

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

三重大学 高木 英 樹

(共同研究者) 同 征 矢 英 昭

同 富 樫 健 二

同 浜 中 健 二

同 紀之定 保 臣

同 安 達 公 俊

Swimmer's Trainability on the Upper Body Working Capacity and its Contributions to Their Swimming Performance.

by

Hideki Takagi, Hideaki Soya, Kenji Togashi

Department of Health and Physical Education,

Faculty of Education, Mie University

Kenji Hamanaka

Department of Psychiatry, School of Medicine, Mie University

Yasuomi Kinosada

Department of Radiology, School of Medicine Mie University

Kimitoshi Adachi

College Student, Mie University

ABSTRACT

There has been a lot of researches in which the endurance capacity of the movement with the leg is evaluated, while few researches were given on the endurance capacity about the movement of the upper half of the body especially the arm. Thus, the present study aimed at

the evaluation of the upper body endurance capacity by using progressive arm cranking ergometry on 13 male university competitive swimmers.

Maximum power output (PO_{max}), lactate threshold (LT, POOLT), lactate removal rate ((peak La from the leg minus peak La from the arm) / peak La from the arm $\times 100\%$) were measured during cranking test to correlate individual performance.

The outline of the results are as follows :

1) There was no significant difference between the amount of the PO_{max} and LT for competitive swimmers.

2) A significant ($P < 0.05$) correlation was observed between La removal rate and 400 m freestyle event.

要 旨

これまでエルゴメータやトレッドミルを用いて、主に脚による運動での持久能力を評価した研究は数多くある。しかしながら、腕を中心とした上半身の運動について、持久的能力を検討した例は少ない。そこで本研究では、競泳のトレーニングを行っている、男子大学生13名を対象として、負荷漸増腕クランキングテストを用いて、腕作業の持久的能力を評価することを目的とした。評価の指標として、腕クランキング運動における乳酸性作業閾値 (Lactate threshold : LT), 最大仕事量, 血中乳酸除去率を求め、水泳パフォーマンスとの関連を検討した。なお採血は、足背静脈に留置した翼状針を介して、4分ごとの負荷漸増にともなって、間欠的に実施した。

結果の概要は以下のとおりである。

1) 競泳選手の腕クランキング運動における最大仕事量とLTには、特異性は認められなかった。

2) 乳酸除去率 (La removal) と、競泳400 m自由形平均スピードとの間には、有意な ($P < 0.05$) 相関関係が認められた。

緒 言

われわれの腕筋群は、常に体重を支えている脚筋群とは異なり、重力による負荷から解放された状態にある。そのため腕筋群は、脚と比較すると筋量や発揮するパワーが、かなり劣るとされている。また持久的な運動能力についても征矢ら¹⁵⁾は、腕筋群を主体にトレーニングを行う、陸上長距離選手と、脚筋群を主体にトレーニングを行う、水泳選手とでは、腕筋群の持久的作業能に有意な違いがあることを報告している。このことは、陸上ランナーにおいて、上半身のトレーニング余地 (トレーナビリティ) の可能性が大きいことを示唆していると思われる。したがって、このトレーニングの可能性を定量的に測定することは、あらゆるスポーツのトレーニング処方はもちろんのこと、下肢麻痺患者などのリハビリテーションを合理的に進める上で、有用な指標となると推察される。

そこで本研究では、日常的に腕筋群のトレーニングを行い、腕筋群の作業能に優れていると思われる、水泳選手を対象として、腕筋群の作業能を、腕クランキング負荷テストによって評価すること

を試みた。評価の指標として、漸増負荷腕クランキング中の血中乳酸動態より、乳酸性作業閾値 (lactate threshold : LT), 最大仕事量や血中乳酸除去率等を指標として、水泳パフォーマンスとの関連を検討することを目的とした。また、求められた各選手の LT より、腕筋群のトレーニング処方を見積り、今後のトレーニング処方の手がかりとすることを目的とした。

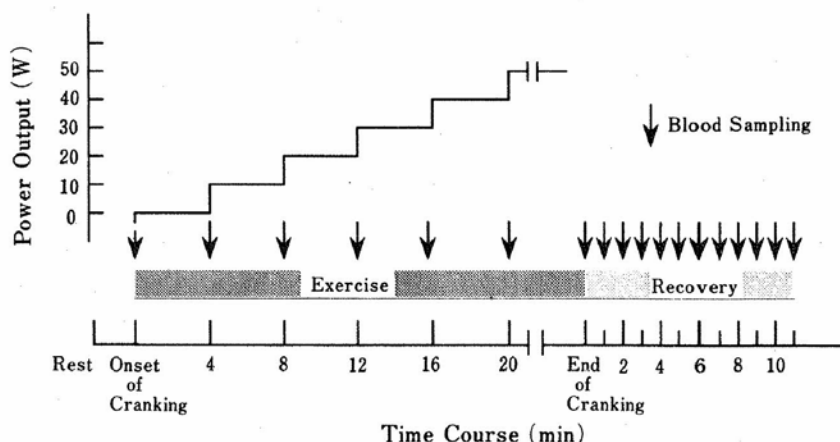


図1 Experimental design for arm cranking test

1. 方法：腕クランキングの漸増負荷テスト

1.1 被験者

被験者は、定期的に競泳のトレーニングを行っている、18歳から23歳の男子大学生競泳選手13名を対象とした。被験者の年齢・身長・体重の平均および標準偏差は、表1に示した。被験者にはあらかじめ実験の目的、手順そして実験実施上の危険性などに関する説明を行い、紙面での承諾を得た。腕クランキング漸増負荷テスト当日は、健康状態を確認した上で、異常の認められない被験者について実験を行った。

表1 Physical characteristics of subjects

n=13	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)
Mean	20.1	171.4	65.8
SD	1.28	4.03	4.51

1.2 実験手順

腕クランキング漸増負荷テストは、ポータブル・エルゴメータ (スウェーデン Monark 社 881-E 型) を、高さ 120 cm の鉄フレーム製のベンチの上に固定したものを使用して行った。被験者は、エルゴメータ正面に固定された、高さ 80 cm の椅子に座らせ、エルゴメータのクランク軸が、肩の高さになるように調節した。また、運動

中の上体の動揺を抑えるため、上体をシートベルトで軽く固定した。さらに、前腕の早期疲労により運動継続が困難になることを防ぐために、ウェイトトレーニング用のストラップを用いて、ペダル軸と手部を固定した。

腕クランキング漸増負荷テストのプロトコルを、図1に示した。実験では被験者に対して負荷なしの状態から、2分程度の腕クランキング動作をウォーミングアップとして行わせた。その後、座位安静を10分間保たせた後、回転数 50 rpm で4分ごとに負荷を 10 w ずつ漸増させ、疲労困憊もしくは 5 rpm の遅れが生じるまで継続させた。最初のステージの負荷は、0w に設定して行わせた。なお、50 rpm で負荷 10 w 場合、仕事量は 60 kpm である。

本研究における各ステージの間隔は、先行研究における知見を参考にして、およそ4分で乳酸の定常状態が得られると推測されることから、4分の間隔とした。また運動負荷テスト中、被験者は、常に最高のパフォーマンスを発揮できるように「験者のかけ声」等による動機づけを受けた。

また体温上昇による疲労を軽減する目的で、適時扇風機により送風した。運動負荷テスト終了後の回復期においては、座位安静を10分間保持させた。

採血は右足背静脈に留置した翼静針を介して、座位安静 10 分後および漸増負荷テスト中、各ステージ終了 15 秒前に行い、同時に主観的運動強度 (RPE) を自己申告させた。そして負荷テスト後、回復期 10 分間においても 1 分ごとに採血を行った。翼静針は、1% ヘパリン生理食塩水を満たした延長チューブ、および三方活栓と連結させ、一度に 500 μ l ずつ採血した。また、継続的な採血を可能にするために、テスト中は足部を温熱器 (ヤシマ技研工業) で覆い保温した。採血後、直ちに自動乳酸量分析器 (YSI, model, 2300) を用いて、全血中の乳酸 (blood lactate : La) 濃度を測定した。

1.3 測定項目

1.3.1 乳酸性作業閾値 (LT)

LT は、仕事量 (power output : PO) と乳酸との関係から、熟練した験者 3 人が、目視的評価により傾きの異なる 2 本の回帰直線を求め、その交点を LT とした。

1.3.2 乳酸除去率 (La removal rate)

負荷テスト終了直後、右肘正中静脈からの採血より求めた Lactate (La) 濃度を、腕部の最高血中乳酸濃度 (arm La peak) とし、足背静脈から得られた La 濃度の最高値を、脚部の最高血中乳酸濃度 (leg La peak) とした。また、La の除去率の指標として、arm La peak と、leg La peak の差を arm La peak で除した値を、La removal rate (La 除去率) とした。

La 除去率 (%)

$$= \frac{(\text{arm La peak} - \text{leg La peak})}{\text{arm La peak}} \times 100$$

1.3.3 最高心拍数 (HR peak)

負荷テスト時の心拍数動態を、HR モニター (Polar 社製 Vantage XL) を用いて、サンプリングタイム 5 秒で測定した。また、そのときに得られた最高の心拍数を、HR_{peak} とした。

1.3.4 回復期乳酸拡散時間 (time to peak La : TPL)

負荷テスト終了後、回復期において、右足背静脈から採血された血液の La 濃度が最高値を示すまでの時間 (クランキング終了時を起点とする) を TPL (time to peak La) とした。

2. 結果

2.1 腕クランキング中における La 動態

図 2 は、運動中の La 平均値の変動を示している。La は、仕事量 (PO) の増加にともない、指数関数的に増加する傾向がみられた。

表 2 は PO_{max}, HR_{peak}, LT の平均値および標準偏差である。HR_{peak} は、平均が各被験者の年齢別最高心拍数 ((220 - 年齢数) / 分) に近い値を示した。

図 3 は、各被験者の LT と、競泳 400 m 自由形の平均スピードとの関係を示している。LT と

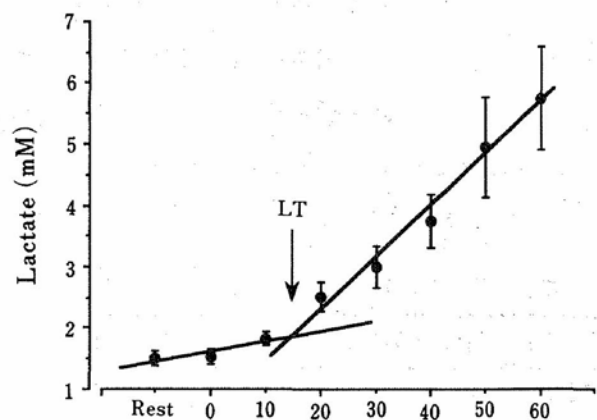


図 2 Blood lactate concentration at rest and during arm cranking
Data are Means \pm SE

表 2 Physiological characteristics of subjects

	PO _{max} (W) n=13	HR peak (beats/min) n=7	LT (W) n=13	LT (%PO _{max}) n=13
Mean	63.8	177.0	17.8	27.8
SD	11.7	7.6	10.7	15.8

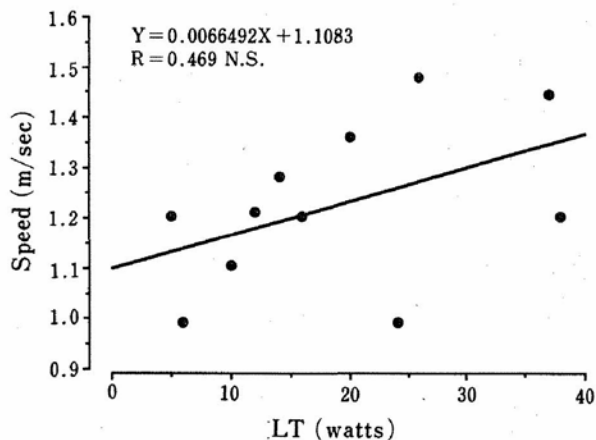


図3 Relationship between LT and average of speed in 400 m freestyle event

400 m 自由形平均スピードとの間には、LTの高い選手ほど、400 m 自由形のパフォーマンスに優れている傾向がみられた。

2.2 腕クランキング後回復期におけるLa動態

図4は、運動終了直後からの経過10分後まで

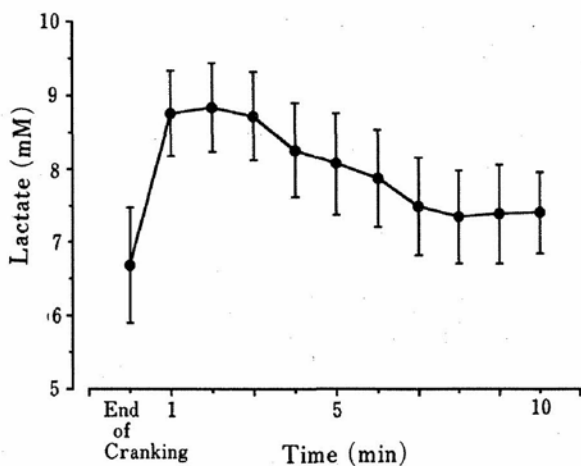


図4 Time course of blood lactate concentration following the end of arm cranking. Data are Means ± SE

の、La平均値の変動を示している。運動後もLaはしばらく上昇し、約1分～5分後にピークに達した後、下降する傾向にあった。

表3は、回復期におけるTPL, arm La peak, leg La peakおよびLa removal rateを示している。arm La peak, leg La peakともに征矢ら^{1,15)}の結果と比較すると (arm La peak : 6.5 mM, leg La peak : 4 mM), いずれも高い値を

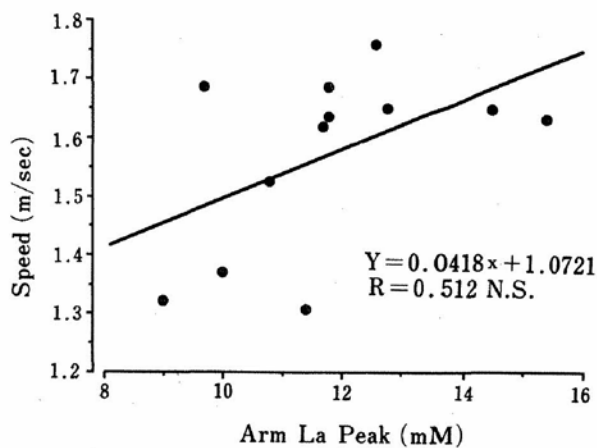


図5 Relationship between arm La peak and average of speed in 100 m freestyle event

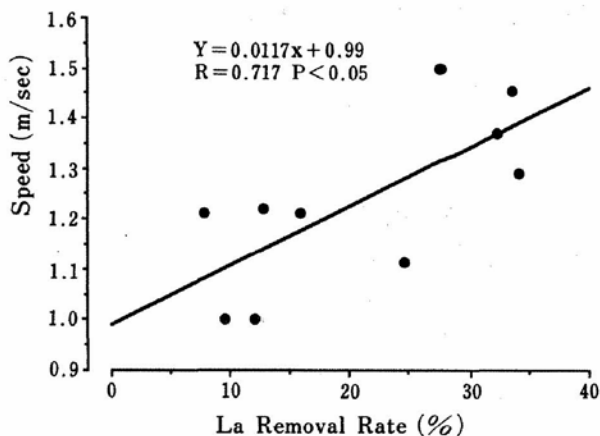


図6 Relationship between La removal and average of speed in 400 m freestyle event

表3 Lactate kinetics during recovery

	time to peak La (min) n=11	arm La peak (mM) n=13	leg La peak (mM) n=11	La removal rate (%) n=11
Mean	2.4	11.7	9.1	21.7
Sd	1.3	1.8	1.9	10.0

示したが、TPLは、低い値であった。

図5は、arm La peakと選手の競泳100 m自由形の平均スピードとの関係を示している。arm La peakと100 m自由形の平均スピードとの間には、arm La peakが高い者ほど、100 m自由形の平均スピードが速い傾向を示した。

図6は、La removal rateと、選手の競泳400 m自由形の平均スピードとの関係を示したものである。La removal rateと、競泳400 m自由形の平均スピードにおいては、有意な相関関係が得られた ($P < 0.05$)。

さらにLTとLa removalとの関係を検討したが、特異性は得られなかった。

3. 考 察

本研究では、継続して競泳のトレーニングを行っている、健常な男子大学生水泳部員を対象に、腕クラッキングにおける持続的作業能の評価を、LTを指標に用いて検討した。

LTを指標として、持続的作業能の評価をした結果、各選手の競泳400 m自由形の平均スピードとの間に、正の関係の傾向が認められた。しかし、 PO_{max} は競泳400 m自由形の平均スピードとの間には、傾向は得られず、水泳選手の上半身の持続的作業能の評価においては、LTを用いた評価法の方が、有効であることが示唆された。つまり、腕作業時においては、なされた最大仕事量よりも、無酸素性作業閾値の方が、400 mの平均スピードに与える影響が大きいのではないかとと思われる。そして、実際のトレーニングにおいては、LTを指標とした、トレーニング処方の有効性が伺われ、上半身のLTトレーニングをすることによって、水泳のパフォーマンスを大きく向上させることが期待できる。

つぎに、Laの除去能の指標として、La removal rateを示した。このLa removal rateにおいては、選手の400 m自由形の平均スピードとの

間に、有意な相関関係 ($P < 0.05$) を得た。つまりこのLa除去能も、水泳のパフォーマンスに関与する重要な要因のひとつとしてあげられ、この値が高いほど水泳競技者にとっては有利であると言える。しかしながら、筋におけるLaの除去は、活動筋によって有効に行われるとされている^{3,7,10}。

それに加え、本実験においては、足の甲部からの採血であるが、脚筋群を運動させていない。そのため、全身の筋肉を使用している、水泳競技のパフォーマンス(運動)中は、各被験者によって乳酸除去能率が変化することが推測される。

つぎに、La peakと100 m自由形の平均タイムとの間には、La peakが高い者ほど、100 m自由形の平均タイムが良いという傾向が認められた。100 m自由形の場合、酸素負債に耐える能力(耐乳酸性能力)が、重要な要因として考えられ、本研究の結果は、それを示唆するものと思われる。つまり、最大努力によって、La濃度の限界点近くに達することができる能力が、100 m自由形のような短距離種目については、重要であると思われる。その結果として、arm La peakの値が高い者ほど、100 m自由形のbest timeが良いという傾向が、得られたのではないかと推測される。

また、本研究における実験結果を、征矢ら¹⁵⁾のデータ(LT 62.9 w, PO_{max} 128.3 w, arm La peak 6.4 mM, leg La peak 3.8 mM)と比較すると、LT、 PO_{max} ともに低い値を示した。しかし逆に、leg La peak, arm La peakにおいては高い値を示した。

これまでの PO_{max} の先行研究^{12,14,16)}の値と比べた場合も、本実験結果の PO_{max} が低い値を示した理由として、さまざまな要因が考えられる。

第一に、被験者の身体資質の差異によるところが大きいと思われる。本研究での被験者は、日常的に水泳トレーニングをしているものの、身体特性や水泳の競技パフォーマンスに大きな差がみら

れる。すなわち、一流水泳競技者は、本研究での被験者より常に強い負荷にさらされながら、トレーニングを積んだ結果、LTや PO_{max} などの持続的能力が、かなり向上しているものと思われる。

第二に、各ステージ間隔は、同じ4分であるが、本研究においては10wずつ負荷漸増したのに対し、征矢らの実験では、12.5wずつ負荷を増加させている。そのため、同じ負荷のステージにおける総仕事量の増加や、それにとまなう体温上昇により、本実験における被験者の PO_{max} などの低下が考えられる^{4,8)}。しかしながら、TPL, La removal rate, HR peakにおいては同様の結果が得られた。

とくに本研究で得られたTPLの平均2.36(min)は、征矢らの研究における水泳選手の結果と類似している。この値は、先行研究(水泳選手ではない)^{1,2,5,6,11,13)}と比較するとかなり早いものである。このことから、水泳のトレーニングをしている者は、トレーニングをしていない者と比較すると、TPLが早まる傾向にあるようである。この要因として、HRが大きく関与していると思われる。Loftinら⁹⁾は、5週間の腕トレーニングを行った結果、腕クランキング時のHRが増大したと報告している。本実験結果においても、 HR_{peak} の平均177拍/分(88% HR_{max})という高い値を示した。つまり、上半身のトレーニングを行うことによって、運動(上半身)による心拍応答性が敏感となり、よりスムーズに応答されるものと思われる。また、上半身の血管や毛細血管などの発達により、上半身のLaの拡散能が増大した⁶⁾などの要因が推測される。

4. 今後の研究課題

今後の研究課題としては、 PO_{max} やarm La peakと、腕クランキング漸増負荷テスト終了時・回復期における血中ホルモン動態との関連のデサントスポーツ科学 Vol.14

検討を押し進めること。そして、本研究において、被験者となっている13名をコントロール群とトレーニング群とに分け、後者にはポータブル・エルゴメータを用いた特別なトレーニングをさせ、同じ指標を用いて、そのトレーニング効果を評価するとともに、水泳パフォーマンスへの影響を検討することを課題としている。

5. 結 論

競泳のトレーニングを行っている男子大学生を対象に、腕クランキング漸増負荷テストにおける持続的作業能の評価を、乳酸性作業閾値、最大仕事量、血中乳酸除去率等を指標として行い、水泳パフォーマンスとの関係を検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 競泳のトレーニングにおいては、腕運動時の乳酸拡散能や心拍応答性の発達が示唆された。
- 2) La removal rateと競泳400m自由形平均タイムとの間に、有意な相関関係が有ることが示唆された。
- 3) LTと競泳400m自由形平均タイムとの間、そして、arm La peakと競泳100m自由形平均タイムとの間に、正の関係の傾向があることが示唆された。

文 献

- 1) Astrand, P. O., Rodahl, K.; Text book of work physiology NY, McGraw-Hill, 320-325 (1986)
- 2) Bassett, D. R., Merrill, P. W. JR., Nagle, F. J., Agre, J. C., Sampedro, R.; Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects, *J. Appl. physiol.*, 70 (4), 1816-1820 (1991)
- 3) Brooks, G. A.; The lactate shuttle during exercise and recovery, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18 (3), 360-368 (1986)
- 4) Buchfuhrer, Mark J., Hansen, James E., Robinson, Terry E., Sue, Darryl Y., Wasserman Karlman, Whipp, Brian J.; optimizing the exercise protocol for cardi-opulmonary

- assessment, *J. Appl. Physiol.*, **55** (5), 1558-1564 (1983)
- 5) Cerretelli, P. D., Paganelli, W. C., Rennie, D. W.; Effects of specific muscle training on $\dot{V}O_2$ on-response and early blood lactate., *J. Appl. Physiol.*, **47** (4), 761-769 (1979)
- 6) Evans, Blanche W., Cureton, K. J.; Effect of physical conditioning on blood lactate disappearance after supramaximal exercise, *Brit. J. Sports Med.*, **17** (1), 40-45 (1983)
- 7) Issekutz, Bela, JR., Shaw, William, A. S., Issekutz, Andrew C.; Lactate metabolism in resting and exercising dogs., *J. Appl. Physiol.*, **40** (3), 312-319 (1976)
- 8) Lasko-Mccarthey, P., Davis, J. A.; Protocol dependency of $\dot{V}O_{2max}$ during arm cycle ergometry in males with quadriplegia., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **23** (9), 1097-1101 (1991)
- 9) Loftin, M., Boileau, R. A., Massey, B. H., Lohman, T. G.; Effect of arm training on central and peripheral circulatory function., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **20** (2), 136-141 (1988)
- 10) McLoughlin, P., McCaffrey, N., Moynihan, J. B.; Gentle exercise with a previously inactive muscle group hastens the decline of blood lactate concentration after strenuous exercise., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **62**, 274-278 (1991)
- 11) Meffoid, I. N., Ward, M. M., Miles, L., Taylor, B., Chesney, M. A., Keegan, D. L., Barchas, J. D.; Determination of plasma catecholamines and free 3, 4-dihydroxyphenylacetic acid in continuously collected human plasma by high performance liquid chromatography with electrochemical detection., *Life Science.*, **28** (5), 477-482 (1981)
- 12) Nagle, F. J., Richie, J. P., Giese, M. D.; $\dot{V}O_{2max}$ responses in separate and combined arm leg air-brake ergometer exercise., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **16** (6), 563-566 (1984)
- 13) Pendergast, D., Cerretelli, P., Rennie, D. W.; Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise., *J. Appl. Physiol.*, **47** (4), 754-760 (1979)
- 14) Sawka, M. N., Foley, M. E., Pimental, N. A., Toner, M. M., Pandolf, K. B.; Determination of maximal aerobic power during upper-body exercise., *J. Appl. Physiol.*, **54** (1), 113-117 (1983)
- 15) 征矢英昭, 彦井浩孝, 脇田裕久, 八木規夫, 高木英樹, 富樫健二, 西端 泉, 浜中健二, 野村武男, 生田泰士; 腕の持久的トレーニング効果の全身作業能に及ぼす生理的貢献度, *デサントスポーツ科学*, **13**, 207-217 (1991)
- 16) Toner, M. M., Glickman, E. L., McArdle, W. D.; Cardiovascular adjustments to exercise distributed between the upper and lower body., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **22** (6), 773-778 (1990)