

100 m 泳パフォーマンスと腕作業および脚作業における

無酸素性・有酸素性作業能力との関連性について

水藤 弘吏*, 杉田 正明**, 八木 規夫**

*四日市中央工業高等学校 〒512-0925 三重県四日市市菅原町 678

**三重大学 〒514-8507 三重県津市上浜町 1515

Relationship between 100 m swim performance
and anaerobic and aerobic work capability by arm and leg.

Hiroshi Suito*, Masaaki Sugita**, Norio Yagi**

*Yokkaichichuo technical high school, 678, Sugawara, Yokkaichi, Mie 512-0925, Japan

**Mie university, 1515, Kamihama, Tsu, Mie 514-8507, Japan

要約

本研究では、100 m 泳パフォーマンスと上半身(腕作業)および下半身(脚作業)における無酸素性作業能力ならびに有酸素性作業能力との関連性について検討することを目的とした。大学水泳部に所属する健康な大学生 22 名(男子 10 名, 女子 12 名)を対象として、腕・脚作業による無酸素性・有酸素性作業能力(最大発揮パワー・最高酸素摂取量)の測定を行い、スイム・プル・キックの 100 m 全力泳中の平均泳速度との関連性について検討した。その結果、100 m 泳パフォーマンス

(スイム・プル) と腕作業による最大発揮パワーとの間に男女とも有意な相関関係($p<0.05\sim 0.01$)が認められた。さらに、男子の 100 m 泳パフォーマンス (キック) と脚作業による最高酸素摂取量との間においても有意な相関関係($p<0.05$)が認められた。

キーワード：水泳，腕作業，脚作業，無酸素性作業能力，有酸素性作業能力

Abstract

The purpose of this study was to examine the relationship between 100 m swim performance and anaerobic and aerobic work capability by arm and leg. Twenty-two healthy university swimmers (the average age 20.5 ± 1.4 , male =10 person, female =12 person) were participated in this study. Maximum power (anaerobic work capability) and peak oxygen uptake (aerobic work capability) by arm and leg were measured by using arm ergometer and bicycle ergometer. 100 m swim, pull and kick performance was measured in the 50-m pool. In the result of study a significant ($p<0.05\sim 0.01$) correlation was observed between 100 m swim and pull performance and anaerobic work capability by arm. Furthermore, in the male, a significant correlation was also observed between 100 m kick performance and aerobic work capability by leg. Therefore, it was suggested that the anaerobic work capability by arm was important as one of

physical fitness for 100 m swim performance.

Keyword : Swimming, arm, leg, anaerobic capability, aerobic capability.

I 緒言

水泳は水を媒体とするため，陸上で行われる他の運動と身体に作用される抵抗が異なる．水中では空気中と比べ密度が約 800 倍も高く，同じ運動を行う場合，単純に考えて陸上の約 800 倍もの抵抗がかかる．さらに，泳者が受ける抵抗はおおよそ泳速度の 2 乗に比例して増加する^{17,35)}ことから，泳パフォーマンスを向上させるにはその抵抗に打ち勝つための推進力を発揮することが必要である．

近代泳法の 1 つであるクロール泳は腕の役割が高い泳法であり，7～9 割の推進力が腕によって発揮されている^{4,5,8,11,19,33)}ことから，泳パフォーマンスの向上のためにストローク技術の研究^{3,29,30,34)}がなされてきた．

しかし，泳パフォーマンスの向上にはストローク技術だけが関与しているわけではない．泳パフォーマンスとエネルギー供給系能力の関係について，Holmer⁸⁾は，無酸素性エネルギー供給系と有酸素性エネルギー供給系の割合は，100 m のクロール泳で 8 : 2 であると報告している．一方，荻田²³⁾は，クロール泳のエネルギー供給系のうち無酸素エネルギー供給系の割合は，30 秒程度（50m レースに

相当)の運動であれば70%,1分程度(100 mレースに相当)になると50%になり,4分以上(400mレースに相当)では20%以下になると報告している.このことは,短距離泳における有酸素性エネルギー供給系や中・長距離泳における無酸素性エネルギー供給系の関与を無視できないものと考えられる.さらに,100 mレースは,無酸素性・有酸素性エネルギー供給系の両者の関与が非常に大きい運動といえる.

これまでエネルギー供給系能力と泳パフォーマンスを検討した研究の多くは,水泳選手の上半身(腕作業)または下半身(脚作業)による無酸素性,あるいは有酸素性作業能力を測定・評価したものに過ぎず^{13,15,24,25,28,31,32,37,38)},腕・脚作業の無酸素性・有酸素性作業能力と泳パフォーマンスとの関連性を検討したものは少ない^{9,12,27,36)}.さらに,泳パフォーマンスにおいてもスイム泳のみに着目し,プル泳やキック泳のパフォーマンスとエネルギー供給系能力との関連性について検討したものはほとんど見受けられない¹⁰⁾.

そこで本研究では,大学水泳選手を対象として腕エルゴメータと自転車エルゴメータを用いて,腕・脚作業における無酸素性・有酸素性作業能力を測定し,スイム・プル・キックの100 m泳パフォーマンスとの関連性について検討することとした.

II 方法

A. 対象

対象者は、大学水泳部に所属する年齢 19～25 歳（平均 20.5 ± 1.4 歳）の日頃から定期的に水泳トレーニングを行っている健康な大学生 22 名（男子 10 名，女子 12 名）であった．表 1 に対象者の年齢および身長，体重，体脂肪率を示した．体重・体脂肪率の測定には Tanita 社製インピーダンス計（TBF-305）を用いて，立位姿勢で両足底部より計測した．なお，実験を開始するにあたり，全ての対象者に本研究の目的・方法・危険性を十分に説明し，本研究への参加の同意を得た．

B. 測定項目

1. 100 m 泳パフォーマンスの測定

各対象者の 100 m 泳パフォーマンスを評価するためにスイム・プル・キックの 100 m 全力泳中の平均速度（m/sec）を以下の方法で測定した．

図 1 に 100 m 泳パフォーマンスの測定模式図を示す．各対象者に 100 m 泳パフォーマンスの測定として野外に設置された 50m プールを使用し，スイム・プル・キックの順で 100 m の全力泳を行わせた．スタート方法について，スイムはスタート台からの飛び込みを，プルとキックはプール内の壁を蹴ってからのスタートするようにと指示した．

本研究で用いたスイムはクロール泳のことを指し、プルはクロール泳における腕のみの動作を、キックはクロール泳における脚のみの動作を示している。さらに、プルやキックで泳ぐ時には、すべての対象者に対して同じプルブイとビート板を用いることとした。プルブイとビート板の浮力については、それぞれ約 16.7N と 38.2N であった。使用方法について、プルの測定時にはプルブイを脚に挟むように、キックの測定時にはビート板を両腕で持つようにと指示した。これらの役割は体を浮かせることに加えて、主動部以外の部位を固定する意味が大きい。さらに、家庭用デジタルビデオカメラをプールサイドに 5 台とターンとゴールのタッチを録画するためにプールの端に 1 台設置して撮影した。スタートの合図は陸上競技用の Nishi 社製のピストルを用いて行い、全てのカメラでピストルの煙を録画し、その煙映像を同期信号とした。撮影した映像から各通過時間を計測するために、ビデオタイマーを用いて 1/100 (sec) 単位の時間を撮影したデジタルビデオテープに写し込ませダビングをした。計測方法は、各通過地点を対象者の頭頂部が通過する際の時間を読みとった。全ての対象者に全力泳後の最高血中乳酸濃度 (mmol/l) 測定をするため、Arkray 社製の血中乳酸濃度測定器 (ラクテート・プロ™) を用いて指先より採血した。採血は全力泳終了直後と 3 分後、5 分後に行った。その後も血中乳酸濃度が上昇するようであれば、7 分後にも採血

した。

図 2 に 100 m 泳中における分析通過地点を示した。これは、日本水泳連盟医・科学委員会の方法^{21,22)}に従い、スタート・ストローク・ターン・フィニッシュの 4 局面に分けることから定義されている。通過タイムの分析は、15 m, 25 m, 45 m, 57.5 m, 75 m, 95 m とし、15 m～25 m 区間の泳速度、25 m～45 m 区間の泳速度、57.5 m～75 m 区間の泳速度、75 m～95 m 区間の泳速度をそれぞれ算出し、それら 4 つの区間の泳速度からストローク局面中の平均泳速度を求めた。

以上の方法で測定したスイム・プル・キックのストローク局面の平均泳速度を各対象者の 100 m 泳パフォーマンスの指標とした。

2. 最大発揮パワーの測定

各対象者の腕・脚作業による無酸素性作業能力として最大発揮パワーを Combi 社製の電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (Power Max VII) を用いて、以下の方法で測定した。

腕作業では、対象者の肩関節とクランクの回転軸の高さが一致するように椅子の高さを合わせ、さらにクランクを回転させたときに肘関節がほぼ伸展するように負荷装置を設定した。運動中は他の身体部位、特に脚の影響を少なくするために膝を少し屈曲する程度にし、なるべく腕だけで全力駆動運動を行うように指示

した。脚作業では、自転車エルゴメータに対象者を乗せ、ペダルが最も低い位置にある時に膝関節が少し屈曲するようにサドルを調節し、運動中は腰を上げないようなるべく脚だけで全力駆動運動を行うように指示した。

全ての対象者に対して腕・脚作業のそれぞれの測定開始前に5分間のウォーミングアップを行わせた。ウォーミングアップの内容は、回転数を1分間に60回転とし、軽負荷（腕作業：男子=1kp，女子=0.5kp，脚作業：1kpの負荷を設定）で行わせるものであった。その後、全力駆動運動に慣れさせるために、それぞれウォーミングアップ時の負荷で10秒以内の全力駆動運動を行わせた。しばらく休息した後、異なる3つの負荷を対象者毎に設定し、10秒間全力駆動運動を2分間の休憩を挟み、3回行わせた。

表2に最大発揮パワーを推定するための負荷の決定基準を示した。腕作業における最大発揮パワー測定の際の負荷設定は、予備実験から決定した。脚作業は一般的に使用されている方法を用いた。最大発揮パワーを推定する方法は中村ら²⁰⁾の方法を用い、3つの異なる負荷と回転数の関係から一次回帰直線を求め、さらに二次回帰することによってピーク値を求めた。このピーク値を各対象者の最大発揮パワーとした。また、負荷と回転数の関係から求める回帰直線の信頼性については相関係数が腕作業で0.990，脚作業で0.999以上であることを条件とした。

以上の測定方法から求めた最大発揮パワー (Watts) , 体重 1 kg あたりの最大発揮パワー (Watts/kg) を各対象者の腕・脚作業による無酸素性作業能力の指標とした。

3. 最高酸素摂取量の測定

各対象者の腕・脚作業による有酸素性作業能力として、最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$) を Cateye Fitness 社製の電磁ブレーキ式腕エルゴメータ (EC-UB200) と Combi 社製の電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (エアロバイク XL720) を用いて、以下の方法で測定した。

測定中の運動姿勢については、最大発揮パワーの測定時と同様とした。表 3 に最高酸素摂取量の測定の際の負荷方法を示した。全ての対象者に対して、腕・脚作業のそれぞれの測定開始前に軽負荷 (腕作業 : 15Watts, 脚作業 : 男子=60Watts, 女子=30Watts の負荷を設定) で 5 分間のウォーミングアップを行わせた。その後、1 分間に 60 回転の回転数を維持するように指示をし、最初の 2 分間は、腕作業はウォーミングアップ時の負荷で、脚作業は男子が 120Watts, 女子が 60Watts の負荷で行わせた。それ以降、1 分毎に腕作業では男子は 9Watts, 女子は 5Watts, 脚作業では男女ともに 30Watts ずつ負荷を漸増させていく漸増負荷法を用いて各対象者を疲労困憊に至らしめた。運動終了直後、血中乳酸濃度測定器を用いて血中

乳酸濃度の測定を指先より行った。最高値の血中乳酸濃度を求めるため、運動終了後から血中乳酸濃度の低下がみられるまで毎分採血した。酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、換気量 ($\dot{V}E$)、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) の採気は、ミナト医科学社製の自動呼気ガス分析装置 (AE-300) を用いて分析をした。また、breath-by-breath 法によって 1 呼吸毎に定量された値を、5 秒毎に平均値として算出した。さらに、その値を 1 分間値に換算し、各分の $\dot{V}O_2$ の最高値を $\dot{V}O_{2peak}$ とした。運動中の心拍数 (HR) の測定は、Polar 社製のハートレートモニター (Vantage XL, Accurex Plus) を用い測定した。また、全身と活動部位に対する主観的運動強度 (rating of perceived exertion : RPE) についても毎分測定した。なお、疲労困憊の目安として、55 回転以下がしばらく続くようであれば終了とした。また、 $\dot{V}O_{2peak}$ の決定基準としては以下の 5 つの条件のうち 2 つ以上を満たしているものとした。

- i) $\dot{V}O_2$ のプラトーもしくはレベリングオフ
- ii) 血中乳酸濃度が 10.0 mmol/l 以上
- iii) 呼吸交換比が 1.10 以上
- iv) 心拍数が 180 以上
- v) 全身あるいは活動部位の RPE が 18 以上

以上の漸増負荷法によって求められた $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ を

各対象者の腕・脚作業における有酸素性作業能力の指標とした。

4. 統計処理

各測定項目の値は平均値±標準偏差で示した。また、各測定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。統計処理の有意性は危険率 5%未満で判定した。

III 結果

表 4 にスイム・プル・キックの 100 m 全力泳の記録 (min'sec") , ストローク局面の平均泳速度 (m/sec.) を示した。スイムにおける 100 m の記録は、男子で 1'06"16±6"02, 女子で 1'20"60±10"52 であった。

表 5 に腕・脚作業による無酸素性・有酸素性作業能力の結果を示した。無酸素性作業能力の指標である最大発揮パワーは、男子では腕作業が 379.2±84.1 Watts, 5.5±1.1 Watts/kg, 脚作業が 886.5±164.3 Watts, 12.9±1.5 Watts/kg であった。女子では腕作業が 179.9±29.3 Watts, 3.5±0.6 Watts/kg, 脚作業が 475.8±46.2 Watts, 9.1±0.7 Watts/kg であった。男女ともに腕作業の最大発揮パワーは、脚作業の最大発揮パワーの 40%程度に相当する値であった。

有酸素性作業能力の指標である $\dot{V}O_{2peak}$ は、男子では腕作業が 2209±379 ml/min, 32.3±4.8 ml/kg/min, 脚作業が 3422±462 ml/min, 49.9±5.1 ml/kg/min であった。

女子では腕作業が 1283 ± 225 ml/min, 24.6 ± 3.7 ml/kg/min, 脚作業が 1957 ± 216 ml/min, 37.7 ± 4.7 ml/kg/min であった. 男女ともに腕作業の $\dot{V}O_{2peak}$ は, 脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ の 65%程度に相当する値であった.

図 3, 4 に 100 m 泳パフォーマンスと腕・脚作業における最大発揮パワーと体重 1 kg あたりの最大発揮パワーならびに $\dot{V}O_{2peak}$ と体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との関係を示した.

100 m 泳パフォーマンス (スイム・プル) と腕作業による最大発揮パワーとの間には, 男子でスイム ($r=0.871$, $p<0.01$) ・プル ($r=0.793$, $p<0.01$) とともに有意な相関関係が認められた. 女子についてもスイム ($r=0.646$, $p<0.05$) ・プル ($r=0.637$, $p<0.05$) とともに有意な相関関係が認められた. 100 m 泳パフォーマンス (スイム・プル) と腕作業の体重 1 kg あたりの最大発揮パワーとの間にも, 男子のスイム ($r=0.919$, $p<0.001$) ・プル ($r=0.916$, $p<0.001$), 女子のスイム ($r=0.617$, $p<0.05$) に有意な相関関係が認められた. しかし, 女子のプル泳速度と腕作業の体重 1 kg あたりの最大発揮パワーとの間には有意な相関関係が認められなかった.

100 m 泳パフォーマンス (スイム・キック) と脚作業による最大発揮パワー, 体重 1 kg あたりの最大発揮パワーとの間には, 男子, 女子ともに有意な相関関係は認められなかった.

100 m 泳パフォーマンス（スイム・プル）と腕作業による $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間には、男子、女子ともに有意な相関関係は認められなかった。

100 m 泳パフォーマンス（スイム・キック）と脚作業による $\dot{V}O_{2peak}$ との間には、男子のキック（ $r=0.655$, $p<0.05$ ）に有意な相関関係が認められ、スイムには認められなかった。女子では、スイム・キックともに有意な相関関係は認められなかった。100 m 泳パフォーマンス（スイム・キック）と脚作業の体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間には、男子のキック（ $r=0.728$, $p<0.05$ ）のみに有意な相関関係が認められた。

IV 考察

本研究の目的は、大学水泳選手の 100 m 泳パフォーマンスと腕・脚作業による無酸素性・有酸素性作業能力を明らかにし、さらに 100 m 泳パフォーマンスと腕・脚作業による無酸素性・有酸素性作業能力との関連性を検討することである。

黒川ら¹⁶⁾は、水泳競技について水中で運動を行う場合、浮力によって体重のほとんどが支えられるため、体重 1 kg あたりの代謝能力よりも絶対値の代謝能力が競技パフォーマンスに影響を与えることを報告している。しかし、本研究では、腕・脚作業能力という点について着目することから、絶対値と体重 1 kg あたりの値の両者について検討することとした。

腕・脚作業における無酸素性作業能力の評価方法は、自転車エルゴメータを用いた 3 つの異なる負荷と回転数の関係から最大発揮パワーを推定する中村ら²⁰⁾の方法を用いた。この方法は、一般的に脚作業のみに用いられている。しかし、腕作業における最大発揮パワーを推定するためにも有効である¹⁴⁾ことから、本研究の腕・脚作業における無酸素性作業能力の評価方法として有効であると判断し、用いることとした。

腕・脚作業における有酸素性作業能力の評価方法は、腕エルゴメータ、自転車エルゴメータを用いて漸増負荷法により $\dot{V}O_{2peak}$ を測定した。 $\dot{V}O_{2peak}$ は有酸素性作業能力を評価するのに有効な指標として一般的に用いられているため、本研究の腕・脚作業における有酸素性作業能力の評価方法として用いた。これまでの研究によると、主に上肢筋群を使う腕作業の $\dot{V}O_{2peak}$ は下肢筋群を使う脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ よりも 20~30%低い^{2,26,39)}と報告されている。本研究における腕作業と脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ を比較したところ、先行研究に近い割合を示した。また、腕作業における最大心拍数と脚作業における最高心拍数において比較したところ、腕作業では脚作業よりも 10~20 拍/分程度低い値を示しており、こちらも先行研究⁶⁾と同様な結果を示していた。以上のことから、腕エルゴメータと自転車エルゴメータを用いた腕・脚作業の有酸素性作業能力の測定方法は妥当であったと考えられ

る.

各対象者の泳パフォーマンスの評価方法として、スイム・プル・キックの 100 m 全力泳中の平均泳速度の測定をした。本研究の対象者の競技レベルを判断するために、100 m スイムの記録を平成 15 年全国国公立選手権水泳競技大会における 100 m 自由形の標準記録（男子=55"40，女子=1'03"80）と比較した。その結果、男子で約 11 秒，女子で約 17 秒遅いタイムであったことから，全体的に競技レベルの低い集団であると判断した。次に，血中乳酸濃度の値から対象者がどの程度全力で泳いでいるかを判断した。100 m 全力泳後の最高血中乳酸濃度を調査した先行研究⁹⁾によると，21.6±2.4 歳の男子選手（53.7±0.8 秒）で 13.13±2.7 mmol/l，19.3±1.8 歳の女子選手（59.7±1.3 秒）で 12.19±0.74 mmol/l であった。本研究の測定結果では，男子が 14.7±3.0 mmol/l，女子が 13.2±2.8 mmol/l であった。したがって，本研究の最高血中乳酸濃度は先行研究と比べ，測定方法は異なるものの若干高い値を示していた。このことから，対象者は全力泳を行ったと判断した。

以上の検討を踏まえて，100m 泳パフォーマンスと無酸素性作業能力との関係について検討した。100 m 泳パフォーマンス（スイム・プル）と腕作業の最大発揮パワーとの間には，男子，女子ともに有意な相関関係（ $p<0.05\sim 0.01$ ）が認められた。また，100 m 泳パフォーマンス（スイム）と腕作業の体重 1 kg あたり値

の最大発揮パワーとの間にも男子，女子ともに有意な相関関係 ($p < 0.05 \sim 0.001$) が認められた．しかし，100 m 泳パフォーマンス (プル) と腕作業の体重 1 kg あたり値の最大発揮パワーとの間には，男子に有意な相関関係 (0.001) が認められたものの，女子では認められなかった．一方，100 m 泳パフォーマンス (スイム・キック) と脚作業における最大発揮パワー，体重 1 kg あたり値の最大発揮パワーとの間には，男子，女子ともに有意な相関関係が認められなかった．スイムベンチを用いた上半身のパワーと泳パフォーマンスとの関係をみた研究報告^{9,12,27)}によると，上半身のパワーとクロール泳の泳パフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められている．このことから，本研究の結果は運動様式が異なるものの先行研究を支持するものであった．また，クロール泳において腕は全体泳に対する推進の役割が極めて高いことが報告されている^{4,33)}．したがって，腕作業による最大発揮パワーを高めるトレーニングをすることによって，泳パフォーマンスを向上させることが期待できる．

また，本研究の結果より，男子では，絶対値よりも体重 1 kg あたりの値の方に，女子では体重 1 kg あたりの値よりも絶対値の方に相関係数が高く現れたことから，どちらの指標を用いるのかについて今後，検討していく必要がある．

一方，競技レベルが異なる 2 群 (インカレグループと対抗試合グループ) の女

子水泳選手に対して脚作業による最大発揮パワーを評価した研究によると、両群間に脚作業による最大発揮パワーの明確な差は認められなかったことを報告している²⁵⁾。さらに、全国大会決勝進出者を含む大学生男子水泳選手を対象とした報告¹⁰⁾によると、大腿前部および後部の筋量指数と最大努力中のキック泳速度と間には有意な相関関係は認められず、等速性による最大脚伸展力、大腿の振り上げおよび振り下げ動作のピーク速度とキック泳速度との間にも有意な相関関係が認められなかった。

本研究の結果においても、100 m 泳パフォーマンス（スイム・キック）と脚作業における最大発揮パワーとの間に有意な相関関係が認められなかったことから、脚の筋力や最大発揮パワーは、泳パフォーマンス（スイム・キック）を推し測る指標とはなり得ないことが示唆された。このことから、脚作業の最大発揮パワーについても、本研究の結果は先行研究を支持するものであった。

さらに、100 m 泳パフォーマンスと有酸素性作業能力との関係について検討した。その結果、100 m 泳パフォーマンス（スイム・プル）と腕作業の $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間に男子、女子ともに有意な相関関係が認められなかった。100 m 泳パフォーマンス（キック）と脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間には、男子で有意な相関関係（ $p < 0.05$ ）が認められた。しかし、

女子では認められなかった。また、男子、女子ともに 100 m 泳パフォーマンス（スイム）と脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間には有意な相関関係が認められなかった。高木ら³⁶⁾は、男子大学水泳選手を対象に、腕クランキング漸増負荷テストにおける持久的作業能の評価として乳酸素性作業閾値（Lactate Threshold : LT）、最大仕事量、血中乳酸濃度除去率を指標として 400 m 泳パフォーマンス（クロール泳）との関係について検討した。その結果、水泳選手の上半身の持久的作業能力の評価においては、なされた最大仕事量よりも LT を用いた評価が有効であると報告している。このことより、本研究においても腕作業による持久的作業能力を評価する場合、換気性作業閾値（Ventilatory Threshold : VT）や LT を用いて評価する必要があったのかも知れない。一方、キックはスイムやプルよりも運動時間が長くなり、有酸素性エネルギー供給系の割合が大きくなる²⁴⁾ことから、100 m 泳パフォーマンス（キック）と脚作業における $\dot{V}O_{2peak}$ との間に有意な相関関係が認められると考えることができる。しかし、女子では 100 m 泳パフォーマンス（キック）と脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ との間に有意な相関関係は認められなかった。その理由の 1 つとして、本研究の対象とした女子は、男子よりも技術レベルが未熟な者が多かったことが原因と考えられる。日本水泳連盟が規定タイム別に設けている 2001～2004 年の水泳資格表（年齢別に 1～14 級まであり、14

級を最高としている)を参考にすると、本研究の男子は10名の内6名が、女子は12名の内10名が1級(男子:1'02"7, 女子:1'10"6)に入ることができないタイムであった。このことから、本研究の対象者は競技レベルが低い集団であり、特に女子は男子よりも競技レベルが低い者が多い集団であるといえる。黒川ら¹⁶⁾は、泳パフォーマンスと代謝能力との相関は、水泳効率の不均一な群より水泳効率のほぼ均一な群において高くなったことから、両者の相関係数の違いは水泳効率の要因によって影響すると報告している。さらに、宮下¹⁸⁾は、筋力や最大酸素摂取量や最大酸素負債量など同水準の能力であっても、泳記録に差がみられることから、泳記録の差は代謝エネルギーを水泳スピードに生かすという技術の違いによるものと報告している。したがって、本研究の女子は男子よりも技術レベルに差があり、体力的要素が泳パフォーマンスに直接的に反映されなかったのではないかと推察される。

最後に、100 m 泳パフォーマンス(スイム)と脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ との間に男子、女子ともに有意な相関関係がみられなかった。この理由として、スイム中のキックのテンポについて考慮しなかったことが原因の1つとして考えられる。キックはプルよりも多くのエネルギーを消費することから、スイム中にキックをよく打つ選手とあまり打たない選手によって、スイム中に消費されるエネルギーに差が

みられる。したがって、スイム中にキックを激しく打たない選手であれば、脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ は泳パフォーマンスにあまり関係がないと考えられる。このことから、スイム中のキックのテンポと脚作業の $\dot{V}O_{2peak}$ の関係について、今後検討する必要があると考えられる。

以上のことから、クロール泳では腕の役割が大きく、腕作業による最大発揮パワーは 100 m 泳パフォーマンスを高める上で重要な体力要素の 1 つであると考えられる。しかし、競技レベルの高い集団や技術レベルが均一な集団に対して腕作業における最大発揮パワーの評価をしていないことから、本研究で得られたことがレベルの高い選手や技術レベルが均一な集団に適用できるかどうかについては、今後の課題であろう。一方、100 m 泳パフォーマンス（スイム）と腕作業の最大発揮パワーとの間には有意な相関関係（ $p < 0.05 \sim 0.01$ ）が得られたが、実際に腕作業の最大発揮パワーを向上させることが、100 m 泳パフォーマンスにどのような効果を及ぼすのかについても今後、検討する必要がある。また、100 m 泳によって無酸素性・有酸素性エネルギー供給系が同程度関与している²³⁾ことから、腕・脚作業における無酸素性・有酸素性エネルギー供給系の能力を改善させることが 100 m スイムパフォーマンスに対して、有効であるかについても今後の課題としたい。

V 結論

大学水泳選手を対象に、100 m 泳パフォーマンスと上半身（腕作業）および下半身（脚作業）における無酸素性・有酸素性作業能力との関連性を検討した結果、以下のような知見を得た。

- 1) 100 m 泳パフォーマンス（スイム・プル）と腕作業における最大発揮パワー、体重 1 kg あたりの最大発揮パワーとの間に男子、女子ともに有意な相関関係 ($p < 0.05 \sim 0.001$) が認められた。
- 2) 男子の 100 m 泳パフォーマンス（キック）と脚作業における $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間に有意な相関関係 ($p < 0.05$) が認められた。女子については認められなかった。
- 3) 100 m 泳パフォーマンス（スイム・プル・キック）と脚作業における最大発揮パワー、体重 1 kg あたりの最大発揮パワー、腕作業における $\dot{V}O_{2peak}$ 、体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との間に男子、女子ともに有意な相関関係は認められなかった。

以上の結果より、男子、女子ともに腕作業における最大発揮パワーは 100 m 泳パフォーマンスと密接に関連していることから、腕作業における無酸素性作業能力を向上させることは 100 m 泳パフォーマンスを向上させるために重要な体力要

素となる可能性が示唆された。

V 参考文献

- 1) Avlonitou, E: Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style. *J. Sports Med. Phys Fitness.*, 36: 24-30, 1996.
- 2) Bar-or, O., L. D. Zwiren : Maximal oxygen consumption test during arm exercise-reliability and validity. *J. Appl. Physiol.*, 38 : 424-426, 1975.
- 3) Berger, M. A. M., G. de Groot, A. P. Hollander : Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. *J. Biomech.*, 28 : 125-133, 1995.
- 4) Bucher, W : The influence of the leg kick and the arm stroke on the total speed during the crawl stroke. *Swimming II*, University Park Press. : 180-187, 1975.
- 5) Deschodt, V. J., L. M. Arsac, A. H. Rouard : Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 80 : 192-199, 1999.
- 6) 福田明夫, 北村潔和, 山地啓司, 有沢一男 : 作業部位 (活動筋量) の相違による HR-%V02peak 直線の変異性, *体育の科学* 30(10) : 751-758, 1980.
- 7) Holmer, I : Energetics and mechanical work in swimming. In : A. P. Hollander,

- P. A. Huijing, G. de Groot, (eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming*.
Human Kinetics, Champaign. III, : 154-164, 1983.
- 8) Hollander, A. P., G. de Groot, G. J. van I. Schenau, R. Kahman, H. M. Toussaint : Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming.
Swimming Science V / B. E. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle, (eds), *Human Kinetics Books*, : 39-43, 1988.
- 9) 岩波力, 葛西拓司 : アームプル・パワーと体格・体力, 水泳パフォーマンスとの 関連, 明治大学教養論集 262 : 1-13, 1994.
- 10) 角田直也, 須藤明治 : 下肢の筋形態及び筋機能特性とキック泳速度, *トレーニング科学* 12(3) : 171-180, 2001.
- 11) 鎌田安久, 栗林徹, 山下芳男, 北田雅子 : 水泳におけるプルの能力と泳力, *岩手大学教育学部研究年報* 54(2) : 89-102, 1995.
- 12) 葛西拓司, 国井実, 清田隆, 宮本佳代子 : スイムベンチによる筋パワー出力と水泳パフォーマンスとの関係, *トレーニング科学* 4(1) : 96, 1992.
- 13) 北村潔和, 鳥海清司 : 水泳競技におけるトレーニング課題の発見方法の検討-各種泳法における泳記録と最大酸素摂取量の関係から-*体育の科学* 46(9) : 745-749, 1996.

- 14) 久保潤二郎, 伊藤雅充, 浅見俊雄: パワーMaxV-IIを用いた上半身の最大無酸素パワー測定法の検討, 日本体育大学スポーツ・トレーニング・センター-bulletin 9: 41-49, 2000.
- 15) 倉敷千稔, 岩野悦真, 古川勝巳, 川井浩, 黒田公子, 田坂登紀夫: 脚作業と腕作業の比較検討-スキー距離選手と水泳選手の体重あたり酸素摂取量を中心として-, 同志社保健体育 19: 42-58, 1981.
- 16) 黒川隆志, 富樫泰一, 野村武男, 池上晴夫: 最大酸素負債量, 最大酸素摂取量および酸素需要量と水泳記録との関係, 体育学研究 29(4): 295-305, 1985.
- 17) 宮下充正: 水泳の科学-キネシオロジーと指導への応用-. 杏林書院東京: pp72-84. 1970.
- 18) 宮下充正: ハイスピード持続能力の解明-水泳選手にトレーニングを果たすことによって得られた知見-. 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告: 30-34, 1972.
- 19) Mosterd, W. L., J. Jongbloed: Analysis of the stroke of highly trained swimmers. *Int. Z. Angew. Physiol.*, 20: 288-293, 1964.
- 20) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正: 最大無酸素パワーの自転車エルゴメータ

- 一による測定方法, J. J. SPORTS SCI. 3, 834-839, 1983.
- 21) 日本水泳連盟医・科学委員会：競泳レース分析表，第 78 回日本選手権水泳競技大会，(財)日本水泳連盟医・科学委員会：1，2002.
 - 22) 日本水泳連盟医・科学委員会：競泳レース分析表，第 79 回日本選手権水泳競技大会，(財)日本水泳連盟医・科学委員会：1，2003.
 - 23) 荻田太：水泳中の無酸素性エネルギー供給動態，日本水泳水中運動科学 2：47-56，1999.
 - 24) Ogita, F., S. Taguchi : The comparison of peak oxygen uptake between swim-bench exercise and arm stroke. Eur. J. Appl. Physiol., 71 : 295-300, 1995.
 - 25) 大石示朗：大学女子水泳選手の無酸素パワー，東京女子体育大学女子体育研究所研究集録 (11)：15-21，1989.
 - 26) Reybrouk, T., F. H. George, A. F. John : Limitations to maximum oxygen uptake in arm, leg, and combined arm-leg ergometry. J. Appl. Physiol., 38 : 774-779, 1975.
 - 27) Rick, L., J. Sharp, P. Troup, L. C. David : Relationship between power and sprint freestyle swimming. Med. Sci. Sports Exerc., 14 : 53-56, 1982.
 - 28) 里吉政子：本学水泳部員の縦断的的最大酸素摂取量の測定結果について，横

- 横浜市立大学論叢 自然科学系列(横浜市立大学学術研究会)42(2) : 117-137,
1991.
- 29) Schleihauf, R. E. : A hydrodynamic analysis of swimming propulsion .
SWIMMING. III. J. Terauds, E. W. Bedingfield (eds), University Park Press,
Baltimore : 173-184, 1979.
- 30) Schleihauf, R. E. : Three-dimensional analysis of hand propulsion in the sprint
front crawl stroke. Biomechanics and Medicine in Swimming. A. P. Hollander, P.
A. Huijing, G. de Groot, (eds), Human Kinetics, Champaign, IL : 173-183. 1983.
- 31) Swaine, I. I. : Arm and leg power output in swimmers during simulated
swimming. Med. Sci. Sports Exerc., 32 : 1288-1292, 2000.
- 32) Swaine, I. I., E. M, Winter : Comparison of cardiopulmonary responses to two
types of dry-land upper-body exercise testing modes in competitive swimmers.
Eur. J. Appl. Physiol., 80 : 588-590, 1999.
- 33) 田口正公 : 泳ぎにおける腕と脚の役割, 体育の科学 41(9) : 703-707, 1991.
- 34) 高木英樹 : 泳者手部の表面圧力分布測定による推進力の定量, 体育の科学
51(8) : 603-608, 2001.
- 35) 高木英樹, 野村照夫, 松井敦典, 南隆尚 : 日本人競泳選手の抵抗係数, 体

育学研究 41 : 484-491, 1997.

- 36) 高木英樹, 征矢英昭, 富樫健二, 浜中健二, 紀之定保臣, 安達公俊 : 水泳選手における持久的腕作業能の Trainability とパフォーマンスへの貢献度, デサントスポーツ科学 14 : 217-224, 1993.
- 37) 高橋繁浩, ジョン P. トループ, マーク・ボーン, スー・スプライ, スコット・トラッピィ : 9-18 歳男子水泳選手における無酸素的パワーの特徴, 中京大学体育学論業 32(2) : 27-32, 1991.
- 38) 高石鉄雄, 板東美枝 : 水泳選手の最大無酸素性パワーおよび筋持久力, 体育学研究集録 16, 81-89, 1989.
- 39) 湯浅景元, 矢田秀昭, 朝比奈一男 : 最大下の腕, 脚, および「腕+脚」作業に対する酸素摂取量, 心拍数, 換気量応答, 体力科学 29 : 5-10, 1980.

図表の説明

図 1 分析地点およびカメラの配置

図 2 レース局面の定義

図 3 100 m 泳パフォーマンスと腕・脚作業における最大発揮パワー, 体重 1 kg

あたりの最大発揮パワーとの関係

ピアソンの積率相関係数 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

図 4 100 m 泳パフォーマンスと腕・脚作業における $\dot{V}O_{2peak}$, 体重 1 kg あたりの

$\dot{V}O_{2peak}$ との関係

ピアソンの積率相関係数 (*:p<0.05)

表 1 対象者の身体的特性

表 2 最大発揮パワー測定における負荷の設定基準

表 3 最高酸素摂取量測定における負荷の設定基準

表 4 スイム・プル・キックの 100 m 全力泳の記録と平均泳速度

表 5 腕・脚作業による無酸素性・有酸素性作業能力の結果

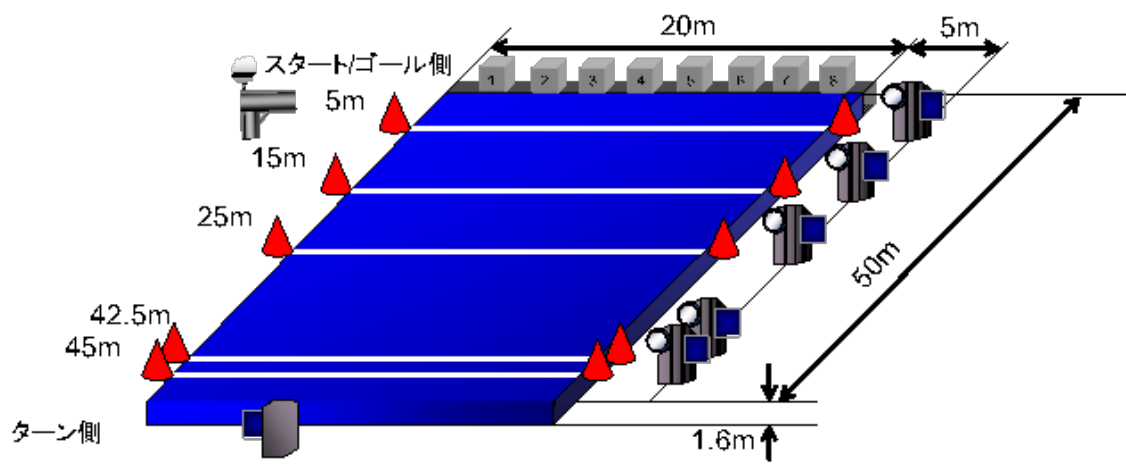


図 1. 分析地点およびカメラの配置

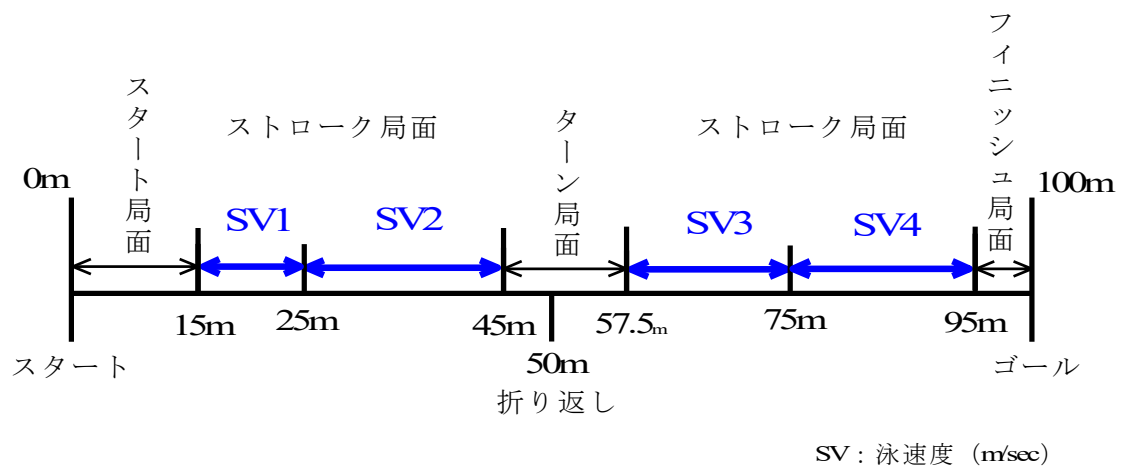
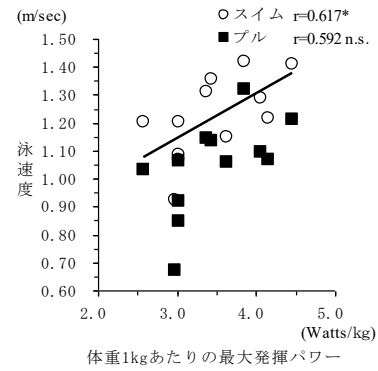
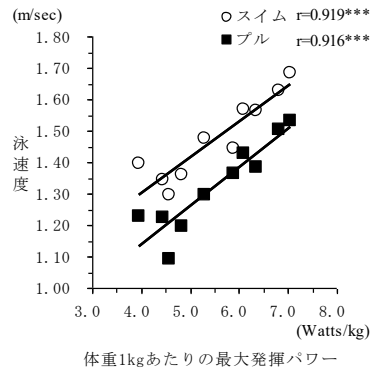
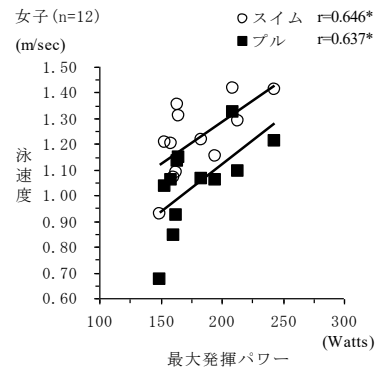
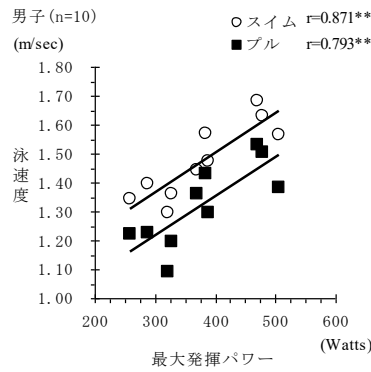


図 2. レース局面の定義

腕作業



脚作業

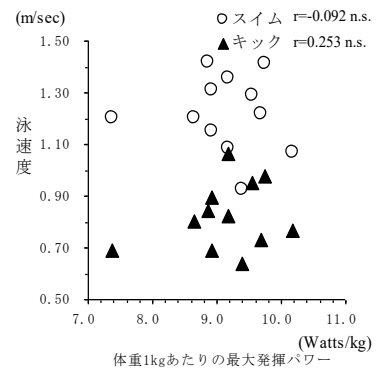
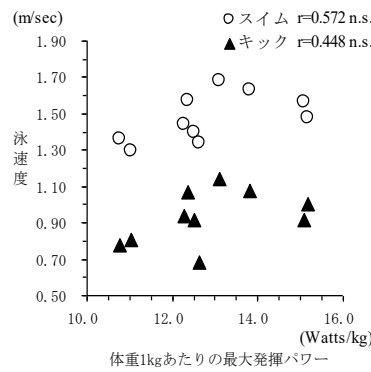
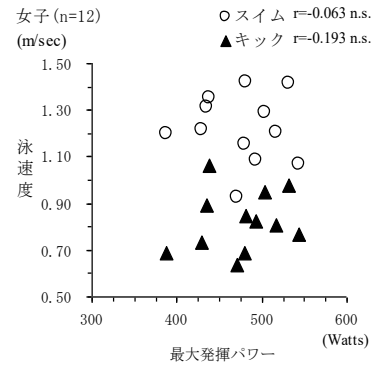
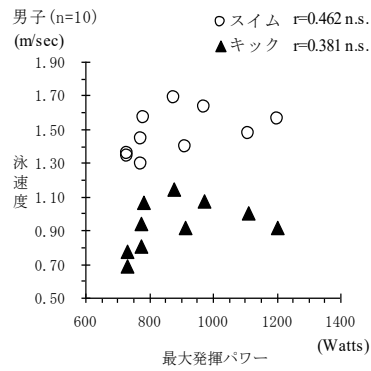
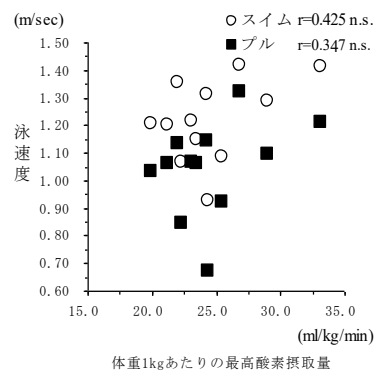
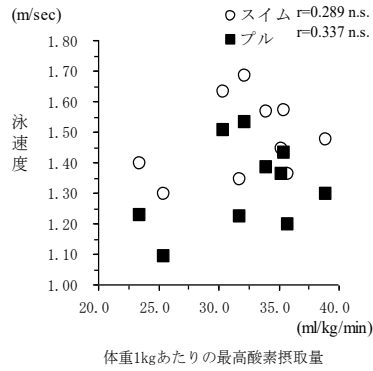
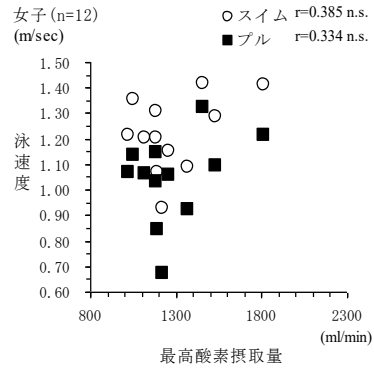
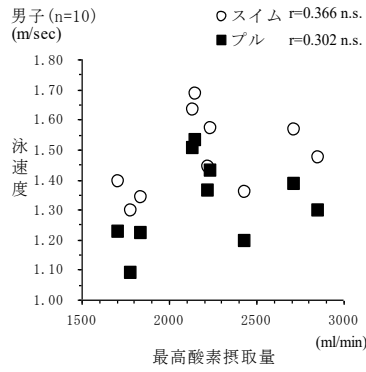


図 3 100 m 泳パフォーマンスと腕・脚作業における最大発揮パワー，体重 1 kg

あたりの最大発揮パワーとの関係 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$)

腕作業



脚作業

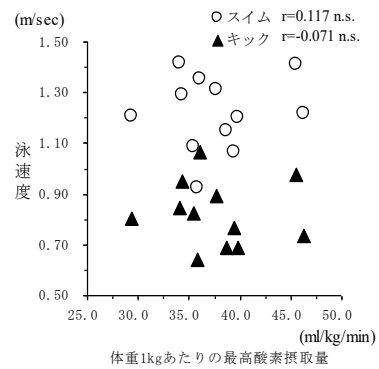
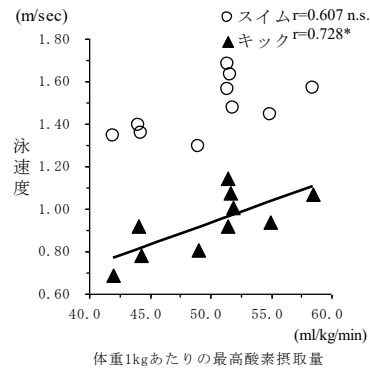
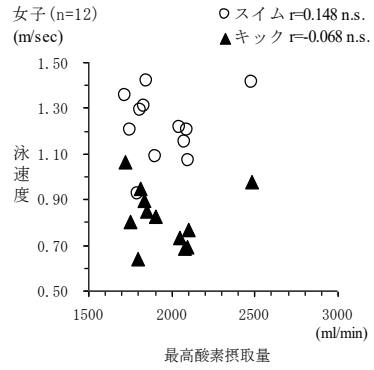
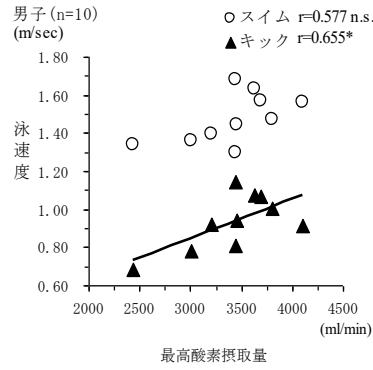


図 4 100 m 泳パフォーマンスと腕作業, 脚作業における $\dot{V}O_{2peak}$, 体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ との関係 (*: $p < 0.05$)

表 1. 対象者の身体的特性

	男子 (n=10)	女子 (n=12)
年齢(yrs)	20.8±1.9	21.1±1.2
身長(cm)	174.6±6.8	158.9±6.3
体重(kg)	68.5±6.3	51.5±4.0
体脂肪率(%)	15.8±1.6	20.3±3.3

表 2. 最大発揮パワー測定における負荷の設定基準

腕作業	W-up時の負荷 (kp)	最大回転数 (rpm)	第1負荷 (kp)	第2負荷 (kp)	第3負荷 (kp)		
男子	1	180~	2.0	+1.0	+1.0		
		~179	1.0				
女子	0.5	180~	1.0	+0.5	+0.5		
		~179	0.5				
脚作業		体重(kg)	第1負荷 (kp)	最大回転数 (rpm)	第2負荷 (kp)	最大回転数 (rpm)	第3負荷 (kp)
男子	1	80~	5.0	180~	+3.0	150~	+3.0
		60~79	4.0	150~179	+2.0	130~149	+2.0
		~59	3.0	~149	+1.0	~129	+1.0
女子	1	50~69	3.0				
		~49	2.0				

表 3. 最高酸素摂取量測定 of 負荷 of 設定基準

腕作業	W-up時の負荷 (Watts)	最初2分間の負荷 (Watts)	以降1分毎の負荷 (Watts)
男子	15	15	+9
女子	15	15	+5
脚作業			
男子	60	120	+30
女子	30	60	+30

表 4. スイム・プル・キックの 100 m 全力泳の記録と泳速度

測定項目	種目	男子 (n=10)	女子 (n=12)
記録(min'sec")	スイム	1'06"16±6"02	1'20"60±10"52
	プル	1'14"44±8"39	1'35"19±19"05
	キック	1'44"34±17"75	1'58"10±16"60
泳速度(m/sec)	スイム	1.48±0.13	1.22±0.15
	プル	1.32±0.42	1.05±0.17
	キック	0.93±0.15	0.82±0.13
血中乳酸濃度 (mmol/l)	スイム	14.7±3.0	13.2±2.8
	プル	9.1±2.0	7.5±1.4
	キック	12.3±3.2	9.3±2.9

表 5. 腕・脚作業による無酸素性・有酸素性作業能力の測定結果

測定項目	作業部位	男子 (n=10)	女子 (n=12)
無酸素性作業能力			
最大発揮パワー (Watts)	腕作業	379.2±84.1	179.9±29.3
	脚作業	886.5±164.3	475.8±46.2
最大発揮パワー (Watts/kg)	腕作業	5.5±1.1	3.5±0.6
	脚作業	12.9±1.5	9.1±0.7
有酸素性作業能力			
最高酸素摂取量 (ml/min)	腕作業	2209±379	1283±225
	脚作業	3422±462	1957±216
最高酸素摂取量 (ml/min/kg)	腕作業	32.3±4.8	24.6±3.7
	脚作業	49.9±5.1	37.7±4.7