

## 競泳 4 泳法における泳速度と推進力, 泳パワーの関係

森 誠護<sup>1)</sup> 田口 正公<sup>2)</sup> 田場 昭一郎<sup>2)</sup>

### Relationships between swimming velocity and propulsive force, swimming velocity and swimming power in four competitive swimming strokes

Seigo MORI<sup>1)</sup> Masahiro TAGUCHI<sup>2)</sup> Shoichiro TABA<sup>2)</sup>

#### Abstract

In competitive swimming, it is important to increase propulsive force and to decrease active drag for improving performance. The aim of this study was to clarify the characteristics by investigating relationships between swimming velocity and propulsive force, swimming velocity and swimming power in four strokes.

The subjects were 68 male competitive swimmers (19.75±1.06years). The propulsive force and swimming power were measured by the active drag system. The subjects swam four times each assisted swimming and resisted swimming at maximum effort. As a result, relationship between swimming speed and propulsive force showed a significant inverse correlation on breaststroke. This result suggested that it was important to acquire the skills for reducing drag than improving propulsive force in breaststroke. Relationships between swimming velocity and swimming power were significant correlation on front crawl, butterfly and backstroke. These show the importance of swimming power training in these strokes.

---

1) 鈴鹿工業高等専門学校教養教育科  
General Education, Suzuka National College of Technology  
2) 福岡大学スポーツ科学部  
Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

## 1. 緒言

競泳は水中という特殊な環境下において、より速く泳ぐことを競うスポーツであり、近年における記録の向上は著しい。その背景には、競技者の身体組成の変化、体力や技術の向上、トレーニング環境や方法の発展、体力及び技術を客観的に評価するための測定及び分析方法の追求など様々な要因が影響している。

これまでに、水泳中の推進力や泳パワー、抵抗に関する研究は数多く行なわれている。実際に泳いでいるときの抵抗（以下「Active Drag」と略す）の測定には、様々な装置が開発され、測定に用いられている（Clarys et al, 1974 ; Kolmogorov and Duplishcheva, 1992 ; Komune and Ogura, 1994 ; Nomura et al, 1994 ; 下永田ほか, 1998 ; Toussaint, 1990）。しかし、これらの研究では、Active Dragは各選手の泳技術との関連が大きいということを報告しているものの、泳者が実際に泳いでいる時の抵抗を定量化することは難しく、未だ統一した見解が見られていないのが現状である。Active Drag Systemを用いた下永田ほか（1999）の研究では、より速く泳ぐためには少ない抵抗の中で高い推進力および泳パワーを発揮することが重要であると報告されており、競泳選手には推進力は低く抵抗も少ない非抵抗型と抵抗は大きい推進力も高い推進力型の2つのタイプが存在すると述べている。また、推進力や泳パワーに着目した研究において、泳パワーは泳パフォー

マンスとの相関が高いという多数の報告（Costill et al, 1983, 1986 ; 森谷ほか, 1995 ; 下永田ほか, 2002）がある。

競泳には、バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、クロールの4種類の泳法があるが、泳法ごとに推進力と泳パワーの特性が存在すると考えられる。

Morouço et al.（2011）は、Tethered Swimming（前方への推進を伴わない負荷泳）における4泳法の推進力を測定しており、全種目において30秒間の平均推進力と50m, 100m, 200mの泳速度との間に有意な相関関係を示したと報告している。森谷ほか（1995）は、4泳法の泳パワーを電圧調整で負荷設定ができる装置を用いて測定しており、クロールとバタフライにおける10秒間の平均泳パワーと競技成績の間に有意な負の相関関係を示したと報告しているが、平泳ぎと背泳ぎに関しては被験者数が少なかったため相関分析が行われておらず、詳細な考察がなされていない。

そこで本研究では、Active Drag Systemを用いて、測定された張力及び速度より最大泳速度、最大推進力、最大泳パワーを算出し、最大泳速度と最大推進力及び最大泳パワーの関係から競泳4泳法の種目特性を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### (1)被験者

被験者の身体特性及び100mのベストタイムを表1に示した。被験者は、水泳競技に十分習熟し

Table.1 Characteristics of the subjects

Swimming Style	Number of Subject	Age			100m Best Time		Swimming Velocity @Best Time	
		(years)			(sec)		(m/sec)	
		total	Mean	S. D	Mean	S. D	Mean	S. D
Fr-SHT	23	20.10	0.95	54.00	1.21	1.85	0.04	
Fr-LNG	13	19.23	0.93	54.85	0.70	1.82	0.02	
Fly	12	19.30	0.78	57.40	2.39	1.74	0.07	
Ba	10	19.70	1.34	58.40	1.56	1.71	0.05	
Br	10	20.20	1.14	66.20	2.12	1.51	0.05	

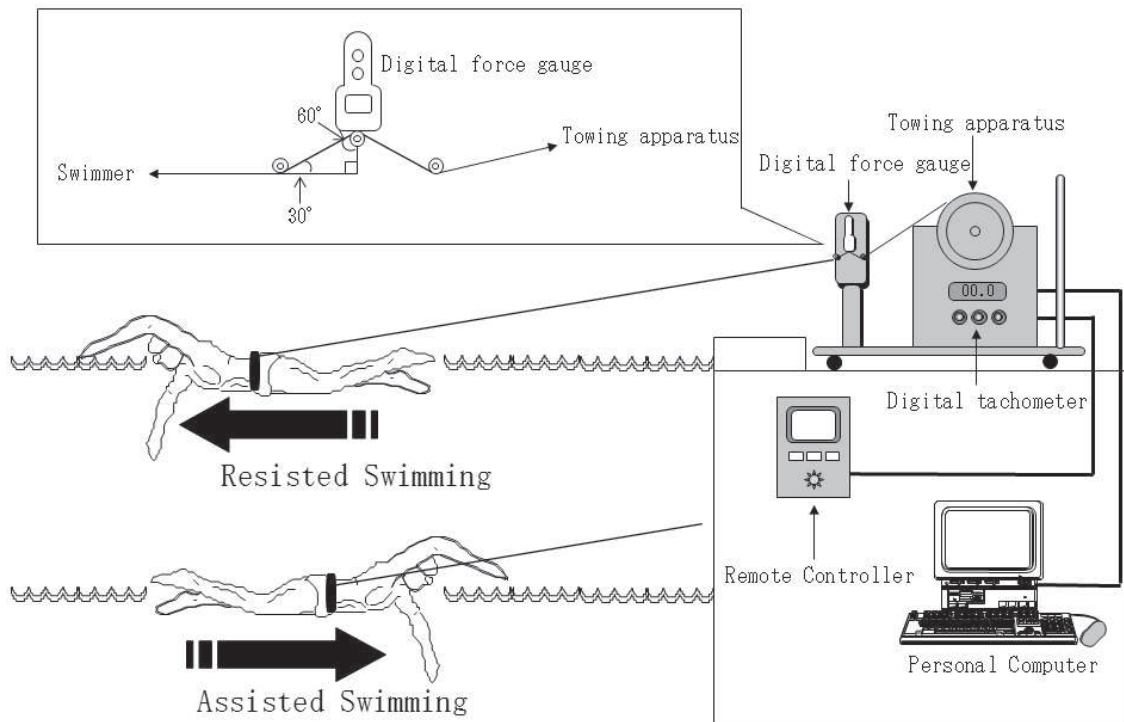


Figure.1 The measurement method of propulsive force and swimming power

た男子大学競泳選手68名とした。専門種目毎の人数は、クロール短距離（以下「Fr-SHT」と略す）23名、クロール中長距離（以下「Fr-LNG」と略す）13名、バタフライ（以下「Fly」と略す）12名、背泳ぎ（以下「Ba」と略す）10名、平泳ぎ（以下「Br」と略す）10名であった。また、Fr-SHTは50mと100m及び100mと200mを専門とする選手、Fr-LNGは200mと400m及び400mと1500mを専門とする選手とした。被験者の競技レベルは日本学生選手権出場レベルから日本選手権上位入賞レベルまでであった。なお、被験者には実験に関する内容を十分に説明し、本実験への参加の同意を得た。

## (2)実験試技

図1に実験概略図を示した。実験にはActive Drag System（森山製作所製，MLD-G1-1型，以下「ADS」と略す）を用いて測定を行なった。ADSはプールサイドに設置し，牽引ロープ（YGKよつあみ社製，ケプラーノット）を介して泳者を一

定の速度で牽引した。牽引ロープは泳者の腰に装着したベルトに固定した。牽引時の速度は速度センサー（オムロン社製，E6B10R/P）から，張力はデジタル張力計（日本電産シンポ社製，FXG-50）からそれぞれ検出し，各データをPCに取り込んだ。

試技は，牽引ロープに引っ張られながら泳ぐアシステッド泳と牽引ロープを引っ張りながら泳ぐレジステッド泳の2種類で行なった。牽引時の速度範囲は，アシステッド泳が1.8-2.3m/sec，レジステッド泳が0.2-1.6m/secであり，それぞれ4段階の速度で実施した。アシステッド泳はADSを設置した側より30m地点から10m地点までの20m間を泳ぎ，レジステッド泳はADSを設置した側より10m地点から10秒間泳いだ。なお，泳者には全8試技を最大努力で行なうよう指示し，試技間には十分な休息を取った。

本研究における実験は，1998年から2005年の間に同一条件で行ない，そのデータを集計した。なお，2回以上測定を実施した者においては，最も

Table.2 Each values obtained in each stroke

	$V_0$		$P_0$		MSP		$V_{MSP}$	
	(m/sec)		(N)		(W)		(m/sec)	
	Mean	S. D	Mean	S. D	Mean	S. D	Mean	S. D
Fr-SHT	1.77	0.09	154.77	24.70	101.43	19.24	0.98	0.08
Fr-LNG	1.70	0.07	135.16	30.37	84.85	13.69	0.92	0.06
Fly	1.68	0.10	146.90	31.66	93.43	21.03	0.88	0.08
Ba	1.61	0.07	147.64	23.96	89.16	11.50	0.87	0.04
Br	1.47	0.15	139.61	44.12	78.20	16.13	0.74	0.08

泳速度の高かった測定値を採用した。

(3)分析方法

速度と張力のデータは、50Hzでサンプリングを行ない、PCに取り込んだ。アシステッド泳とレジステッド泳の合計8試技において、それぞれ速度の安定した4ストロークサイクル中の平均を代表値とし、泳速度と張力の関係を求めた。式

(1) に示したKomune and Ogura (1994) の回帰モデルを用いて、泳速度と張力間の回帰分析を行なった。なお、速度が0の時の張力を最大推進力（以下「 $P_0$ 」と略す）とし、張力が0の時の速度を最大泳速度（以下「 $V_0$ 」と略す）とそれぞれ定義した。

$$Tr = P_0 \{ (1 - V / V_0) \}^n \dots (1)$$

Tr：張力，V：速度，n：指数定数， $P_0$ ：最大推進力， $V_0$ ：最大泳速度

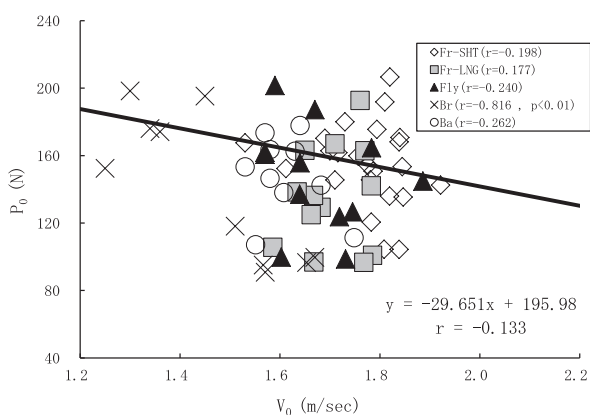


Figure.2 Relationship between  $V_0$  and  $P_0$

また、速度と張力の積から泳パワーを算出した。なお、泳パワーと速度の関係を示す曲線の最大値を最大泳パワー（以下「MSP」と略す）とし、MSPが出現した時の泳速度をMSP時泳速度（以下「 $V_{MSP}$ 」と略す）とした。

本研究において得られたデータにおける分析項目間の関係性についてはピアソンの相関分析を用いて検討を行なった。なお、いずれも有意水準は5%未満とした。

3. 結果及び考察

(1)各泳法における最大泳速度と最大推進力の関係

本実験で得られた泳法ごとの $V_0$ と $P_0$ を表2に、各泳法における $V_0$ と $P_0$ 及びMSPの相関関係を表3及び図2にそれぞれ示した。各泳法における最大泳速度と最大推進力は、Fr-SHTが $1.77 \pm 0.09$  m/secと $154.77 \pm 24.70$  N，Fr-LNGが $1.70 \pm 0.07$  m/secと $135.16 \pm 30.37$  N，Flyが $1.68 \pm 0.10$  m/secと $146.90 \pm 31.66$  N，Baが $1.61 \pm 0.07$  m/secと $147.64 \pm 23.96$  N，Brが $1.47 \pm 0.15$  m/secと $139.61 \pm 44.12$  Nであった。 $V_0$ と $P_0$ との相関関係は、全被験者間 ( $r=-0.133$ )，Fr-SHT ( $r=-0.198$ )，Fr-LNG ( $r=0.177$ )，Fly ( $r=-0.240$ )，Ba ( $r=-0.262$ )と有意な相関関係が認められなかったが、Brにおいて有意な負の相関関係 ( $r=-0.816$ ,  $p<0.01$ ) が認められた。Fr, Fly, Baでは主に上肢（プル動作）で推進力を得ているのに対し、Brは主に下肢（キック動作）で推進力を得ている。Brは足底部で水をとらえ、後方へキックすることにより一時

Table.3 Relationship between  $V_0$  and each values in each stroke

	All	Fr-SHT	Fr-LNG	Fly	Ba	Br
$V_0 - P_0$	$r=-0.133$	$r=-0.198$	$r=0.177$	$r=-0.240$	$r=-0.262$	$r=-0.816^{**}$
$V_0 - MSP$	$r=0.605^{**}$	$r=0.675^{**}$	$r=0.657^*$	$r=0.697^*$	$r=0.650^*$	$r=0.151$
$V_0 - V_{MSP}$	$r=0.892^{**}$	$r=0.742^{**}$	$r=0.664^*$	$r=0.876^{**}$	$r=0.795^{**}$	$r=0.849^{**}$

\*\*p<0.01, \*p<0.05

的に大きな推進力を得ているものの、リカバリー局面において推進方向とは逆に足の引きつけ動作が行なわれることで大きな減速が生じ、その結果、泳速度が低くなる。また、プルとキックが交互に独立して行なわれるため、プルとキックのタイミングの取り方によってもプルやキックで得た推進力以上に減速が生じ、他種目よりも1ストロークサイクル中における泳速度変化が大きくなる（Albert et al, 1988；土居・小林, 1986；岸野, 1987；マグリシオ, 1999）。マグリシオ（1999）は、平泳ぎにおけるトップクラスの選手と他の選手との大きな違いは、推進局面よりも減速局面で生じ、トップクラスの選手はあまり減速せず、その時間も短いと述べている。合屋ら（1986）は、平泳ぎを専門とするオリンピック選手と大学競泳選手との比較から、オリンピック選手は大学競泳選手と比べグライド局面が長く、リカバリー局面は短かったと報告している。本実験における平泳ぎ選手においても、最大泳速度が低

い選手ほど推進力が高いことから、平泳ぎでは、推進力を高める技術の獲得以上に、推進時に生じる抵抗を軽減する技術を獲得する必要があると示唆される。しかし、負荷を後方からかけて前方に進まない状態で泳ぐTethered Swimmingにて4泳法の推進力を測定したMorouço et al.（2011）の研究では、推進力はBrで最も高く、以下、Ba, Fr, Flyの順であったと述べている。また推進力と推進力測定の日後に行なわれたレース時の泳速度（距離をレースで除した値）との関係では、全ての種目において30秒間の平均推進力と50m, 100m, 200mの泳速度との間にそれぞれ有意な関係を示したと報告している。ADSを用いた測定は、泳者がロープを牽引しながら泳ぐ時に発生する張力を計測し、その速度における抵抗を差し引いた推進力を求める余剰推進力測定法（高木ほか, 1993）であり、前方への推進を伴うSemi-tethered Swimmingとも呼ばれる。Morouço et al.

（2011）の研究と本研究における推進力と泳速度の関係に対する見解が異なっている理由は、この測定条件の違いによる影響が大きいと考えられる。今後、先行研究と比較を行なっていくためには、測定法による推進力の違いを検討していく必要がある。

(2)各泳法における最大泳速度とMSPの関係

本実験で得られたMSPを表2に、各泳法における $V_0$ とMSPの相関関係を表3及び図3にそれぞれ示した。その結果、各泳法におけるMSPは、Fr-SHTが $101.43 \pm 19.24W$ 、Fr-LNGが $84.85 \pm 13.69W$ 、Flyが $93.43 \pm 21.03W$ 、Baが $89.16 \pm 11.50W$ 、Brが $78.20 \pm 16.13W$ であった。各

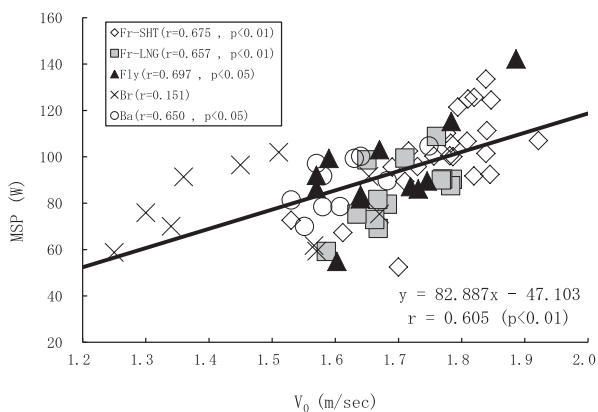


Figure.3 Relationship between  $V_0$  and MSP

泳法における $V_0$ とMSPの相関関係は、全被験者間 ( $r=0.605$ ,  $p<0.01$ ) , Fr-SHT ( $r=0.675$ ,  $p<0.01$ ) , Fr-LNG ( $r=0.657$ ,  $p<0.05$ ) , Fly ( $r=0.697$ ,  $p<0.05$ ) , Ba ( $r=0.650$ ,  $p<0.05$ ) において有意な相関が認められたが、Brでは有意な相関が認められなかった ( $r=0.151$ ) .

これまで泳パワーに関する研究は、そのほとんどがクロールに着目したものであった。本研究の $V_0$ とMSPの関係において最も高い相関を示したのはFr-SHTであった。これは、泳パワーが特にスプリント種目において泳パフォーマンスを高めるための重要な要素であることを示している。また、本研究ではFlyとBaにおいても泳速度と泳パワーの間に有意な相関関係が認められたことから、両泳法においても、泳パワーを向上させることが重要であることが示された。

クロール中長距離を専門とする選手は400mで約4分、800mで約8分、1500mで約15分泳ぎ続けるため、主に持久系能力を高めるためのトレーニングが主な割合を占めている。Ogita et al.

(2003) は、15秒から10分までの全力泳中の酸素摂取量と酸素負債量からの運動持続時間とエネルギー供給の割合を求めており、無酸素性エネルギーの割合は15秒で78~80%、1分で50%、2~3分で30%、8~10分で5%であったと述べていることから、400m以上の距離を専門としているクロール中長距離選手においても無酸素性エネルギー供給能力を向上するためのトレーニングは無視できない。また、本研究では、Fr-LNGにおける最大泳速度とMSPの関係が有意な相関を示したことから、中長距離を専門とする選手においても泳パワー向上を目的としたスプリントトレーニングを行うことが必要であることが示された。

本研究において、Brでは $V_0$ とMSPに有意な相関関係が認められなかった。しかし、図3をみると、 $V_0$ が1.25~1.51m/secの選手では $V_0$ とMSPに有意な相関関係 ( $r=0.919$ ,  $p<0.05$ ) が認められ、 $V_0$ が1.57m/secより速い選手では $V_0$ とMSPに相関関係が認められなかったが、 $V_0$ が高くなるとともにMSPも高い値を示している。これは、Brを専

門とする選手にも下永田ら (1999) が示すような非抵抗型と推進力型が存在すると考えられることから、今後、Brについては選手の特性に着目して泳パワーとの関係を検討していく必要がある。

### (3)泳パワートレーニングについて

マグリシオ (1999) は、スプリントトレーニングをスプリントレジステッドスイム、スプリントアシステッドスイム、陸上レジスタンストレーニングの3つに分類している。本研究で実施した推進力と泳パワーの測定はスプリントレジステッドスイムにあたる。このトレーニングには、ロープを介して抵抗物を牽引する方法やチューブを使って抵抗をつくる方法、独自に作製された大掛かりな装置を使用する方法など様々である。このスプリントレジステッドスイムの主な利点は、より多くの抵抗を作ることによって前進するための筋力をより多く必要とすることにある (マグリシオ, 1999) 。泳パワーは力と速度の積によって求められており、本研究の結果では、Fr-SHT, Fr-LNG, Fly, Baにおいて $V_0$ とMSPの間に有意な相関関係が認められている。このことから、これらの種目において泳パワートレーニングは泳パフォーマンスを高めるための重要なトレーニングであると示唆できる。しかし、Brでは $V_0$ が高い選手ほどMSPも高い傾向にあったものの $V_0$ とMSPの間には有意な相関関係が認められなかったため、泳パワートレーニングをBrの選手に実施する場合は、他種目以上に選手の特性に応じたトレーニングを行う必要があると考えられる。

森谷ほか (1996) は、Semi-tethered Swimming実施時の至適設定負荷に関する検討をパワー出力傾向と主観的感覚から行っており、何れの種目においても8kg以下の負荷設定が望ましく、それよりも高い負荷であればストロークメカニクスや泳ぎのリズムが通常泳時とかけ離れていく可能性があると報告している。スプリント能力を改善する目的で実施されているスプリントレジステッドスイムでは、各選手のストロークメカニクスやボディポジションを大幅に変えることなく行なう

ことが重要であることから、今後は、泳パワートレーニングを実施する上でのトレーニング量や実施時期などについて検討する必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、競泳4泳法の種目特性を明らかにするために、ADSを用いて算出した $V_0$ と $P_0$ 、 $V_0$ とMSPの相関関係をそれぞれ求めた。その結果、 $V_0$ と $P_0$ の相関関係では、Brにおいて有意な負の相関関係が認められ、 $V_0$ とMSPの相関関係では、Br以外のFr-SHT, Fr-LNG, Fly, Baにおいて有意な正の相関が認められた。これらの結果から、Fr-SHT, Fly, Baを専門とする選手においては、より高い泳パワー発揮能力を獲得することが重要であることが示された。また、Fr-LNGでも $V_0$ とMSPの間に有意な相関関係が認められたことから、持久系能力を高めるためのトレーニングが大半を占めるFr-LNGの選手においても泳パワーを高めることが大切であることが示された。Brでは、 $V_0$ と $P_0$ の関係において負の相関 ( $r=-0.816$ ,  $p<0.01$ ) が見られ、 $V_0$ とMSPの関係において、唯一、相関関係が認められなかった。しかし、統計上は有意な相関関係はなかったものの $V_0$ が高い選手はMSPも高い傾向にあったことから、Brは選手の特性に応じて泳パワートレーニングを実施する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) Albert.B, Craig.Jr, William.L.B, Patricia.L.S(1988)Patterns of Velocity in Competitive Breaststroke Swimming. *Swimming Science* V:73-77.
- 2) Clarys.J.P, Jiskoot.J, Rijiken.H, Brouwer.P.J(1974)Total resistance in water and its relation to body form. *Biomechanics IV*:187-196.
- 3) Costill.D.L, King.D.S, Holdren.A, Hargreaves. M(1983)Sprint speed vs. swimming power. *Swimming Technique* 20(1):20-22.
- 4) Costill.D.L, Rayfield.F, Kirwan.J, Thomas.T(1986)A computer based system for the measurement of force and power during front crawl swimming. *Journal of Swimming Research* 2:16-19.
- 5) 土居陽治郎, 小林一敏 (1986)平泳ぎのリカバリー動作と力学的モデル. 第37回日本体育学会大会号:784
- 6) 合屋十四秋, 天野義裕, 鶴峯治(1986)水中ゴニオグラムおよびシネマトグラフィからみた平泳ぎの協応動作. 第8回日本バイオメカニクス学会大会論集:60-65.
- 7) 岸野雄三編(1987)最新スポーツ大事典・資料編. 大修館書店:東京, pp31-55.
- 8) Kolmogrov.S.V, Duplishcheva.O.A(1992) Active Drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*, 25(3):311-318.
- 9) Komune.T, Ogura.M(1994)An Analysis and an evaluation of swimming using CWC. *Korea-Japan Joint Workshop on CWC*:85-92.
- 10) マグリシオ. E.W.著, 野村武男, 田口正公監 (1999)スイミングイーブン・ファースター. ベースボールマガジン社:東京
- 11) 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(2):85-96.
- 12) 森谷暢, 吉村豊(1996)パワー出力傾向と主観的な泳ぎの感覚からみたSemi-tethered Swimming実施時の至適設定負荷. 第47回日本体育学会大会号:471.
- 13) Morouço.P, Keskinen.K.L, Vilas-Boas.J.P, Fernandes.R.J(2011) Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *J.Appl.Biomech*.27(2):161-169.
- 14) Nomura.T, Goya.T, Matsui.A, Takagi.

- H(1994)Determination of Active Drag during Swimming. *Medicine and Sports Science in Aquatic Sports* 34 S.Karger : Basel:131-136.
- 15) Ogita.F, Onodera.T, Tamaki.H, Toussaint.H, Hollander.P, Wakayoshi.K(2003) Metabolic profile during exhaustive arm stroke, leg kick and whole body swimming lasting 15s to 10min. *Biomechanics and Medicine in Swimming* IX:361-366.
- 16) 清水潤, 田口正公, 森誠護(2004)クロール泳におけるpassive drag、active drag、最大泳パワーの男女差の検討. *福岡大学スポーツ科学研究*第34巻第1・2号:63-72.
- 17) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 青柳美由季(1998)クロール泳におけるActive Dragの定量化の試み. *福岡大学体育学研究*第28巻第2号:65-79.
- 18) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 大城敏裕, 浜口麻衣子(1999)クロール泳におけるActive drag定量法の検討. *バイオメカニクス研究概論*:270-275.
- 19) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 大城敏裕, 三浦望慶(2002)簡易泳パワー計測システムの開発と検討. *バイオメカニクス研究* 6(1):15-23.
- 20) 高木英樹, 坂田勇夫, 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典(1993)水泳における抵抗と推進力に関する流体力学的考察. *三重大学教育学部研究紀要*第44巻自然科学:71-84.
- 21) Toussaint.H(1990)Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med.Sci.Sports Exerc*, 22(3):409-415.