

# 競泳選手のパワー発揮動態

酒 井 達 郎  
儀 繁 雄

## I 緒 言

競泳競技は、技術・体力・戦略・心理的要素で構成されているといわれる<sup>10)</sup>。特に、そのパフォーマンスは水中でおこなわれるため、泳ぐ姿勢、泳者自身の造り出す様々な抵抗<sup>3)</sup>、ストロークやキックの技術、体力が競技力に影響をあたえる。その際、記録向上に作用する因子は、水の抵抗を利用する様々なテクニックや、関節の可動域を大きくする柔軟性、そして、泳速を生み出し維持するのに必要な筋力および筋持久力であろう。そうした競泳のトレーニングは、技術習得やそれを支える体力として有酸素系のエネルギー供給率が高い内容である。<sup>14)15)</sup> しかしながら、スプリント泳やスタート・ターンといった瞬発的なエネルギー発揮が必要とされる競泳レースにおいて無酸素系エネルギー供給を無視することはできない。これまで競技の性格上有酸素系のトレーニングが中心であった競泳選手の無酸素性エネルギー供給能力を明らかにしていくことは、記録向上への新たな指標となる。

## II 方 法

### A. 対象とした選手

今回実験の対象となった選手は、大学生水泳部員 19 名（男子 12 名、女子 7 名）である。競技レベルは全国大会出場（学生選手権出場団体標準記録）であり、競技歴はいずれも 6 年以上を有している。週当たり 4 回の水中トレーニン

グおよび2回のウエイトトレーニングをおこなっている。

## B. 身体特性

身体特性として身長、体重、体脂肪率、除脂肪体重を測定した。

## C. 無酸素性パワー

選手の無酸素性パワーは電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター（コンビパワーマックス V）により腕クランキング、脚ペダリングをそれぞれ40秒間最大努力で行った。その時の負荷は選手の体重により以下の通りに決定された。

腕40秒間クランキング（AP40）男子0.0615 kp/kg, 女子0.048 kp/kg

脚40秒間ペダリング（LP40）男女共0.075 kp/kg

## D. 有酸素性パワー

最大酸素摂取量は、自転車エルゴメーター（ミナト社製232C・XL）を使用して測定した。この測定は、疲労困憊までの自転車漕ぎ運動漸増負荷法により実施する。運動中の酸素摂取量は自動呼気ガス分析装置（ミナト社製AE-280）で測定した。

# Ⅲ 結 果

## A. 形 態

表1に被検者の身体的特徴を示した。（male n=12, female n=7）

表1 男子選手12名、女子選手7名における  
年齢・身長・体重・除脂肪体重・最大酸素摂取量の平均値

	Age	Height (cm)	Body mass (kg)	LBM (kg)	$\dot{V}O_{2\max}$ (l/kg)
Male	19.3	169.5	63.4	57.1	3.62
Female	18.6	162.5	57.0	47.1	2.79

## B. 無酸素性パワー

40 秒間の腕クランキング・脚ペダリングにおいて発揮された無酸素性パワーは、5 秒毎に自転車エルゴメーターの回転数をサンプリングすることで求めた（表 2）。

表 2 男子および女子選手の腕（AP40）と脚（LP40）  
における無酸素性パワー（5 秒毎の平均値）

		5 sec	10sec	15sec	20sec	25sec	30sec	35sec	40sec
Male	AP40	420.4	409.2	376.8	338.3	297.2	265.5	248.5	231.7
	LP40	756.8	697.9	623.9	553.3	495.7	445.3	403.2	375.2
Female	AP40	231.3	227.7	212.6	195.0	183.5	170.7	154.1	145.8
	LP40	505.1	481.3	436.8	399.8	369.7	340.4	318.4	286.9

腕クランキングにおいて 40 秒間に発揮された腕パワー（AP 40 mean）の平均値は、男子選手が 309.1 (W)±55.1 であり、女子選手は 189.4 (W)±14.9 であった。また、脚ペダリングにおける 40 秒間の脚パワー（LP 40 mean）の平均値は男子選手で 549.0 (W)±80.7 となり、女子選手は 393.7 (W)±25.2 であった（図 1, 2）。40 秒間に出力されたパワーの平均値を脚と腕で比較すると、男子選手の脚パワーが腕のパワーの約 1.7 倍であり、女子選手のそれは約 2.1 倍となった。体重あたりのパワーは、男子で脚パワー 8.6 (W/kg)、腕パワー 3.7 (W/kg) となり、女子は脚パワーが 6.1 (W/kg)、腕パワーで 3.0 (W/kg) となった。

## C. 有酸素性パワー

測定された最大酸素摂取量は表 1 に示してある。

男女とも脚パワーおよび腕パワーの間には最大酸素摂取量との相関はみられなかった。

図1 脚と腕のパワー（男子選手）

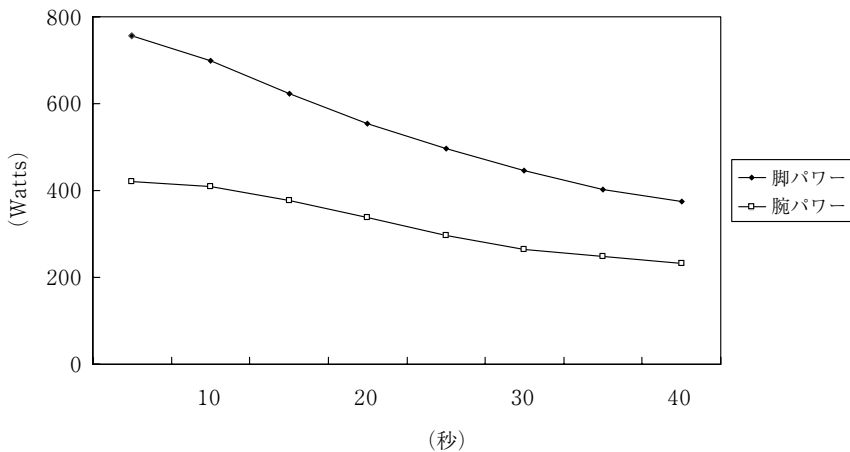
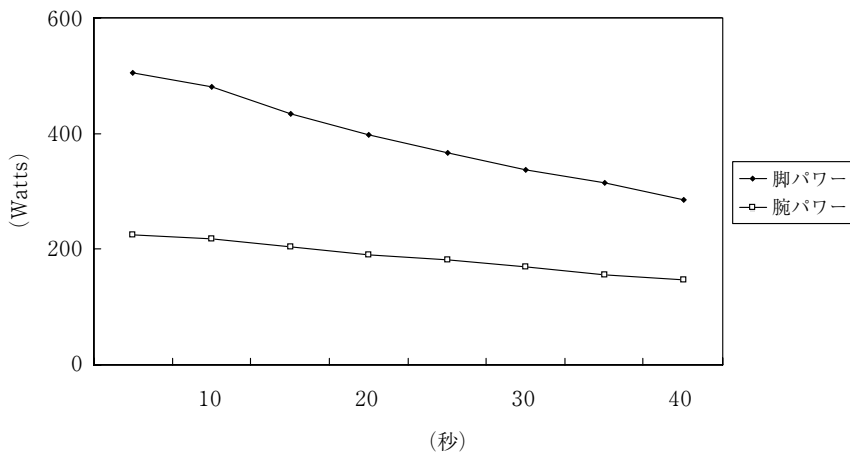


図2 脚と腕のパワー（女子選手）



## Ⅳ 論 議

この実験の目的は、水泳選手が脚ペダリングと腕クランキングにおいて発揮した上肢、下肢パワーの特性を明らかにすることである。水泳の場合、競技中

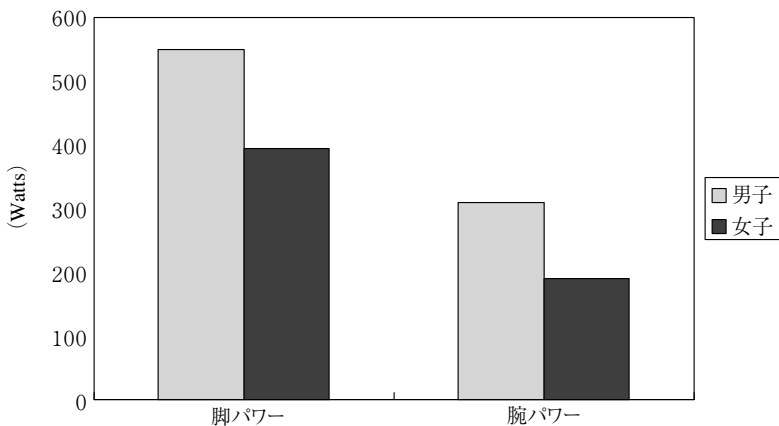
のエネルギー代謝は、有酸素、無酸素過程の両方が同時進行している。有酸素過程のうちグルコース代謝は全てのレースに関与し、一方、最大スピードの要求されるスプリントレースやスタート、ターン動作は無酸素代謝が利用されている。なかでも、スピードのある泳ぎは、ストロークやキック動作において速い筋収縮がおこなわれ、ATP-PC と無酸素解糖系からのエネルギー供給をうけている。本研究では、競泳選手の上肢および下肢のパワーを無酸素性過程からエネルギー供給を受ける 40 秒間の脚ペダリングおよび腕クランキング全力運動により無酸素性能力を測定し、トレーニング指標とするための基礎的実験をおこなった。

### A. 性 差

まず、男女が、どのようなパワー発揮動態の特性を有しているかを検討した。

40 秒間に発揮されたパワー値（AP 40 mean）を比較すると、男子選手平均の腕パワーは、女子選手の 1.63 倍となり、脚（LP 40 mean）は 1.39 倍の値であった。両方のパワーとも絶対値で男子選手の方が女子選手と比べていずれも有意に高い値（ $P \leq 0.05$ ）を示している。（図 3）Bishop らの<sup>1)</sup> 水泳選手を含む

図 3 40 秒間に発揮されたパワーの平均値

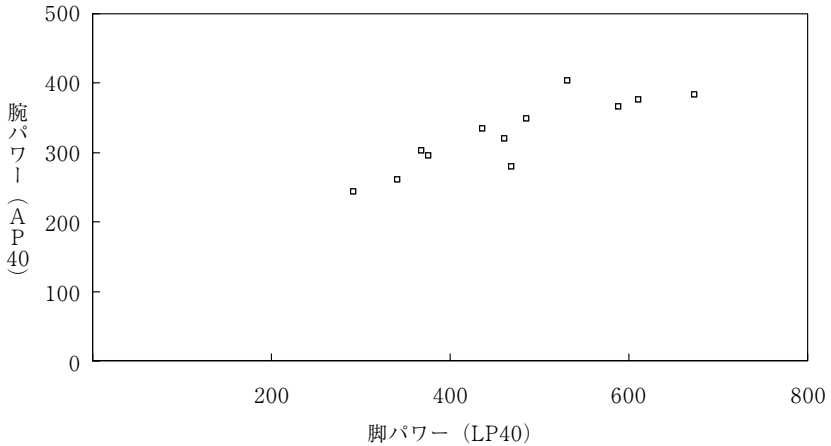


筋力性差の研究で、上体の絶対筋力の性差は、下体の筋力の性差よりも大きく、同程度に鍛練された男女の筋力の性差は、筋量の差によるものであると報告している。本研究においても腕パワーの男女差は、脚パワーの差よりも大きくなっており、パワーテストに動員された筋量差が、水泳選手の無酸素性パワー発揮に反映されているといえよう。身体特性について体重、除脂肪体重を求めたが、いずれも男子選手と女子選手の間に統計学的に差が認められる。脚ペダリングに動員された下肢筋群は主に大腿、股関節屈曲筋群であり、腕クランキングでは上肢の広背筋や肘、肩関節まわりの筋群が使われることから、男女の筋量の差がこの結果となったのであろう。

次に、パワー測定で観察された最高値（LP 40 peak, AP 40 peak）と発揮パワー値（LP 40 mean, AP 40 mean）との関係について調べた。LP 40 peak と AP 40 peak, LP 40 mean と AP 40 mean の間には男女とも相関がみられた。男子選手の場合、脚パワーの peak : mean において  $r=0.975$ 、腕パワーで  $r=0.895$  と高く、女子においては脚パワー peak : mean は  $r=0.775$ 、腕パワー :  $r=0.582$  となった。40 秒間に発揮されたパワーは、ピーク値が高いと平均出力値が高くなる傾向にあり、男子選手においてそれが顕著であることがわかった。このテストで全ての選手は、10 秒以内にピーク値が出現していることから、短時間高強度の運動でありエネルギー供給は ATP-PC 系と考えられる。その後、出力が徐々に低下する現象はグリコーゲンの枯渇によるものと思われ、乳酸系代謝によりエネルギー供給をうけていると推測することができる。

上肢と下肢の関係を知るために、脚パワーと腕パワー発揮の関係を図 4 に示した。男子選手において相関係数は、LP 40 mean と AP 40 mean :  $r=0.871$  (図 4)、LP 40 peak と AP 40 peak との間は  $r=0.793$  の相関である。だが、女子選手については相関がみられなかった。つまり、男子選手のパワー発揮は、上肢の値が高い選手ほど下肢のパワーも高く、最高値と平均値において同じような傾向を示していた。一方、女子選手においてはその傾向があまり見られない。これは、性差が関係していると思われる。

図4 40秒間に発揮された、腕・脚パワーの関係（男子選手）

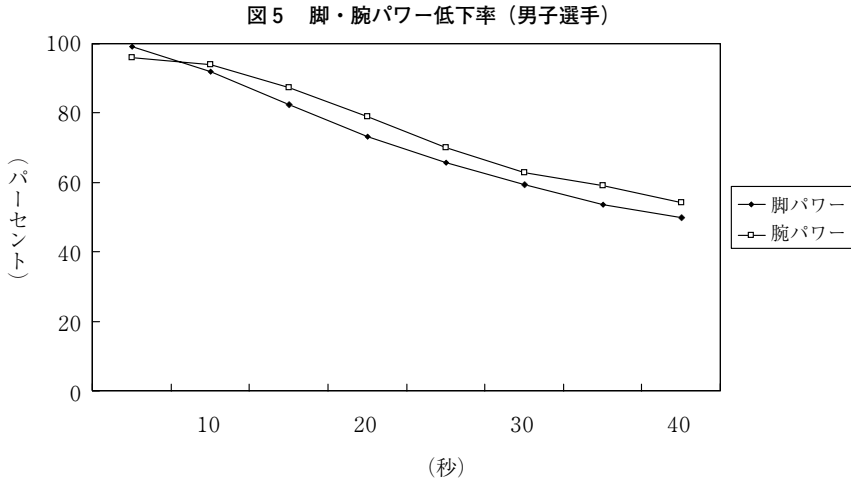


競技のパフォーマンスにおける性差の大部分は、身体の大きさ、身体組成、有酸素能力、筋力などの差に帰せられる。平均男性と女性の間には、統計学的に差が認められるが、同性間の差のほうが大きいことがしばしば起き、相対差を使うと、性差は大きく縮まるか、ほとんど除かれてしまう。しかし、実際の競技活動や日常生活においては、依然として、大きな身体をもっている男性の方が有利であることには変わりはない<sup>17)</sup> また、無酸素性パワーの性差について、身体組成、筋力そして神経-筋系の機能によるものかどうかを検討した研究では、すべての項目において男性は女性と有意に異なり、性差を共通分散によって除去しても、両性間の有意差は減少したがなくなることはなかったとしている。無酸素性パワーテストの仕事の特異性と形態に関する因子が、パワー産生に比較的大きな影響を及ぼしていると結論付けている<sup>11)</sup> 今回、LBMで比較したパワー値にAP40 meanとLP40 meanいずれも有意差 ( $P \leq 0.05$ ) が認められ、相対値においてその差は小さくなり、先行研究と同様の結果を示している。しかしながら、女子選手の腕と脚パワーの間に相関がみられないことは、特に女子選手の脚パワー負荷を男子選手と同様な比率を採用したことでパワー

発揮に影響を与えたとも考えることもでき、負荷値の決定が今後の課題の一つとしてあげられる。

## B. パワー発揮変化

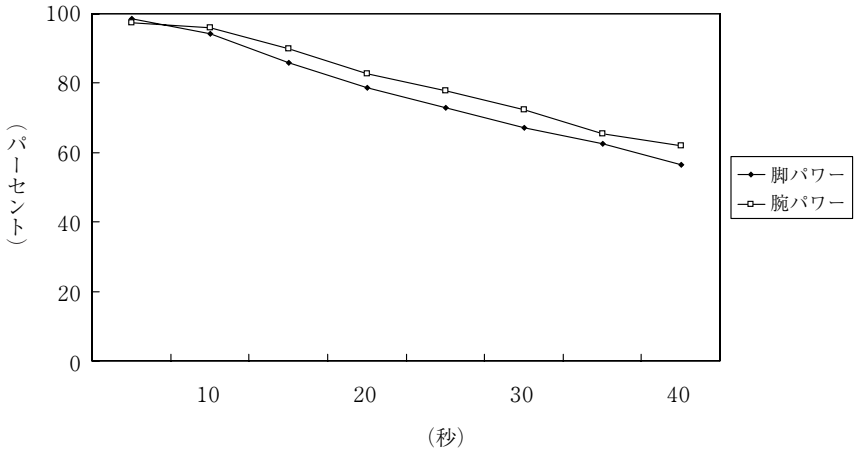
40秒間に発揮されたパワーの経時的变化をピーク値との割合で示したものが図5と図6である。脚パワー（%LP40）の変化は、男子選手の場合、全ての選手が開始直後にピーク値をしめし、最終的にピーク値の49.7%まで低下した。また、腕パワー（%AP40）も同様な傾向を示し、51.5%まで低下している（図5）。女子選手の場合、脚パワー（%LP40）は56.4%、腕パワー（%



AP40) が61.9%に低下した（図6）。また、図1と図2にみられるように、脚のパワー出力は腕よりも大きいですが、その持続力が劣っていることは男女共に同様である。5秒間毎のパワー発揮値についてみると、脚パワーより腕パワーの方が比較的緩やかな低下傾向を示している。筋量と腕と脚それぞれの負荷値を考慮しても、こうしたパワー持続力の差が被検者となった水泳選手の特異性の一つと思われる。



図6 脚・腕パワー低下率（女子選手）



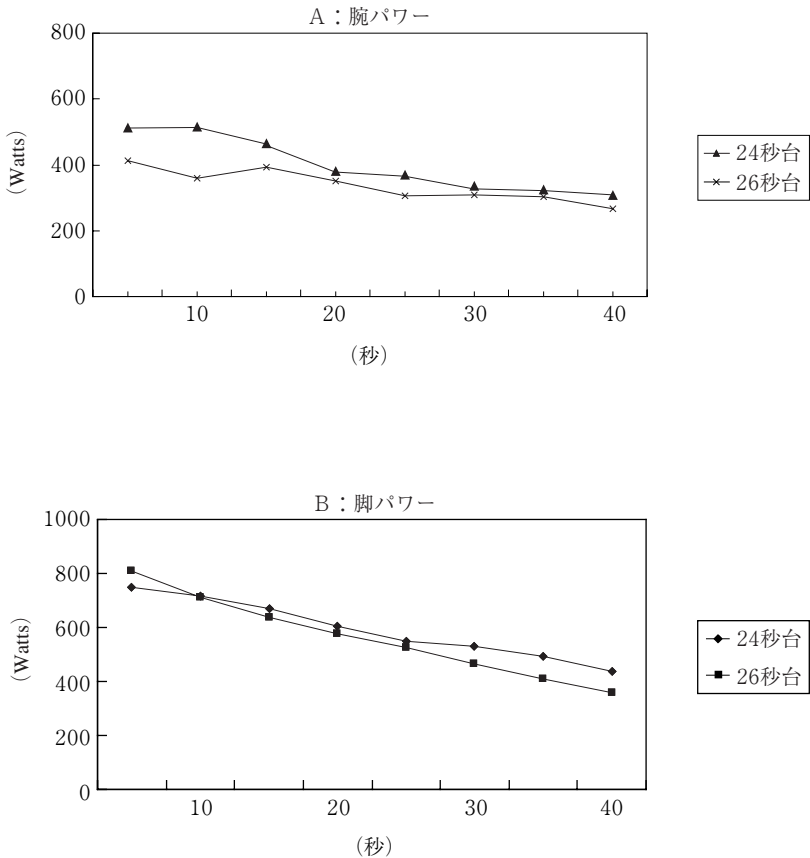
水泳に必要なパワーは、水の抵抗に打ち勝つためのパワーと水の運動エネルギーの変化分の和で表される。水泳のパフォーマンスはこの和だけではなく腕の推進効率にも依存し、一流の水泳選手においては腕の推進効率は44–77%であるという報告もある<sup>16)</sup>。つまり、腕の推進効率が高いこと、抵抗力を減らすこと、推進力を増すことが競泳選手にとって速く泳ぐための条件と考えられる。腕から発揮されるパワーは、水泳にとって重要であり、競技力に大きな影響を与えることから推進力を得るために欠かせない。競泳のトレーニングは、泳動作から下肢を中心におこなうキック、上肢を主に使ったプル、そして全身を利用するスイムに分けられ実施されることが多い。こうしたトレーニングで技術や身体能力の向上を図り、記録向上を目指している。今回の場合、実験に参加した選手の水中トレーニングは、70%以上がプルとスイムである。観察されたパワー発揮動態を水中トレーニングから考えると、トレーニング適応が現れていると思われる。腕の持続力が脚を上回っていることから、トレーニングにおける泳ぎの動作が脚よりも腕を中心とした泳ぎでおこなわれ、その結果として、上肢の筋持久力が優れてきたものと考えられる。つまり、トレーニング

のほとんどは上肢の筋群を動員していることになり、プルとスイムを中心にしたトレーニングでパワー出力特性を獲得したと考えることができよう。こうしたことを考えると、40秒間テストで無酸素性パワーの上肢、下肢それぞれのトレーニング効果のある程度予測できるのではないかと思われ、選手のパワー発揮特性やトレーニング効果を評価できる可能性を示唆している。

### C. 40秒間無酸素性パワーテストとパフォーマンス

無酸素性パワーの測定方法の妥当性を検証した Davies<sup>5)</sup>の研究では、等速性自転車エルゴメーターで短時間無酸素エネルギー獲得過程の最大能力を測定し、体重や筋肉サイズと関係や、筋のクレアチンリン酸とグルコース貯蔵について Wilkie のデータを用いて、全力駆動中の無酸素過程の効率を求めた。その結果、平均最大パワーの出力や短時間無酸素エネルギー獲得過程の最大能力が主として身体の大きさと、筋量によって決定されていることを報告している。また、競技と無酸素性能力の先行研究において、Wingate Anaerobic Arm Test (WAAT) により測定された上体の無酸素性作業能力と 50 m 水泳自由形の競技成績との関係を調べた Hawley<sup>7)</sup>の研究では、50 m 自由形のタイムと、WAAT の測定による上体のピークパワー、平均パワー、疲労指数の相関は有意であったと報告している。400 m までの自由形の各距離での競技成績ともそれらは相関があったが、距離が長くなるにつれて相関は有意であるものの、50 m のスピードと、400 m までの各距離のスピードにも有意な相関があるとしている。Marcier<sup>9)</sup>らは、腕クランク運動中には、短距離と中距離泳選手の無酸素性、有酸素性要素に有意差を観察することはできなかったが、エネルギー供給機構に関わる無酸素性と有酸素性システムの比を表す Wan, peak ; Waer, peak 比が水泳選手の生理学的評価に有用であることを証明した。また、トップレベル水泳選手の様々な研究<sup>2)12)13)</sup>から無酸素性代謝の重要なマーカーである血中乳酸と泳速度の関係が明らかにされており、水泳パフォーマンスと無酸素性能力は、深い関係にあることがわかる。

図7 50m自由形記録別のA：腕・B：脚パワー発揮



そこで、実験に参加した選手の競技成績（50 m 自由形の記録）と無酸素性能力の関係を図7に示した。記録の異なる選手のパワー発揮の差異は24秒台で泳ぐ選手の脚と腕の出力が、26秒台の選手より高いことがわかる（図7）。この結果から、50 m 自由形の記録は、40秒間無酸素性パワーテストと関連があり、上肢と下肢のパワー出力結果でトレーニング指標を導き出すことができ

る可能性があることを示している。ただし、水泳のエネルギー効率は、パフォーマンスレベルと技術の研究や<sup>4)</sup>、競技成績との関係<sup>8)</sup>から選手レベル、形態、浮力、水泳技術に依存しているとされており、競技レベルや性差、種目特性を十分に考慮する必要があるだろう。今後、サンプル数を増やし、上肢・下肢のパワーと記録の関係を明らかにすることで、自由形のパフォーマンス予測<sup>6)</sup>や水泳選手の泳ぐ能力が簡易な手法で推測できるかもしれない。

#### D. 結 論

今回の実験では、自転車エルゴメーターで男女競泳選手の腕と脚の40秒間の無酸素性能力について検討した。男子選手は女子選手より高いパワーを発揮した。また、男子選手のピーク値と平均パワー値、腕と脚パワーの間に相関が見られた。競技成績と無酸素性能力については、上肢と下肢のパワー発揮の差、パワーの持続力はパフォーマンスに関係することが推察された。男子選手の50 m自由形記録とパワーの持続力の間に関連がみられた。これにより、簡易な測定法でも無酸素性能力を推定できることを示唆した。今後は、性差を考慮した負荷値、競技レベルや各種目の特性とパワーとの関係を明らかにする必要がある。

競技の性格上有酸素系によるエネルギー供給依存率が高い競泳ではスプリント競技以外は、そのエネルギー供給の約80%が有酸素系であるといえる。そのため水中のトレーニングの殆どが有酸素系の運動である。しかしながら、競泳はタイムで争う競技であり、スピード向上が大きな意味を持つ。スピードを獲得するために泳ぎを含めたスタートやターンでの素早い筋収縮が記録を向上させる。パワーを泳ぎの技術に変換させ、ストロークやキックテクニックによって水に伝えることを考えると、選手のもつ無酸素性能力を把握しトレーニングに反映させることが記録向上に結びつくと考えられる。

# 引用文献

- 1) Bishop, P., et al. (1987) Sex difference in muscular strength in equally-trained men and women. *Ergonomics* : 30, 675-687
- 2) Bonifazi, M., et al. (1993) Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. *J. Sports Med. Physical Fitness* : 33, 13-18
- 3) Capelli, C., et al. (1995) Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *J. Appl. Physiol* : 78, 674-679
- 4) Chatard, J. C., et al. (1991) Energy cost of front-crawl swimming in women. *Eur. J. Appl. Physiol* : 63, 12-16
- 5) Davies C. T. M. and E. R. Sandstrom. (1989) Maximal mechanical power output and capacity of cyclists and young adults. *Eur. J. Appl. Physiol* : 58, 838-844
- 6) Hawley, A. J., et al. (1992) Muscle power predicts freestyle swimming performance. *Brit. J. sports Med* : 26, 151-155
- 7) Hawley, J. A. and M. M. Williams. (1991) Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance. *Int. J. Sports Med* : 12, 1-5
- 8) Kolmogorov, S. V. and O. A. Duplishcheva. (1992) Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J. Biomechanics* : 25, 311-318
- 9) Mercier, B., et al. (1993) Anaerobic and aerobic components during arm-crank exercise in sprint and middledistance swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol. op* : 66, 461-466
- 10) マグリシオ, E. W., 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, 1999 年
- 11) Mayhew, J. L. and P. C. Salm. (1990) Gender differences in anaerobic power tests. *Eur. J. Appl. Physiol* : 60, 133-138
- 12) Nikolic, Z. and B. Todorovic. (1982) Year round training effects on swimmers' heart rate during bicycle ergometer and swimming exercises. *J. Sports Med. Phy Fit* : 22, 85-94
- 13) Olbrecht, J., et al. (1985) Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *Int. J. Sports Med* : 6, 74-77
- 14) Smith, H. K., et al. (1988) The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur. J. Appl. Physiol* : 58, 182-188
- 15) Swaine, I. and T. Reilly (1983) The freely-chosen swimming stroke rate in a maximal swim and on a biokinetic swim bench. *Med. Sci. Sports Exer.* : 15, 370-375
- 16) Toussaint, H. M., et al. (1988) Propelling of front-crawl swimming. *J. Appl. Physiol* : 65, 2506-2512
- 17) Wells, C. L. and S. A. Plowman. (1983) Sexual differences in athletic performance : Biological or behavioral ? *The Physician Sports medicine* : 11, 52-63