトレーニング課題の発見方法の検討．体育の科学 46: 745-749．

Klausen K, Andersen LB, Pelle I. 1981. Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. Acta Physiol. Scand. 113: 9-16.

Mader A, Madsen OM, Hollmann W. 1980. Zur Beuteilung der laktaziden Energiebereitstellung für Trainings- und Wettkampfleistungen im Sportschwimmen. Leistungssport 10: 263.

Madsen OM, Lohberg M. 1987. The lowdown on lactates. Swimming Technique 24: 21-26.

Maglischo EW. 1993. Swimming Even Faster. California: Mayfield publishing company. 755p.

Maglischo EW. 2003. Swimming Fastest. Champaign: Human Kinetics. 791p.

Maglischo EW, Maglischo CW, Bishop RA. 1982. Lactate testing for training pace. Swimming Technique 19: 31-37.

Margaria R, Oliva RD, Di Prampero PE, Cerretelli P. 1969. Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. J. Appl. Physiol. 26: 752-756.

松波勝, 田口正公, 星子和夫, 洲雅明. 1995. 競泳におけるトレーニング指標としての OBLA スピード. 福岡大学体育学研究 26: 27-39.

McCully KK, Boden BP, Tuchler M, Fountain MR, Chance B. 1989. Wrist flexor muscles of elite rowers measured with magnetic resonance spectroscopy. J Appl Physiol 67: 926-932.

Medbo JJ, Mohn A, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OL. 1988. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. J. Appl. Physiol. 64: 50-60.

Medbo JJ, Tabata I. 1993. Anaerobic energy release in working muscle during 30s to 3min of exhaustive bicycling. J. Appl. Physiol. 75: 1674-1660.

Mole PA, Coulson RL, Caton JR, Nichols BG, Barstow TJ. 1985. In vivo ³¹P-NMR in human muscle: transient patterns with exercise. J Appl Physiol 59: 101-104.

Nomura T. 1983. The influence of training and age on $\dot{V}O_{2\max}$ during swimming in Japanese elite age group and olympic swimmers. In: Hollander AP, Huijing PA, Groot GD. Biomechanics and Medicine in Swimming. Illinois: Human Kinetics Publishers. 251-257.

野村武男 , 下山好充 . 2002 . 水泳競技のピーキング . 体育の科学 52: 537-542.

Nomura T, Wakayoshi K, Okuno K. 1999. Estimation of 200m record from 100m record with consideration of a swimmer's specialty in freestyle swimming pace. In: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP. Biomechanics and Medicine in Swimming. Jyväskylä: Gummerus Printing. 443-448.

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.

Ogita F, Onodera T, Tabata I. 1999. Effect of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. Med Sci Sports Exerc 31: 729-735.

Olbrecht J, Madsen O, Mader A, Liesen H, Hollmann W. 1985. Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. Int. J. Sports Med. 6: 74-77.

Olesen HL. 1992. Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. J Appl Physiol 73: 1130-1134.

Piiper J, Spiller P. 1970. Repayment of O_2 debt and resynthesis of high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. J Appl Physiol 28: 657-662.

Potteiger JA, Welch JC, Byrne JC. 1993. From parturition to marathon: a 16-wk study of an elite runner. Med Sci Sports Exerc 25: 673-677.

Pyne DB, Lee H, Swanwick KM. 2001. Monitoring the lactate threshold in

world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 33: 291-297.

Ramsbottom R, Nevill AM, Nevill ME, Newport S, Williams C. 1994. Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. *J Sports Sci*. 12: 447-453.

Ribeiro JP, Cadavid E, Baena J, Monsalvete E, Barna A, De Rose EH. 1990. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. *Br J Sports Med* 24: 196-200.

Robert RZ, Elizabeth FN, Robert JR, Niall MM, Scott ML, Fredric LG. 2000. Peak blood lactate and accumulated oxygen deficit as indices of freestyle swimming performance in trained adult female swimmers. *J Swimming Res* 14: 18-25.

Robson MW, Howat RC. 1992. Developing swimmers aerobic capacities. *Swimming Technique* 28: 12-15.

佐伯徹郎．2000．高強度の走行中における無気的エネルギーの動員が酸素摂取量に及ぼす影響．平成11年度筑波大学博士論文: 49-62.

坂井和明、水上一、斉藤一人、Sheahan J、高松薫．2000．球技選手における間欠的なハイパワー発揮能力のトレーニング課題に関する研究：エネルギー産生能力のタイプに着目して．*体育学研究* 45: 239-251.

Schnabel A, Kindermann W. 1983. Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52: 42-46.

Scott CB, Roby FB, Lohman TG, Bunt JC. 1991. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 618-624.

Silber D, McLaughlin D, Sinoway L. 1991. Leg exercise conditioning increases peak forearm blood flow. *J Appl Physiol* 71: 1568-1573.

Sjodin B, Jacobs I, Svedenhag J. 1982. Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. Eur. J. Appl. Physiol. 49: 45-57.

Skinner J. 1987. The new, metal-plated assistant coach. How analyzing lactate levels helped the San Jose Aquatics to a more productive season. Swimming Technique 23: 7-12.

Stewart AM, Hopkins WG. 2000. Seasonal training and performance of competitive swimmers. J Sports Sci 18: 873-884.

Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M. 1997. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. Med. Sci. Sports Exerc. 29: 390-395.

田畑泉 . 1994 . 無酸素性エネルギーの定量法. Jpn. J. Sports Sci. 13: 559-566.

Takahashi H, Inaki M, Fujimoto K, Katsuta S, Anno I, Niitsu M, Itai Y. 1995. Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 71: 396-404.

Touretski G. 1993. 平成 5 年度日本水泳連盟公認上級一種コーチ研修会講演集. 93-108p.

Toussaint HM, Beelen AR, Rodenburg A, Sargeant AJ, Groot G, Hollander AP, Schenau GJ. 1988. Propelling efficiency of front-crawl swimming. J Appl Physiol 65: 2506-2512.

Troup J. 1986. Setting up a season using scientific training. A guide on how to apply $\dot{V}O_2$ and lactate measures in establishing a training schedule. Swimming Technique May-July: 8-16.

Wakayoshi K, Tatesada E, Ono K, Terada A, Ogita F. 1999. Blood lactate response to various combinations of swimming velocity and rest period of

interval training. In: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP. Biomechanics and Medicine in Swimming. Jyvaskyla: Gummerus Printing. 401-406.

Wakayoshi K, Yoshida T, Ikuta Y, Mutoh Y, Miyashita M. 1993. Adaptations to six months of aerobic swim training Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. Int J Sports Med 14: 368-372.

Wolfe LA, Laprade A, Burggraf GW, R. N. 1992. Cardiac responses of young women to conditioning for a 10 kilometer race. Int J Sports Med 13: 384-389.

Yoshida T, Chida M, Ichioka M, Suda Y. 1987. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 56: 7-11.

Yoshida T, Watari H. 1993. Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 67: 261-265.