

## 牽引泳時に発揮されるパワーの測定

森谷 暢 吉村 豊 高橋 雄介

### 1. 序

競泳選手の無酸素性作業能力を評価する試みは、Wingate test<sup>10)15)</sup> やサイベックス<sup>16)</sup>、あるいはスイムベンチ (biokinetic swim bench)<sup>15)16)</sup> 実施時に発揮されたパワーを測定することでなされてきた。これらでは、水泳とは異なる運動様式で測定が行われているにも関わらずそれぞれの測定法から導出されたパワーと競泳成績との間に有意な相関が認められている。その理由として、対象となった選手の鍛練度が低く、かつその競泳成績にばらつきがあったことが考えられる。したがって、これらの測定法は、一般的な競泳選手を対象として無酸素性の作業能力を評価する場合に有効であると考えられる。

一方、対象を特にエリートレベルにある競泳選手のみに限定してパワーと競泳成績との関連性について検討する際には、測定法について吟味する必要性が生じる。この点に関して、Costill ら<sup>6)</sup> は、エリートレベルの競泳選手を対象とした場合にはスイムベンチによって測定したパワーでは泳成績との一定関係を見いだすことはできなかったが、実際の水泳中に測定したパワーでは泳成績との高い相関が認められたとしている。このことから考えれば、エリートレベルにある選手を対象として無酸素性の作業能力を詳細に評価するためにはより水泳に近い運動様式で測定を実施する必要がある。この点を考慮した最近の研究では、水泳時に発揮されるパワーを tethered swimming<sup>13)5)6)11)</sup> や MAD システム<sup>17)</sup> を利用して測定する試みがなされ、その結果が泳成績と密接な関連性を有することが報告されてきた。しかしながら、その報告例が少なく特にクロール泳のみに着目した研究しかないことを考えれば、より多くのデータについて検討していく必要がある。

そこで我々は、水泳時に発揮されるパワーについてより多くの具体例を残していくために水泳用のパワー測定装置を新たに開発した。本研究は、その経緯を紹介するとともにそのような

測定機器を利用したトレーニング方法について検討することで水泳時のパワー測定に関する基礎的な資料を提供することを目的とするものである。

## 2. 水泳中に発揮されるパワーの測定法についての検討

先ず、先行研究から水泳時のパワー測定に関する問題性について検討することで装置開発に際した課題性の把握に努めた。その結果をもとに、測定のみならずトレーニング時にも利用可能な機器の開発を目指した。

Costill ら<sup>26)</sup>は、競技力の高い競泳選手を対象として semi-tethered swimming (以下牽引泳とする) 実施時に発揮されたパワーについて検討し、その値が泳速と密接な関連性にあることを報告している。この研究では、スイムベンチの biokinetic system から等速でリリースされるワイヤを泳者の腰部に装着したベルトにつなげ、それを牽引して泳いだときのワイヤにかかる張力とワイヤのリリース速度からパワーを算出するという方法をとっている。この方法では、簡便に水泳時のパワー出力を測定できることと牽引泳時に記録された力曲線から泳技術の評価が可能となる点で有効性をみいだせるが、ワイヤのリリースされる速度が一定と仮定してパワーを算出しているため刻々と変化する泳速を厳密に測定できないという点でデータの妥当性に関して再検討を要するところもある。また、牽引泳を水中で実施するレジスタンストレーニングとして捉えればこのような測定機器の利用価値は高まると考えられるが、ワイヤのリリースされる速度を詳細に設定することができないため(設定できる速度は10種類のみ)バリエーションに富んだトレーニングの処方が困難となることが予想される。

Bernard ら<sup>1)</sup>は、fully-tethered swimming 時に発揮される力と free-swimming 時の泳速の積から泳パワーを算出している。この方法は、簡便に泳者の最大能力を評価できるが、両変数の測定を別々に実施する必要があることやトレーニング機器としての応用性が低いことを考えれば、本研究で目指すものと異なる性質を有するといえよう。

牽引泳時のパワーをより簡便な方法で測定する試みもなされている。Hooper<sup>12)</sup>は、等張力性の負荷で制御される牽引泳時のパワーをその時に負荷した重量と平均泳速の積から求めている。この方法では、詳細なパワーの算出が困難であること、牽引泳時の力および速度の詳細な変化を捉えられないこと、測定距離が短い(約10m)こと等簡便性を重視するために生じた問題性が大きいと考えられる。

一方、測定方法について吟味し、クロール泳のストロークによって発揮されるパワーを正確に評価する試みもなされている。Toussaint ら<sup>17)</sup>は、MAD システムにより水泳時のストローク

局面で発揮されたパワーの測定値が泳速と高い相関関係にあること、さらには MAD システムを改変したトレーニング機器 (POP) による水中でのレジスタンストレーニングの有効性について報告している。しかしながら、MAD システムが規模の大きな測定機器であることや測定機器とは別にトレーニング機器を作らなければならないことからすれば、牽引泳を利用した方法よりも実用性が低いと考えられる。

以上のことを踏まえ、簡便にパワーの評価ができること、泳いでいる時の力および速度の変化を捉えられること、水中で行うレジスタンストレーニングのための機器としても利用可能なことを重視して牽引泳方式を採用することにした。その上で、より詳細な測定ができるような機器の開発に取り組み、問題性の排除に努めた。すなわち、①牽引泳時にも刻々と変化する泳速を規定しないよう負荷を等張力性で与えること、②設定負荷を詳細にかつ簡便に変化させること、③牽引泳時に微妙に変化する力と速度を捉えること、④ 25 m までの測定ができることを課題として新たな測定装置の開発に着手した。

### 3. パワー測定装置の開発

船渡ら<sup>8)9)</sup>、福永ら<sup>7)</sup>および松尾ら<sup>12)</sup>は、多関節動作時に発揮されるパワーを評価するため、等張力性の負荷によって制御されるワイヤが引き出されるときに速度とワイヤにかかる張力を測定することでパワーを算出する装置 (Power processor II) を開発し、その有効性および利用法について報告している。我々はこの方法を応用すれば先述した課題がほぼ達成される点に着眼し、Power processor II を改良した装置を牽引泳時のパワー測定に利用することにした。

本研究で新たに開発した装置 (Power processor for swimming, ヴァイン, 以下 PPS とする) は、等張力性の負荷で制御されるワイヤを牽引して泳いだときに測定される速度と力の積からパワーを算出するものであり (図 1), ワイヤの巻取り軸, ワイヤを巻取るための小型モータ, 巻取り軸の回転時間を検出するためのパルス検出装置, ワイヤの張力を検出するための装置およびワイヤに負荷を与えるためのパウダーブレーキから構成されている (図 2)。ワイヤは、泳者が 25 m 泳ぐことができるようおよそ 30 m とした。泳者が腰部に装着したベルトを介してワイヤを牽引する際にワイヤの巻取り軸に生じる回転速度は、軸に設置したロータリーエンコーダによって軸が 1/500 回転するのに要する時間を測定することで求めた。なお、ワイヤは巻取り軸に等間隔で巻取られるよう工夫した。一方、ワイヤ牽引時の張力は、ロードセルにより検出した。ワイヤ牽引時に与えられる等張力性の負荷については、電圧の調節によってその強度を詳細に変化させることのできるパウダーブレーキを利用した。これによって与えら

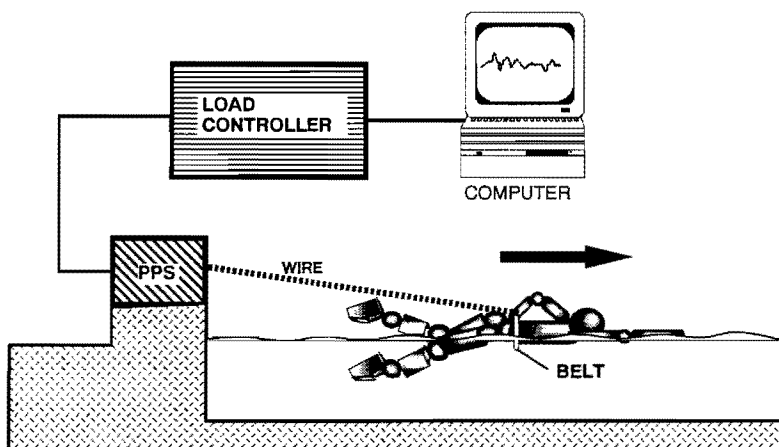


Fig.1. Illustration of the PPS and computer system used to measure velocity, force and power during semi-tethered swimming.

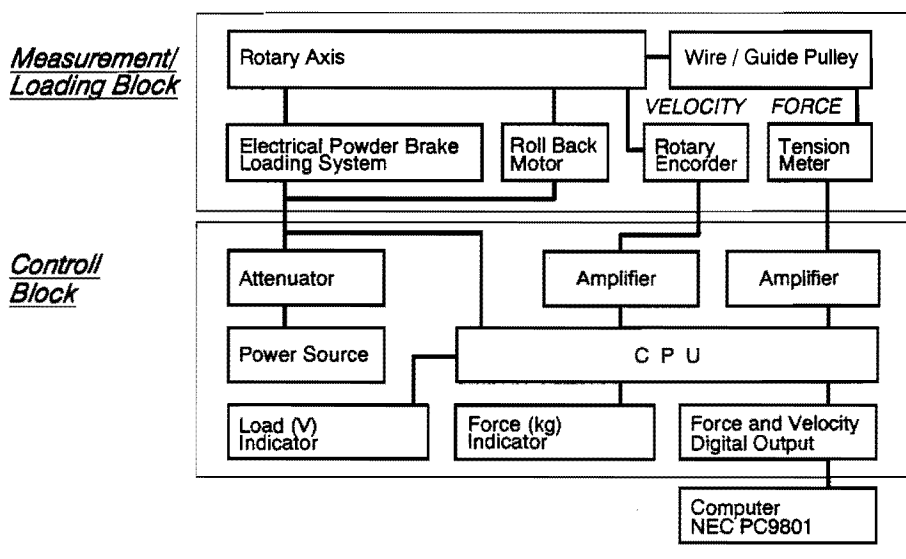


Fig.2. Block-diagram of Power Processor for Swimming (PPS).

れる負荷は、およそ 0.5 kg から 25 kg であった。また、測定時間については、2、5、10 および 20 秒の 4 種類を設定した。以上から得られた軸の回転速度および張力は、2 ミリ秒毎にサンプリングされ、PPS 内部の CPU によってデジタル的に処理された後パーソナルコンピュータ（日本電気、PC 9801、NS/E）によって読み込まれた。なお、パワーは、2 ミリ秒毎に時間軸に対する力曲線及び速度曲線を乗じることで得た。

#### 4. テストプロトコールの検討

PPS を利用した牽引泳時のパワー測定 (以下 PPS テストとする) は、中央大学水泳部に所属する男子競泳選手を対象として行われた。対象者は、1993 年度の日本ランキングにおいて最低でも 30 位以内に相当するきわめて競技力の高い選手であった。PPS テストは、トレーニングの一環として定期的に行われた。PPS テスト導入期 (1992 年 11 月～1993 年 8 月) では、PPS テスト実施のための基礎的資料を得ることと選手が PPS に慣れることを目的としてテストが行われた。この結果を参考に、以下のようなプロトコールを 1993 年 11 月のトレーニングプログラムから導入した。

牽引泳は、壁蹴りけ伸びから開始する 25 m の最大努力泳とした。ただし、高負荷設定時において運動時間が長すぎる (30 秒以上) 場合には、目標到達距離を短めに設定し、最大努力泳を実施させるよう努めた。

牽引泳時に与える負荷は、1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 および 10 kg とした。なお、テスト内容の割り当ては対象者間で同様とし、テスト前には同一内容のウォームアップを実施させ、テスト実施時間も統一した (AM 8:30～10:00)。テスト間のインターバルは 1 週間とし、1 回のテストで 3 種類の負荷を設定した。これは、効率よくトレーニングを行っていくうえでテスト回数の増加が望ましくないことと選手の PPS テストに対する動機づけの水準を低下させないことを考慮して決定したものである。

測定項目は、ピークパワー (PP)、平均パワー (MP)、牽引泳時の平均泳速 (MV) およびストローク頻度 (SR) とした。なお SR は、牽引泳の様子をビデオカメラ (ソニー、CCD-TRI) に収録し、後にストップウォッチ (セイコー、S 120-4000) のピッチモードによって測定することで導き出した。

#### 5. データ処理

本研究では、1993 年 11 月から 1994 年 1 月にかけて計 8 回実施した全ての PPS テストに参加した選手 7 名を対象としてデータ処理を行った (表 1)。各対象者は、各設定負荷での PPS テストを 2 回ずつ実施したため、20～24 回のテストを行っていることになる。本研究で対象としたデータは、各設定負荷においてパワーの最大値が認められたものとした。

得られたデータの解析については、それぞれの平均と標準誤差 (Mean±SE) を求め、二元配

Table 1. Characteristics of subjects

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Speciality	Best record	Ranking in Japan
K.T	18	181.0	70.5	FR(100m)	52"91	16
K.H	18	177.0	69.0	FR(400m)	3'58"93	4
N.H	19	175.6	71.0	IM(200m)	2'07"74	8
H.F	20	177.8	70.5	IM(200m)	2'06"47	2
D.S	19	163.2	60.0	FLY(200m)	2'06"38	30
A.I	19	175.9	75.1	BA(100m)	58"72	14
T.U	18	182.3	77.0	BR(200m)	2'21"50	17

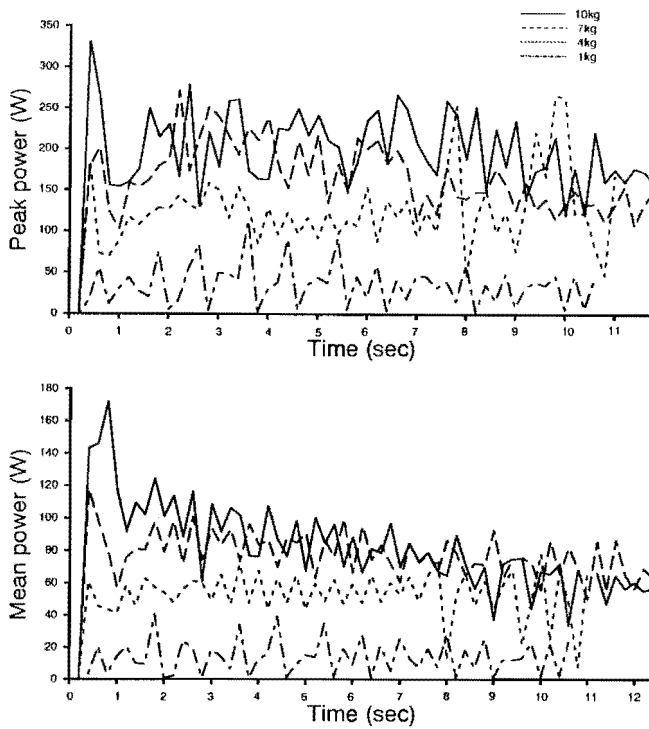


Fig.3-a. Typical changes in peak and mean power outputs during semi-tethered swimming for a front crawl stroke swimmer (K.H).

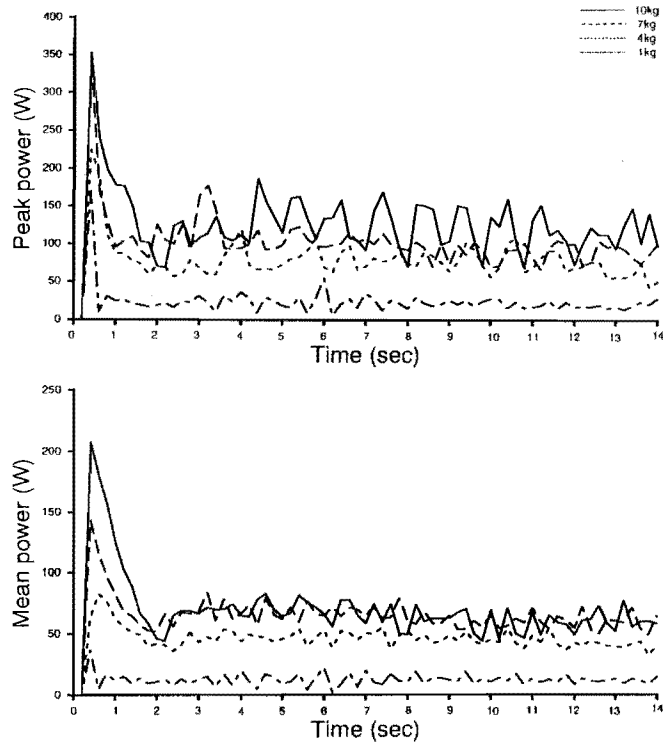


Fig.3-b. Typical changes in peak and mean power outputs during semi-tethered swimming for a backstroke swimmer (A.I).

置分散分析および tukey の多重比較法を利用して各データ毎の条件間の差の検定を行った。また、データに等分散性が認められない場合は、Friedman 検定およびノンパラメトリックの多重比較法を用いて差の検定を行った。なお、有意水準は、すべて  $p < 0.05$  とした。

## 6. 牽引泳時のパワーの捉え方について検討

図 3 a~d は、設定負荷が 1, 4, 7 および 10 kg のときの PP および MP の 2 ミリ秒毎の変動について、それぞれ種目別に typical な例を示したものである。背泳ぎ (図 3 b) を除く 3 例において、PP の大きな変動が示された。その変化は、MP が不変あるいは低下傾向にあるときにも増加あるいは不変の傾向を呈した。また、4 kg 設定時のクロール (図 3 a) およびバタフライ (図 3 d) において、特に泳局面の後半に高負荷時 (7 kg, 10 kg) の値よりも高い PP が示される等、MP ではみられないような顕著な変動が示された。これらのことは、PP による泳能力の

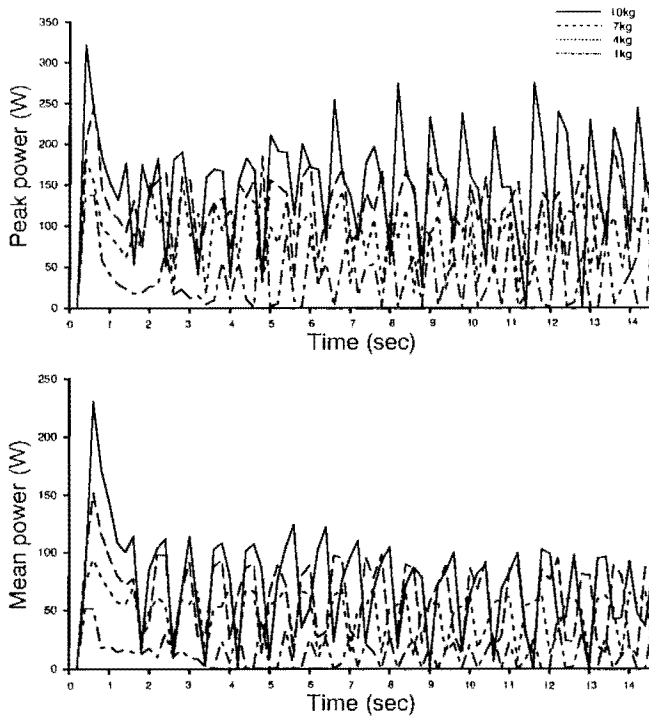


Fig.3-c. Typical changes in peak and mean power outputs during semi-tethered swimming for a breaststroke swimmer (T.U).

評価が困難である可能性を示唆するものといえる。この点について、対象者には全力で泳ぐよう指示していることや全力泳時では顕著な加速が起こらないことを考えれば、PPは泳ぎ以外の要因によって得られる高値を反映する可能性の高いデータということが出来る。その主な原因は、軽負荷時（1～4 kg）に認められるワイヤのたるみと考えられる。すなわち、特に平泳ぎやバタフライにおいてワイヤが水面に打ちつけられる現象が、また、クロール泳においてワイヤのたるみ時に泳者の足にワイヤが引っかかる現象がみられたことから、PPがたるみの影響を大きく受けることが示唆された。

これに対してMPは、平均を計算するためのサンプリングタイムを長めに設定することで測定上の誤差が軽減されるデータであると考えられる。したがって、PPSテストの結果から水泳のスプリント能力を評価するためには、PPよりむしろMPの評価法について詳細に検討していく必要がある。

MP算出のためのサンプリングタイムは、10秒とした。これは、MPによって25m程度の距離を泳ぐのに必要なパワーを評価することを目的として決定されたものである。なお、サンパ



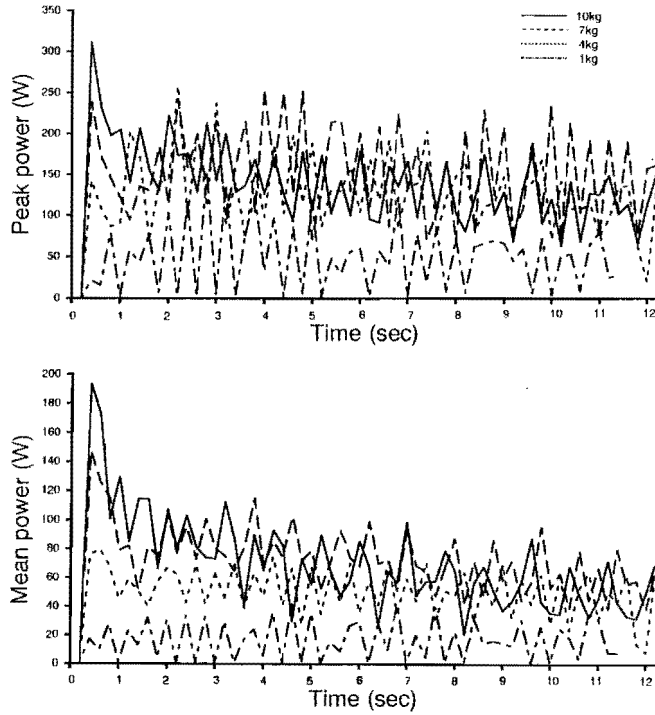


Fig.3-d. Typical changes in peak and mean power outputs during semi-tethered swimming for a butterfly swimmer (H.F).

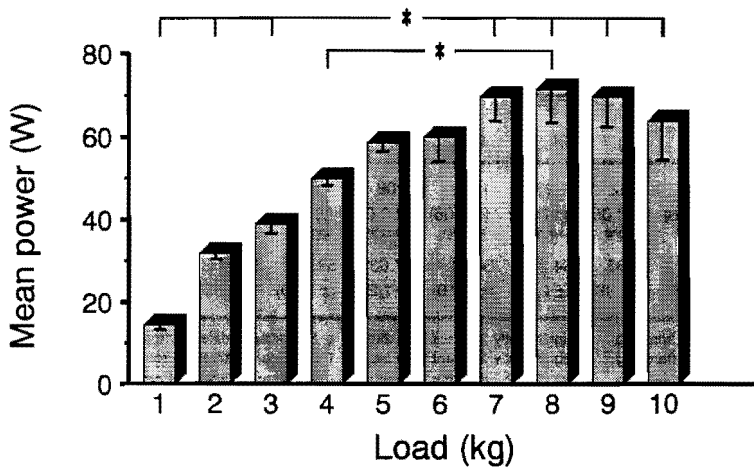


Fig.4. Mean power outputs during semi-tethered swimming. \* p<0.05. Values are means ± SE.

リング開始は、壁蹴りけ伸び時のグライド局面終了後、泳局面に移行してから1～2秒後とした。このMPの最大値は、設定負荷が8kgのときに示された(図4)。これは、男子競泳選手を対象とした先行研究<sup>1)3)6)</sup>の結果(60～70W)よりも若干高いもののほぼ同様の傾向であった。また、10秒間のMPの最大値が示された8kgに比較して有意に低い値が示された負荷は1～4kgであり、5kg以上の負荷であれば高いMP値が得られることも明らかとなった(図4)。したがって、5kg以上の負荷設定であればワイヤのたるみが軽減あるいは消失することを考え合わせれば、PPSを測定あるいはトレーニングに利用する際には5kg以上の負荷を設定することが望ましいと考えられる。設定負荷の上限については、10kg設定時に示されたMPが8kg設定時と有意に変わらなかったこと(図4)を考えれば、今後より高負荷(10kg～)でのPPSテストを実施して詳細に検討していく必要がある。

## 7. PPSのパワー測定装置としての利用法

水泳時に発揮されたパワーは、短い距離の水泳パフォーマンス(泳速)と高い相関を有することが報告されている<sup>1)3)6)12)</sup>。このことからすれば、PPSテストの結果から競泳に必要な総合的な筋力の評価やスプリント能力を評価できる可能性がある。本研究では、対象者が少ないこととそれぞれの泳種目が異なることから泳速との相関についての検討を行っていないが、今後のデータの収集により明らかにしていきたい。

また、定期的なPPSテストの実施は、トレーニング効果の確認や体調の変動に関する有益な

Table 2. Mean±SE values for a mean velocity (V) and stroke frequency (SR) during semi-tethered swimming.

	Load									
	1kg	2kg	3kg	4kg	5kg	6kg	7kg	8kg	9kg	10kg
V	1.41	1.32	1.23	1.22	1.08	1.01	0.98	0.85	0.76	0.61
m/sec	(±0.06) cdefghij	(±0.05) aefghij	(±0.06) aefghij	(±0.06) aefghij	(±0.05) abcdhij	(±0.05) abcdhij	(±0.03) abcdhij	(±0.05) abcdefgij	(±0.04) abcdefgij	(±0.05) abcdefghi
SR	53.81	56.63	54.34	56.31	57.63	54.91	56.50	56.90	55.06	55.40
stroke/min	(±2.05)	(±1.38)	(±1.63)	(±2.16)	(±1.23)	(±1.59)	(±2.18)	(±2.07)	(±1.55)	(±1.93)

a Significantly different from 1kg. b Significantly different from 2kg. c Significantly different from 3kg.  
 d Significantly different from 4kg. e Significantly different from 5kg. f Significantly different from 6kg.  
 g Significantly different from 7kg. h Significantly different from 8kg. i Significantly different from 9kg.  
 j Significantly different from 10kg.

データを提供し得ると考える。前者では、MPのみではなくそれとMV等の速さに関する情報やSR等の泳技術に関する情報(表2)とを考え合わせることで、スプリント能力からみたトレーニング効果の詳細な検討が可能となろう。後者、すなわちトレーニング時の体調のチェッ

ク法については、筋力やパワーは疲労時には低くテーパー後には高くなるとした報告<sup>6)</sup>を考えれば、PPS テストの定期的な実施によりオーバートレーニングの予防やテーパーの効果についての確認が容易となろう。いずれにしても、より多くのデータを縦断的に収集していく必要があるだろう。

## 8. PPS のトレーニング機器としての利用法

競泳記録向上を目指したレジスタンストレーニングを考える場合に最も重要な点は、動作の特異性であろう。この点について、Olbrecht と Clarys<sup>10)</sup> は水泳の動作を模倣した陸上でのレジスタンストレーニング (ラットプルダウンやスイムベンチ等) の効果について筋電図学的に検討した結果、筋収縮速度、筋放電量、周波数のピーク出現数および筋の動員パターンが水泳時と異なっていたことから、陸上でのレジスタンストレーニングにより得られる効果には限界があることを示唆している。Clarys<sup>2)</sup> は、競泳の競技力向上に貢献しうる特異性の高いレジスタンストレーニング、すなわち specific alternative training の重要性について強調するとともにその一例として牽引泳を取り上げ、その競技に対する高い特異性について報告している。

PPS は、25 kg 程度までの高負荷の設定が可能な牽引泳用のトレーニング機器として利用可能な装置である。PPS を specific alternative training のための装置として利用するには、MP の最大値から負荷を設定するだけでは不十分であり、牽引泳時の泳技術が free-swimming 時に対して特異的となるように留意した上で負荷を設定する必要がある。この点につき、PPS 時の泳技術の変化を SR から検討した結果、本研究で設定した範囲の負荷設定であれば SR の負荷による差異は認められないことが明らかとなった (表 2)。SR の崩壊が認められる負荷の上限について本研究で言及することはできないが、牽引泳時の設定負荷が 10 ~ 12 kg までであれば free-swimming に対する特異性が認められるとする意見<sup>2)</sup>を鑑みれば、本研究で設定した負荷範囲内で行う PPS トレーニングは specific alternative training として考えることができる。特に、高い MP が示された 5 ~ 10 kg 程度の負荷を設定することで、より効果的な specific alternative training の実施が可能になると考える。今後、この点についてもより詳細な検討を加え、PPS の最適な利用法について明らかにしていきたい。

## 9. ま と め

本研究では、競泳選手のスプリント能力を簡便に評価でき、かつレジスタンストレーニング

のための負荷装置としても利用可能な機器の開発経緯を報告するとともにその利用法について検討した。本装置の特徴は、牽引泳時に発揮される力と速度を測定することで簡便にパワーの測定が行え、かつ約0.5～25 kgまでの負荷を電圧によって制御することが可能な点である。一流競泳選手を対象に様々な負荷で牽引泳を実施させた結果、本装置によって競泳選手のスプリント能力を正確に評価するためには10秒程度の牽引泳時に発揮されたパワーを平均値として評価し、牽引泳時に与える負荷を5 kg以上に設定する必要があることがわかった。また、本装置を利用してレジスタンストレーニングを行う際には、5 kgから10 kg程度の負荷の設定が望ましいことが示唆された。今後の課題として、競泳選手のスプリント能力と牽引泳時のパワーとの関連性、牽引泳時の10秒間の平均パワーの最大値が得られる設定負荷についての種目差、競技力向上を主眼としたレジスタンストレーニング実施のための至適設定負荷およびそのトレーニング効果についてに詳細に検討していく必要性が考えられた。

#### 参考文献

- 1) Bernard, R., G. Falgairette, and A. Robert : Assessment of the mechanical power in the young swimmer. *J. Swim. Res.*, 6(3) : 11 - 15, 1990.
- 2) Clarys, J.P. : The Brussels swimming EMG project, in B.E. Ungerechts, K. Reischle, K. Wilke (eds) : *Swimming V. Champaign, Ill, Human Kinetics*, pp 157 - 171, 1988.
- 3) Costill, D.L., D.S. King, A. Holdren, and M. Hargreaves : Sprint speed vs. swimming power. *Swim. Tech.*, May-July : 20 - 22, 1983.
- 4) Costill, D.L., D.S. King, R. Thomas, and M. Hargreaves : Muscle strength and the taper. *Swim. Tech.*, May-July : 23 - 26, 1985.
- 5) Costill, D.L., J. Kovalski, D. Porter, R. Fielding, and D. King : Energy expenditure during front crawl swimming : predicting performance in middle-distance events. *Int. J. Sports Med.*, 6 : 266 - 270, 1985.
- 6) Costill, D.L., F. Rayfield, J. Kirwan, and R. Thomas : A computer based system for measurement of force and power during front crawl swimming. *J. Swim. Res.*, 2(1) : 16 - 19, 1986.
- 7) 福永哲夫, 松尾彰文, 安部孝, 川上泰雄, 沼沢秀雄, 深代千之 : 種目別スポーツ競技力評価方法の開発—バレーボール競技の場合—. *スポーツ医科学*, 5 : 47 - 54, 1991.
- 8) 船渡和男, 松尾彰文, 近藤正勝, 福永哲夫 : 新しいローイングパワー測定方法の考案とその応用. 昭和62年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 2 : 296 - 304, 1988.
- 9) 船渡和男, 松尾彰文, 福永哲夫, 難波謙二, 関口脩 : ウェイトリフティング動作を構成する動きで発揮される機械的パワー. 北川薫編, *動きとスポーツの科学*, 杏林書院, pp 539 - 545, 1992.
- 10) Hawley, J.A. and M.M. Williams : Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance. *Int. J. Sports Med.*, 12 : 1 - 5, 1991.
- 11) Hooper, R.T. : Measurement of power delivered to an external weight, in A.P. Hollander, P.A. Huijinge, G. de Groot(eds) : *Biomechanics and medicine in swimming*. Champaign, Ill, Human Kinetics, pp 136 - 141, 1983.
- 12) 松尾彰文, 福永哲夫, 船渡和男, 矢田秀昭, 沼沢秀雄, 湯浅彰元 : 走運動の模擬動作のパワー出力と

疾走能力の関係. 北川薫編, 動きとスポーツの科学, 杏林書院, pp 487 - 491, 1992.

- 13) Miyashita, M. and H. Kanehisa : Dynamic peak torque related to age, sex and performance. Res. Quart., 50 : 249 - 255, 1979.
- 14) Olbrecht, J. and J.P. Clarys : EMG of specific strength training exercises for the front crawl, in A.P. Hollander, P.A. Huijinge, G. de Groot(eds) : Biomechanics and medicine in swimming. Champaign, Ill, Human Kinetics, pp 136 - 141, 1983.
- 15) Rohrs, M.S., J.L. Mayhew, C. Arabas, and M. Shelton : The relationship between seven anaerobic tests and swim performance. J. Swim. Res., 6 ( 4 ) : 15 - 19, 1990.
- 16) Sharp, R.L., J.P. Troup, and D.L. Costill : Relationship between power and sprint freestyle swimming. Med. Sci. Sport. Exerc., 14 : 53 - 56, 1982.
- 17) Toussaint, H.M. and K. Vervoorn : Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. Int. J. Sports Med., 11 : 228 - 233, 1990.