

[競泳コーチング研究班]

アトランタオリンピック出場競泳選手における Semi-tethered Swimming 時のパワー出力特性

森谷 暢 吉村 豊 高橋 雄介

ABSTRACT

The purpose of current study was to present the specific data of semi-tethered swimming (STS) in Japanese top level freestyle swimmers. 7 male elite sprinters (SP) including 2 participants of Atlanta Olympics (S.I. and Y.M.) and 5 male elite middle-distance swimmers (MD) were tested for the mean power outputs (P_{STS}), the fatigue index (power dropp-off during STS, IF), the mean velocity (V_{STS}), the stroke frequency (F_{STK}), and the distance per stroke (D_{STK}) during STS at loads ranging from 4kg to 12kg using Power Processor for Swimming. P_{STS} (63.3W vs 54.6W, 78.4W vs 67.4W, 97.1W vs 77.1W, 100.3W vs 80.2W, and 100.6W vs 63.5W for 4kg, 6kg, 8kg, 10kg, and 12kg respectively) were significantly higher in SP than in MD at any loads ($P < 0.05$). IF were similar at any loads in SP (85.5 to 94.2%), but were decreased remarkably at loads of 10kg and upward in MD ($75.8 \pm 5.4\%$ and $71.1 \pm 10.3\%$ for 10kg and 12kg respectively). F_{STK} were significantly ($P < 0.05$) higher in SP than in MD at 4kg ($60.9 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$ vs $53.1 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$), 6kg ($58.0 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$ vs $53.6 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$), 8kg ($60.3 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$ vs $53.2 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$), and 10kg ($60.3 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$ vs $52.9 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$). In D_{STK}, the significant differences between SP ($0.93 \pm 0.07 \text{ m} \cdot \text{stk}^{-1}$) and MD ($0.65 \pm 0.04 \text{ m} \cdot \text{stk}^{-1}$) were observed only at 12kg ($P < 0.05$). These results suggested that improvements in P_{STS}, IF, V_{STS}, F_{STK}, and D_{STK} contributed to one's best record. Focus on the individual data, the performance of Y. M., who was a Japanese record holder for 100 m freestyle, was depended highly on the movement-specific power outputs (66.0 to 124.4W) compared to SP. In addition, Y. M. had longer D_{STK} (1.13 to $1.64 \text{ m} \cdot \text{stk}^{-1}$) and slightly higher F_{STK} (58.8 to $63.8 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$). On the other hand, S. I., who was a winner of 100 m freestyle at the Atlanta Olympic trials, had longer D_{STK} (1.05 to $1.82 \text{ m} \cdot \text{stk}^{-1}$) but slower F_{STK} (52.6 to $56.9 \text{ stk} \cdot \text{min}^{-1}$) and the normal P_{STS} (62.6 to 104.4W). However, S. I.'s P_{STS} improved over last year (102.9 to 143.6%) compared to SP (102.7 to 124.2%).

Key words :

Swimming, Competitive swimmers, Semi-tethered swimming, Movement-specific power, Swim-power

I. はじめに

競泳記録を辿ってみると、我が国の最高記録が世界最高となった例は少なく、近年ではその数が激減していることに気づく。特に、男子のクロール（以下 FR とする）における短距離種目（50m および 100m）では、世界最高はおろか、世界ランク 50 位以内の記録を残した例が極めて少なく、同種目における我が国の記録の伸びが世界水準に比して遅れていると考えざるを得ない状況にある。その原因については、FR の競泳記録は選手の体格、特に身長に比例する可能性が高い^{5,10)}との報告から考えれば、日本人の身長が欧米人のそれよりも小さい傾向にあることに求められる。

しかし、短時間（10～15秒程度）の FR 時に発揮されるパワー出力が高い選手ほど速い泳速を有する^{2,3,5,7,8,9)}ことからすれば、推進力に直接的に寄与し得る、非乳酸性の無酸素性パワーの向上を図ることで FR の短距離種目における記録水準を世界的なそれに近づけることは可能と考える。筆者らは、男子大学競泳選手を対象とした競泳トレーニングプログラム、特にアトランタオリンピックをゴールとしたメゾトレーニングプログラム（1993～1996年）において、このような考え方を積極的に導入したトレーニングを展開してきた。その結果、メゾプログラムの最終シーズンである1996年に、非乳酸性の無酸素性パワー出力の向上を目的とするトレーニングを積極的に実施してきた短距離選手の中から、アトランタオリンピック代表選手が2名選出されるに至った。

その過程で、筆者らは、競技時の動作や筋収縮速度に特異的な運動形態で出力される非乳酸性の無酸素性パワー（Movement-specific power）を効率よく向上させる方法について熟慮し、泳ぎに直接的に余剰負荷を与えることが可能な Semi-tethered swimming（以下 STS とする）^{1,2,3,4,5,6,7,8,9)}を利用した水中でのレジスタンストレーニングの実施が望ましいとの結論を導き出した。STS の実施に必要な負荷装置については、ヴァイン社の協力を得て、電圧の調整により簡易に等張力性の負荷（0.5～15.0kg）を設定することができ、かつそのときのパワー出力の定量が可能となる装置（Power Processor for Swimming, 以下 PPS とする）を開発・製作した⁷⁾。これまでに、競技力の高い競泳選手の STS 時の基礎データ（パワー出力、速度、ストロークパラメータ等）について報告し、STS を利用した水中でのレジスタンストレーニングを実施する上で必要と考えられる基準値（目標値）の提供に努めてきた^{7,8)}。ただし、これまでの報告では、日本のトップレベルに位置する競泳選手の平均的なデータの呈示にとどまってお^{7,8)}、その中でさらに突出した能力を有する選手のパワー出力特性や、それ

と競技成績との関連性についての検討は行われていない。

そこで、本研究では、アトランタオリンピック出場を果たした短距離選手2名を筆頭に、アトランタオリンピック代表選手選考会の50mFRあるいは100mFRの出場権を獲得できた競技力の高い短距離FR選手を対象とし、STS時に得られるパワー出力、泳速度、ストロークパラメータ等のデータについて、より個別的に検討を行うことを目的とした。

II. 方 法

1. 対 象 者

研究対象者は、中央大学水泳部に所属する男子競泳選手のうち、FR中心の競泳トレーニングを実施してきた者12名であった。このうち7名は、アトランタオリンピック代表選手選考会において50mFRあるいは100mFRに出場した、短距離種目において極めて高い能力を発揮するスプリンタータイプの選手であった（以下SPとする）。また、SPには、アトランタオリンピック代表選手2名（S.I.: 100mFR および200mFR, Y.M.: 50mFR および100mバタフライ）が含まれていた。残りの5名は、アトランタオリンピック代表選手選考会に200m以上の距離種目での出場を果たした競技力の高いFRあるいは個人メドレーの選手であり、何れにおいてもトレーニングの8割程度をFRで行ってきた選手であった（以下MDとする）。対象者の身体的特徴については、表1に示したとおりであった。

2. トレーニング内容

STSを利用したトレーニングは、メゾトレーニングプログラム（1993～1996年）において、週に1回の頻度で実施されてきた。本研究では、アトランタオリンピック代表選手選考会をゴールとするマクロトレーニングプログラム（1995年9月～1996年3月）において実施され

表1 対象者の身体的特性および競技成績
※LBM および体脂肪率は、インピーダンス法によって導出した。

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	LBM (kg)	Body Fat (%)	Results of Atlanta Olympic Trials	
						50mFR (sec.)	100mFR (sec.)
Y. M.	22	179.2	79.5	69.0	13.2	23.76	51.22
S. I.	19	184.5	74.0	63.6	14.1	23.67	51.02
SP (MEAN±SE)	20.7±0.6	178.3±1.4	71.5±1.6	62.3±1.3	12.9±0.8	23.7±0.2	52.1±0.5
MD (MEAN±SE)	20.0±0.5	179.4±1.6	72.9±1.3	62.2±1.0	14.6±0.5	—	—

た STS を分析対象とした。その期間の具体的な実施内容については、表 2 に示したとおりであった。STS の実施法については、プッシュオフで開始するよう指示し、20秒程度の運動時間を設定した。また、何れの負荷においても最大努力で実施することとした。STS 時の負荷は、PPS 内部のパウダーブレーキ（図 1）により等張力性で与えられた。なお、STS 実施前の他のトレーニング内容については、対象者間および測定日間で可能な限り同一となるように努めた。

表 2 Semi-tethered Swimming (STS) を利用したトレーニングの内容

Week #	Description	
	1 st	2 nd
1	—	—
2	—	—
3	4kg (25m)	6kg (25m)
4	8kg (25m)	—
5	8kg (25m)	6kg (25m)
6	8kg (25m)	10kg (20sec.)
7	12kg (20sec.)	8kg (25m)
8	8kg (25m)	—
9	8kg (25m)	6kg (25m)
10	8kg (25m)	10kg (20sec.)
11	12kg (20sec.)	8kg (25m)
12	8kg (25m)	—
13	—	—
14	—	—
15	—	—
16	8kg (25m)	—
17	8kg (25m)	6kg (25m)
18	8kg (25m)	10kg (20sec.)
19	12kg (20sec.)	8kg (25m)
20	8kg (25m)	—
21	10kg (20sec.)	8kg (25m)
22	8kg (25m)	6kg (25m)
23	8kg (25m)	4kg (25m)
24	—	—
25	—	—
26	4kg (25m)	8kg (25m)
27	—	—
GOAL	Atlanta Olympic Trials 1996	

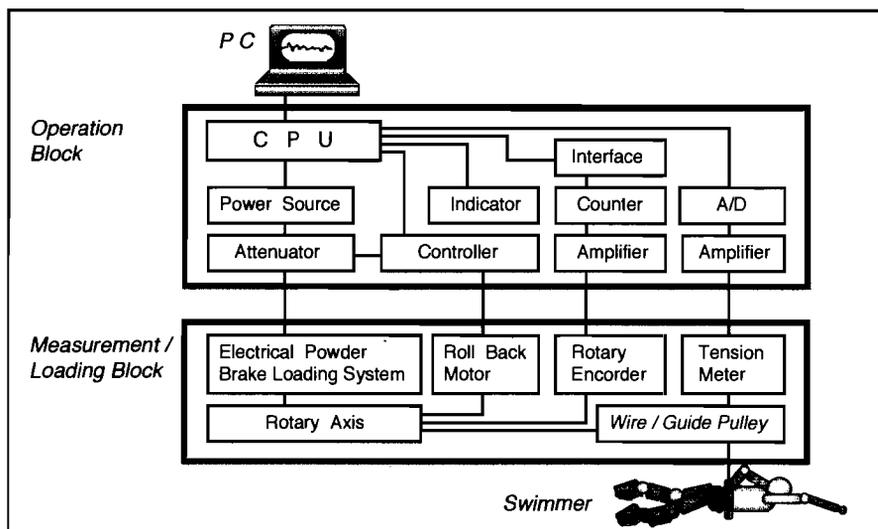


図1 Power Processor for Swimming (PPS) の構成図

3. 測定項目および測定手順

STS 時の測定項目は、平均パワー出力（以下 P_{STS} とする）、疲労指数、すなわち測定時のパワー出力の低下率（以下 I_F とする）、平均泳速度（以下 V_{STS} とする）、ストローク頻度（以下 F_{STK} とする）および1ストロークあたりの推進距離（以下 D_{STK} とする）であった。 P_{STS} 、 I_F および V_{STS} は、STS 時に PPS 内部の回転軸から引き出されるワイヤの牽引速度とそのワイヤにかかる張力を PPS 内部のロータリーエンコーダおよびロードセルを用いて 2 msec 毎にサンプリングし、パーソナルコンピュータ（NEC 社製 PC9801）で演算処理させることで導出した（図1）。PPS による測定は、プッシュオフ後のグライド局面から泳局面に移行した後、1秒以内に開始し、10秒間行った。 I_F は、以下の式により算出した。

$$I_F (\%) = LP_{STS} / FP_{STS} \times 100$$

なお、 FP_{STS} は、 P_{STS} 測定時の前半5秒間に発揮された平均パワー出力を、また LP_{STS} は P_{STS} 測定時の後半5秒間に発揮された平均パワー出力を示している。

F_{STK} および D_{STK} については、STS 実施時にストップウォッチを利用して測定した1ストローク所要時間と V_{STS} から算出した。

4. データ処理

統計処理には、各対象者の各設定負荷（4kg, 6kg, 8kg, 10kg および12kg）における測定実

施期間の平均値を用いた。また、実施頻度の高かった8 kg についてのみ、STS 実施期間のデータの変動傾向からトレーニング効果について検討するため、各変数につき、最小二乗法による測定値の測定実施回数への回帰を行い、得られた一次回帰式の傾きを対象者毎に導出した。これら全てのデータにつき、二標本t検定により SP と MD 間の差の検定を行った。なお、データの分散に均一性が認められないときには、Mann-Whitney 検定を利用した。さらに、SP のみを対象とし、以下のような単相関分析を行った。すなわち、1)アトランタオリンピック代表選手選考会における競泳記録¹¹⁾ (以下競技成績とする) と各変数間の関連性と、2) 競技成績および P_{STS} の向上率を示す指標 (以下それぞれ IMP_{RT} および IMP_{PSTS} とする) 間の関連性について、Pearson の係数を用いて検討した。 IMP_{RT} および IMP_{PSTS} については、以下の式から算出した。

$$IMP_{RT} (\%) = RT_{1995} / RT_{ACT} \times 100$$

$$IMP_{PSTS} (\%) = P_{STS1966} / P_{STS1995} \times 100$$

なお、 RT_{1995} は50mFR あるいは100mFR における1995年度の自己最高タイム (長水路) を、 RT_{ACT} はアトランタオリンピック代表選手選考会における同種目の競泳記録を、 $P_{STS1966}$ は1995年11月から1996年3月までの STS 時に記録された P_{STS} の平均値を、 $P_{STS1995}$ は1995年3月から同年7月までの STS 時に記録された P_{STS} の平均値を示している。以上の統計処理における有意判定は、何れにおいても危険率5%を基準に行った。

Ⅲ. 結 果

1. パワー出力、泳速度および疲労指数

P_{STS} については、何れの設定負荷においても SP で MD よりも有意 ($p < 0.05$) に高い値が示されていた (図2 下部)。S.I. の P_{STS} は、何れの負荷においても SP とほぼ同水準にあり、Y.M. のそれは SP や S.I. より高い水準に示されていた (図2 下部)。 I_F については、10kg および12kg おいて SP で MD よりも高い値が示される傾向にあったが、群間の有意差は認められなかった (図2 上部)。S.I. および Y.M. では、SP とほぼ同様の I_F が示されていた (図2 上部)。 V_{STS} については、何れの設定負荷においても Y.M., S.I., SP, MD の順に高い値が示され、SP と MD の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた (表3)。

2. ストローク頻度および1ストロークあたりの推進距離

ストロークパラメータについては、 F_{STK} では12kg を除く全ての負荷において、また、 D_{STK}

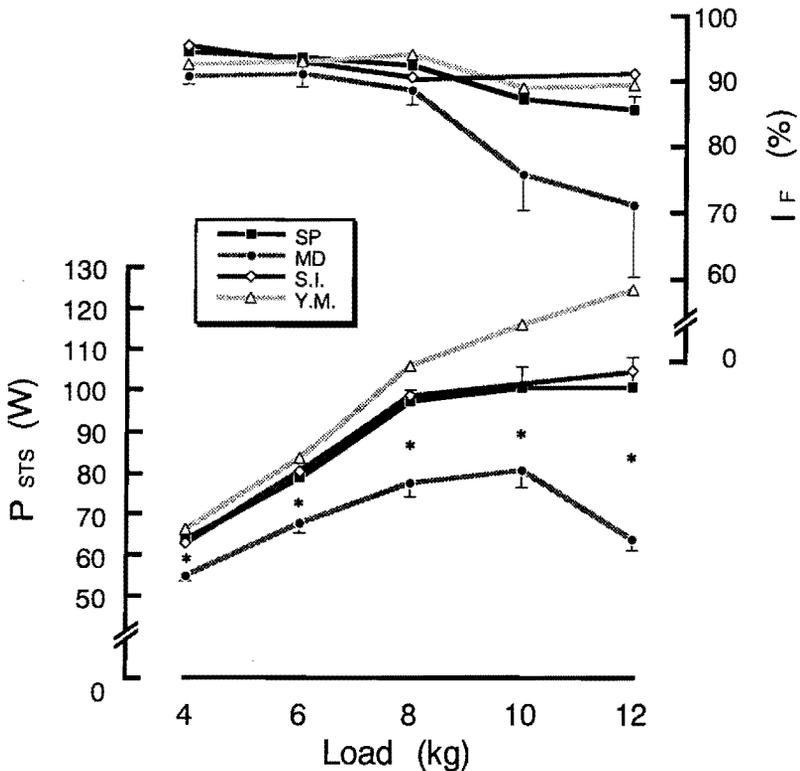


図2 STS時に発揮された10秒間の平均パワー出力 (P_{STs}) および疲労指数 (IF) *SP群とMD群間に有意差あり (p<0.05)

表3 STS時の設定負荷に対する V_{STs} (m・sec⁻¹) の変動

	4 kg	6 kg	8 kg	10kg	12kg
S.I.	1.56	1.40	1.26	—	0.90
Y.M.	1.65	1.47	1.38	1.17	1.08
SP	1.58±0.03	1.38±0.02	1.25±0.04	1.01±0.05	0.88±0.07
MD	1.35±0.06	1.20±0.04	1.00±0.04	0.83±0.04	0.56±0.02

*P<0.05. **P<0.01.

では12kg 設定時のみ, SP で MD に比して有意 (p<0.05) に高い値が示されていた (図3). S.I. では, 何れの負荷においても MD と同等の, また Y.M. では SP と同等の F_{STK} が示されていた (図3 上部). 両選手の D_{STK} については, 何れの負荷においても SP よりも高い水準にあった (図3 下部). なお, 図3 上部に, 通常泳 (Free-swimming) 時の F_{STK} として, アトランタオリンピック代表選手選考会の50mFR 時の値を示した¹¹⁾. この値を含め, 負荷間の F_{STK} の差の検定を二元配置分散分析および Scheffé の対比較法を用いて行ったところ, 統計的な有意差は認められなかった (図3 上部).

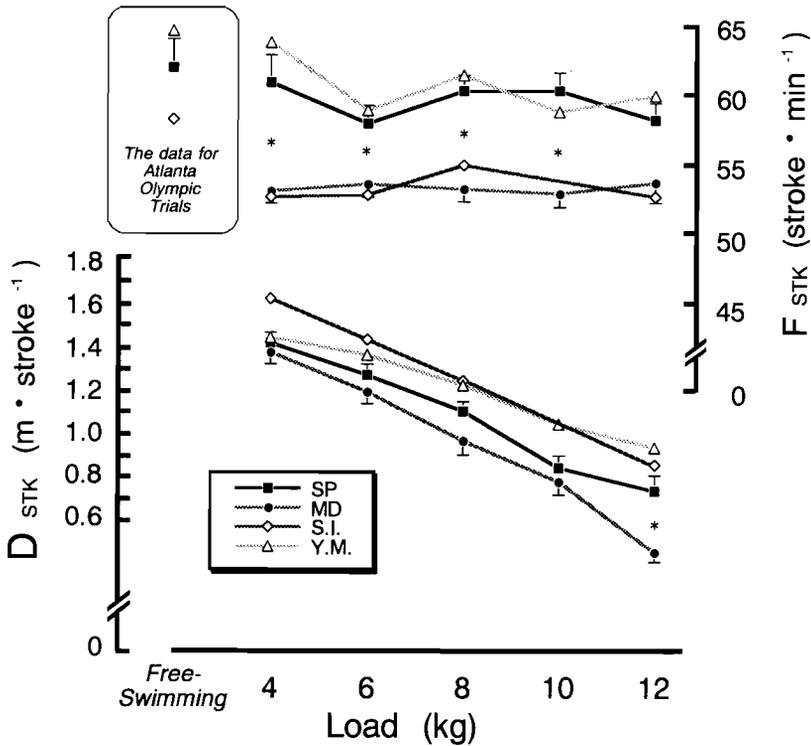


図3 STS時のストローク頻度 (F_{STK}) および1ストロークあたりの推進距離 (D_{STK}) *SP群とMD群間に有意差あり (p<0.05)

3. 各変数のトレーニング期間における変化

トレーニングの進行に伴う各変数の変化を示す数値(回帰直線の傾き)についてみると、P_{STS}の傾き(以下S_{PSTS}とする)のみ、両群ともにトレーニングにより高まっていた様子が窺える高い正の値が示されていた(表4)。他の変数については、トレーニングによる顕著な変化が認められなかったことを示唆する、0に極めて近い値が示されていた(表4)。なお、SPとMD間の有意差は、何れの変数の傾きにおいても認められなかった。

表4 トレーニングによる各変数の変化

数値は、各測定値の測定実施回数への回帰から得られた一次回帰式の傾きを示している。

	P _{STS}	I _F	V _{STS}	F _{STK}	D _{STK}
S.I.	2.81	-0.36	0.01	0.50	0.02
Y.M.	2.94	-1.15	0.01	-0.91	0.03
SP	3.53±1.09	0.96±0.74	0.02±0.02	0.22±0.36	0.01±0.02
MD	2.92±0.83	0.94±0.80	0.01±0.01	0.94±0.39	0.00±0.01

4. SP における競技成績と各変数との関連性

SP における競技成績と各データとの相関係数についてみると、P_{STS} では負の r 値が比較的高く示される例 (12kg) がみられたものの、何れの負荷においても統計的に有意 ($p < 0.05$) な水準には達していなかった (表 5)。S_{PSTS} との関連性については、何れの負荷においても有意水準に達している相関係数は示されなかった (表 5)。I_F については、6 kg (50m) において有意水準 ($p < 0.01$) 以上の正の r 値が、また 12kg (100m) において 5% 水準に極めて近い、高い負の r 値が競技成績との間に認められた (表 5)。競技成績とストロークパラメータ間の相関についてみると、F_{STK} では 6 kg (100m) において正の、D_{STK} では 4 kg, 6 kg および 12kg において負の、それぞれ有意水準 ($p < 0.05$) 以上の相関係数が示されていた (表 5)。なお、V_{STS} については、P_{STS} と競技成績との間に示された相関係数と同傾向の結果が示されていた。

表 5 競技成績と各変数間の相関係数

		50mFR	100mFR
P _{STS}	4kg ($n=6$)	-0.400	-0.443
	6kg ($n=5, 6$)	-0.334	-0.658
	8kg ($n=6$)	-0.678	-0.668
	10kg ($n=5$)	-0.497	-0.498
	12kg ($n=5$)	-0.733	-0.816
S _{PSTS}	($n=6, 5$)	0.706	0.448
I _F	4kg ($n=6$)	0.090	0.005
	6kg ($n=5, 6$)	0.980**	0.637
	8kg ($n=6$)	0.273	0.228
	10kg ($n=5$)	-0.126	-0.249
	12kg ($n=5$)	-0.566	-0.875
F _{STK}	4kg ($n=6$)	0.520	0.442
	6kg ($n=5, 6$)	0.705	0.820*
	8kg ($n=6$)	0.130	0.504
	10kg ($n=5$)	0.322	0.633
	12kg ($n=5$)	-0.089	0.226
D _{STK}	4kg ($n=6$)	-0.676	-0.885*
	6kg ($n=5, 6$)	-0.786	-0.949**
	8kg ($n=6$)	-0.564	-0.796
	10kg ($n=5$)	-0.569	-0.780
	12kg ($n=5$)	-0.724	-0.865*

* $P < 0.05$. ** $P < 0.01$.

5. 前年からの P_{STS} および競技成績の向上率

SPのみを対象として検討した IMP_{PSTS} については、全体的にみると何れの設定負荷においても100%を上回る値が示され、P_{STS} が前年よりも向上した様子が窺えた(図4)。また、IMP_{RT} についても100%以上の数値が示され、SP全体としての記録の伸びが認められた(図4)。個別적으로みると、S.I. では何れの負荷においても顕著に高い IMP_{PSTS} が示され、IMP_{RT} も同様に高値を示したが、Y.M. ではSPと同等かそれよりも低い値が示されていた(図4)。

IMP_{PSTS} および IMP_{RT} 間の相関については、12kg 設定時のみ認められた ($p < 0.05$, 表6)。他の設定負荷では、両者の密接な関連性を裏付ける高い r 値は示されなかった(表6)。

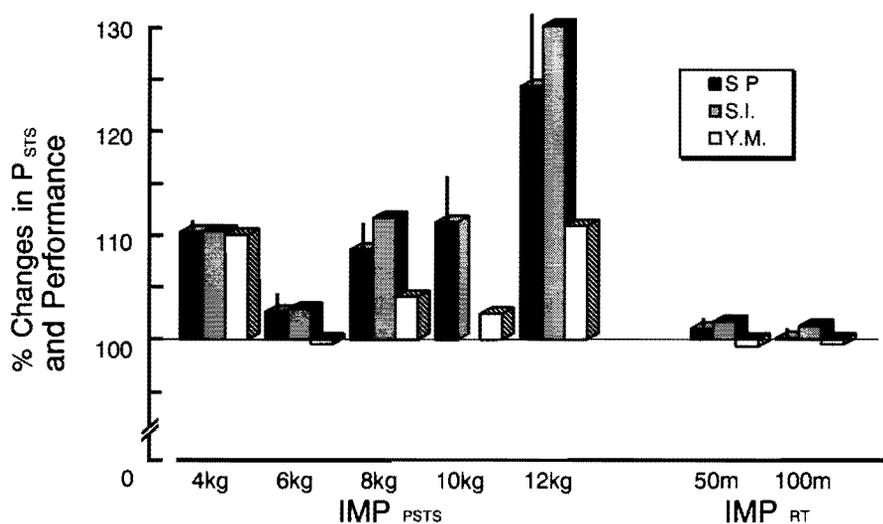


図4 前年からの P_{STS} および競技成績の向上率 (IMP_{PSTS} および IMP_{RT})

表6 競技成績および P_{STS} の前年からの向上を示す指標 (IMP_{RT} および IMP_{PSTS}) 間の相関係数

		IMP _{RT}	
		50mFR	100mFR
IMP _{PSTS}	4kg (n=6)	-0.094	-0.071
	6kg (n=5, 6)	0.119	-0.257
	8kg (n=6)	-0.259	-0.150
	10kg (n=5)	-0.069	-0.329
	12kg (n=5)	-0.059	0.896*

* $P < 0.05$.

IV. 考 察

1. Semi-tethered swimming (STS) 時のパワー発揮傾向と競技成績との関連性

まず、STS 時に発揮された10秒間の平均パワー出力 (P_{STS}) および平均泳速度 (V_{STS}) についてみると、何れの設定負荷においても、主に100m以下のクロール (FR) 種目で高水準の競技結果を得るための専門的トレーニングを実施している短距離選手群 (SP) において、200m以上の距離種目での記録向上を目的としてトレーニングを行っている中長距離選手群 (MD) よりも有意 ($p < 0.05$) に高い値が示されていた (図2下部および表3)。アトランタオリンピックに出場した S.I. および Y.M. については、前者では何れの負荷においても SP と同じ水準で、また後者では何れの負荷においても SP よりも高い水準で P_{STS} および V_{STS} が推移していた (図2下部および表3)。

これらの変数において極めて高い値を示した Y.M. は、アトランタオリンピック代表選手選考会において S.I. に破れたものの、現時点 (1996年12月) でも100mFR の日本最高記録を保持している実力者である。STS 時に発揮されるパワー出力が高い選手ほどスプリント泳時のパフォーマンスが優れる^{2,3,5,7,8,9)}とした報告から考えれば、Y.M. の高い競技力が主に泳いているときに発揮されるパワー出力が高いことに支えられている可能性が示唆される。なお、本研究では、競技成績 (アトランタオリンピック選考会における50mFR あるいは100mFR の競技記録) と P_{STS} との間の有意な相関は認められなかったが (表5)、これは対象者数が極めて少なかったことと、対象者間の競技成績が極めて狭い範囲での分布を示した (表1) ことに起因する問題と考える。したがって、MD を含め、より多数のサンプルでの分析が可能となっていれば、STS におけるパフォーマンスが競技成績と密接な関連性にあることを証明できる結果が示されたと考える。

一方、S.I. では、何れの負荷においても SP の平均値とほぼ同様であり、かつ明らかに Y.M. よりも低い P_{STS} および V_{STS} が示されていた (図2下部および表3)。おそらく、S.I. の高い競技力は、水泳時に発揮されるパワー出力以外の要因 (水泳効率、持久力、乳酸耐性等) に支えられていたであろう。このことは、S.I. が50mおよび100mのみを専門とする一般的な短距離選手ではなく、200m (アトランタオリンピック代表選手選考会優勝) や400m (1995年日本ランク18位相当) においても高い競技成績を示す、中距離型の選手であることから理解できよう。また、S.I. の P_{STS} が Y.M. のそれよりも明らかに低かった原因の一つとして、S.I. の STS 実施歴が1年未満であったことが考えられる。この点については、前年 (1995年) からの

P_{STS} の向上率 ($IMP_{P_{STS}}$) を考えれば (図4), S.I. が短期間に極めて高い P_{STS} を発揮できるようになった様子が窺える。さらに、このことと、S.I. のアトランタオリンピック代表選手選考会に向けたマクロトレーニングプログラムにおける P_{STS} の向上の程度 ($S_{P_{STS}}$) が顕著ではなかったという事実 (表4) を鑑みれば、S.I. がこのトレーニング期間の初期段階から常に高いレベルでの STS トレーニングを実施できていた可能性が推察される。このような結果、アトランタオリンピック代表選手に選考されるような極めて高い水準の記録を樹立することができたのであろう。これらのことから、S.I. は、今後のトレーニングにより Y.M. と同水準の高い P_{STS} を発揮することができるようになれば、競技力をさらに高い水準まで上げることが可能な、潜在能力の高い選手であると考えられる。

なお、 P_{STS} および競技記録の前年からの向上率、すなわち $IMP_{P_{STS}}$ と IMP_{RT} 間の相関については、一部の負荷 (12kg) において認められたものの、全体的には明確な関連性が認められないような結果が示されていた (表6)。図4で示すように、S.I. では前年からの P_{STS} および記録の向上間に因果関係が存在する可能性が高いが、他の5名については、高い P_{STS} を発揮するために必要な能力以外の要因が改善された結果、記録の向上が達成されたと考えの方が無難であろう。ただし、より深い考察を行うためには、競技成績と P_{STS} 間の相関分析同様、今後のデータ蓄積が必要であると考えられる。

次に、疲労指数、すなわち STS 測定時 (10秒間) のパワー出力の低下率 (I_f) について検討を加えた。平均的にみると、SP では何れの負荷においても同水準の I_f が示されたのに対し、MD では10kg 以上の高負荷において顕著に低い値が示される傾向が認められた (図2 上部)。アトランタオリンピック出場を果たした2名については、12kg において SP より高めの I_f が示されていた (図2 上部)。これらのことは、FR の短距離種目において好成績を上げるためには、10kg を越える高負荷での STS 時に、終始高いパワー出力を維持できる能力の獲得が重要となることを示唆するものである。実際、SP における100mFR の競技成績と12kg 設定時の I_f との間には、5%水準に極めて近い負の相関係数が示されていた (表5)。相関分析が MD を含めて行われていれば、より高い r 値が示されたと考えられる。なお、6kg において競技成績と I_f との間に有意 ($p < 0.05$) に高い正の相関係数が示されたことについて考察を加えることは、現状では困難である。すなわち、少なくとも8kg 以下の負荷の I_f が負荷による影響を受けない可能性が高い (図2 上部) ことや、4kg、8kg および10kg における競技成績と I_f との関連性が認められなかった (表5) ことを考えれば、6kg においてもそれと同様の傾向がみられても不思議ではない。このことに関しても、今後、サンプル数が増えた段階で検討を加えることとする。

2. STS 時のストロークパラメータと競技成績との関連性

SP および MD 間の有意差についてみると、ストローク頻度 (F_{STK}) では12kg を除く全ての負荷において、また、1ストロークあたりの推進距離 (D_{STK}) については12kg 設定時においてのみ、SP で MD よりも有意 ($p < 0.05$) に高い値が示されていた (図3)。このことは、STS 時の F_{STK} の向上が P_{STS} の向上、ひいては FR の短距離種目における競技力向上に大きな影響を及ぼすことを示唆するものである。しかし、競技成績とストロークパラメータとの関連性について検討した結果、 F_{STK} よりもむしろ D_{STK} との間に高い相関係数が示される傾向が露呈された (表5)。

この点につき、STS 時の F_{STK} が何れの負荷においても無負荷での最大努力泳時、すなわち競技会 (アトランタオリンピック代表選手選考会) における50mFR 時とほぼ同水準であった (図3 上部) ことを考えれば、 F_{STK} は、STS 時ではなくむしろ無負荷でのスプリント系トレーニング時に改善されるべき要素である可能性が高い。すなわち、泳ぎのリズムは、STS よりもはるかに高頻度で実施される無負荷でのスプリント系トレーニング時に学習・記憶され、それが STS 時に反映されていくものとする。これらのことから、競技力向上を主眼においた STS トレーニングにおいて獲得すべきストローク特性は、 D_{STK} の延長である可能性が考えられる。

次に、S.I. および Y.M. のデータについて検討を加えてみた。両者の D_{STK} は、何れの負荷においても SP より高水準であった。しかしながら、 F_{STK} については、Y.M. で SP と同じかそれよりも高い水準の、また、S.I. で MD とほぼ同水準の値が示されていた (図3)。これらのことは、Y.M. では推進力の高いストロークを高頻度の泳ぎで達成できること、S.I. では主に1ストローク毎に極めて高い推進力を発揮できることに起因して日本の最高レベルの競技力を獲得できた可能性を示唆するものである。このようなストローク特性から競技力を一層高める上での課題について鑑みれば、S.I. では STS 以外のトレーニングにおいて D_{STK} の変化を伴わない F_{STK} の向上に努める必要があろう。他方、Y.M. では、STS 時の F_{STK} および D_{STK} がともに高い水準にあったことから (図3)、STS 時の泳ぎのリズムやストロークメカニクスについて大きな問題はないように思える。それにも関わらず、Y.M. がアトランタオリンピック代表選手選考会において好成績を残すことができなかった点については、そのときのレース展開、すなわちレース時のペース設定やストローク頻度の構成において問題があり、そのために STS で培った高いパワー出力 (Movement-specific power) を活かしきれず、自己最高記録を達成できなかったと推察している。これらの点が改善されれば、何れの選手においても、日本最高記録を更新することは可能であると考えられる。

IV. ま と め

本研究では、アトランタオリンピック出場を果たしたクロールの短距離選手 2 名 (S.I. および Y.M.) を含む競技力の極めて高い短距離泳者 (SP) および競技力の極めて高い中長距離泳者 (MD) を対象に、4 kg、6 kg、8 kg、10kg および 12kg の負荷設定で実施した 20 秒程度の Semi-tethered swimming (STS) 時の平均パワー出力 (P_{STS})、疲労指数 (測定時の P_{STS} の低下率, I_F)、平均泳速度 (V_{STS})、ストローク頻度 (F_{STK}) および 1 ストロークあたりの推進距離 (D_{STK}) について検討した。得られた結果については、以下に示したとおりであった。

- 1) P_{STS} および V_{STS} については、何れの設定負荷においても SP (63.6~100.6W および 1.58~0.88m \cdot sec $^{-1}$) で MD (54.6~80.2W および 1.35~0.56m \cdot sec $^{-1}$) よりも有意 ($p<0.05$) に高い値が示されていた。なお、S.I. (62.6~104.4W および 11.56~0.90m \cdot sec $^{-1}$) では SP と同様の、Y.M. (66.0~124.4W および 1.65~1.08m \cdot sec $^{-1}$) ではそれよりも高水準の P_{STS} および V_{STS} が示されていた。
- 2) P_{STS} と競技成績との間には、有意な相関係数は示されなかった ($r = -0.334 \sim -0.816$)。
- 3) STS 実施期間中 (6 ヶ月間) の P_{STS} の変化についてみると、何れの選手、何れの負荷においても値の上昇傾向が認められたが、このことと競技成績との間に明確な因果関係は認められなかった ($r = 0.448 \sim 0.706$)。
- 4) P_{STS} の前年からの向上率についてみると、S.I. (102.9~143.6%) で SP (102.7~124.2%) および Y.M. (99.6~110.8%) よりも顕著な向上を認めることができる結果が示されていた。
- 5) I_F については、SP (85.5~94.2%)、S.I. (90.4~95.2%) および Y.M. (88.9~93.9%) では負荷間でほぼ同様の値が示されたが、MD では 10kg (75.8 \pm 5.4%) および 12kg (71.1 \pm 10.3%) といった高負荷において低下する傾向がみられた。
- 6) F_{STK} については、12kg (58.2 \pm 1.2 vs. 53.7 \pm 1.4 stk \cdot min $^{-1}$) を除く全ての負荷において SP (58.0~60.9 stk \cdot min $^{-1}$) で MD (52.9~53.6 stk \cdot min $^{-1}$) よりも有意 ($p<0.05$) に高い値が示されていた。なお、S.I. (52.6~56.9 stk \cdot min $^{-1}$) では MD と同水準の、Y.M. (58.8~63.8 stk \cdot min $^{-1}$) では SP と同水準かそれよりもやや高水準の F_{STK} が示されていた。
- 7) D_{STK} については、10kg 以下の負荷設定時では SP (1.62~1.04m \cdot stk $^{-1}$) および MD (1.57~0.97m \cdot stk $^{-1}$) 間で有意差は認められず、12kg 設定時のみ SP (0.93 \pm 0.07m \cdot stk $^{-1}$) で MD (0.65 \pm 0.04m \cdot stk $^{-1}$) よりも有意 ($p<0.05$) に高い値が示されていた。なお、S.I. (1.05~1.82m \cdot stk $^{-1}$) および Y.M. (1.13~1.64m \cdot stk $^{-1}$) では、SP よりも高い水準で D_{STK} が推移していた。
- 8) 競技成績とストロークパラメータとの関連性についてみると、 F_{STK} ($r = -0.089 \sim 0.820$) よりもむしろ D_{STK} ($r = -0.564 \sim -0.949$) との間に高い相関係数が示されていた。

略語一覧

FR : クロール泳

STS : Semi-tethered swimming

PPS : Semi-tethered swimming 専用の負荷設定およびパワー測定装置 (Power Processor for Swimming)

SP : 本研究の対象者のうち, 短距離種目(50mあるいは100m)を専門とするクロール選手の群

MD : 本研究の対象者のうち, 中長距離種目 (200m, 400mあるいは1,500m) を専門とするクロールあるいは個人メドレー選手の群

PSTS : Semi-tethered swimming 時に発揮された平均パワー出力 (W)

IF : Semi-tethered swimming 時の疲労指数 (%)

VSTS : Semi-tethered swimming 時の平均泳速度 ($m \cdot sec^{-1}$)FSTK : ストローク頻度 ($stk \cdot min^{-1}$)DSTK : 1 ストロークあたりの推進距離 ($m \cdot stk^{-1}$)

SPSTS : PSTS の測定実施回数への回帰から得られた一次回帰式の傾き。PSTS のトレーニングによる向上の程度を示している。

IMPRT : アトランタオリンピック代表選手選考会時の50mあるいは100mクロールにおける競泳記録の、1995年度の同種目における自己最高記録を基準としたときの向上率 (%)

IMPSTS : 1996年の競泳シーズンに測定された PSTS の平均値の、その前シーズンに測定された PSTS の平均値を基準としたときの向上率 (%)

文 献

- 1) Clarys, J.P. (1988) The Brussels swimming EMG project. In : Ungerechts, B.E., Wilke, K. and Reischle, K. (Eds.) *Swimming Science V. Human Kinetics* : Champaign, IL, pp.157-171.
- 2) Costill, D.L., King, D.S., Holdren, A. and Hargreaves, M. (1983) Sprint speed vs. swimming power. *Swimming Tech.* May-July : 20-22.
- 3) Costill, D.L., Rayfield, F., Kirwan, J. and Thomas, R. (1986) A computer based system for measurement of force and power during front crawl swimming. *J. Swimming Res.* 2 (1) : 16-19.
- 4) Hooper, R.T. (1983) Measurement of power delivered to an external weight. In : Hollander, P.A., Huijting G. and de Groot, G. (Eds.) *Biomechanics and medicine in swimming.* Human Kinetics : Champaign, IL, pp.113-119.
- 5) Klentrou, P. P. and Montpetit, R.R. (1991) Physiological and physical correlates of swimming performance. *J. Swimming Res.* 7 (1) : 13-18.
- 6) Maglischo, E.W. (1993) *Swimming even faster*(1st ed.). Mayfield : California, pp.93-108.
- 7) 森谷暢・吉村豊・高橋雄介 (1994) 牽引泳時に発揮されるパワーの測定. 中央大学保健体育研究所紀要 12 : 71-83.
- 8) 森谷暢・吉村豊・高橋雄介 (1995) 競泳選手の競技力向上を目的とした Semi-tethered Swimming の活用. トレーニング科学 7 : 85-96.
- 9) Sharp, R.L. (1986) Muscle strength and power as related to competitive swimming. *J. Swimming Res.* 2 (2) : 5-10.
- 10) Siders, W.A., Lukaski, H.C. and Bolonchuk, W.W. (1993) Relationships among performance, body composition and somatotype in competitive collegiate swimmers. *J. Sport Med.* 33 : 166-171.
- 11) 財団法人水泳連盟医・科学委員会 (1996) 第72回日本選手権水泳競技大会兼アトランタオリンピック代表選手選考会競泳レース分析表. 財団法人水泳連盟医・科学委員会.