中年女子レクリエーション泳者のシンクロナイズド・スイミング時の生理学的応答

山村千晶 塚嶋洋子 松井信夫 北川 薫

PHYSIOLOGICAL ANALYSIS OF SYNCHRONIZED SWIMMING IN RECREATIONAL FEMALE MIDDLE-AGED SWIMMERS

CHIAKI YAMAMURA, YOKO TSUKASHIMA, NOBUO MATSUI and KAORU KITAGAWA

Abstract

This study was designed to analyze physiologically recreational synchronized swimming and speed swimming. Two types of recreational synchronized swimming (Long face-in time performance: LFIP and Short face-in time performance: SFIP) and maximum exertion in the 200-m free style swimming (200 mFR) were measured in six recreational middle-aged female swimmers. LFIP and SFIP were conducted in shallow water. The percentage of face-in time for LFIP was about 10% longer than that of SFIP. Heart rate (HR) during each exercise was measured continuously. Blood lactate concentration (La), the rate of perceived exertion (RPE) and systolic and diastolic blood pressure (SBP, DBP) were measured after each exercise. Average HR during the LFIP, SFIP and 200 mFR were 133 ± 12 , 132 ± 13 and 153 ± 12 beats $\cdot$ min $^{-1}$ (mean $\pm$ SD), respectively. La was 2.4 ± 0.7 mmol $\cdot$ l $^{-1}$ for LFIP, 2.2 ± 0.6 mmol $\cdot$ l $^{-1}$ for SFIP and 5.7 ± 2.4 mmol $\cdot$ l $^{-1}$ for 200 mFR, respectively. SBP was 181 ± 32 mmHg for LFIP, 166 ± 22 mmHg for SFIP and 185 ± 30 mmHg for 200 mFR, respectively. No significant differences were observed in blood pressure among the three exercises. SBP of 200 mmHg or higher after LFIP and 200 mFR was observed in some subjects. HR, La and RPE for LFIP and SFIP showed no significant differences, but were significantly lower than those of 200 mFR. These results show that the exercise intensity of LFIP was moderate and was similar to that of SFIP. LFIP, however, caused a marked rise in SBP. Thus, SFIP may be more recommended for health promotion to recreational middle-aged swimmers than LFIP.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2000, 49: 103~110)

key words: synchronized swimming, middle-aged, speed swimming, blood pressure, heart rate

I. 緒 言

水泳は、浮力によって関節にかかる負担が軽減されることや水の持つ粘性により転倒しにくいなど、陸上運動にはみられない特性から中高年層者の間で広く行われている¹⁾。近年は水泳だけに限らず、立位で一定の動作を繰り返す水中走行や水中歩行、音楽に合わせてリズムカルに様々な動作を行うシンクロナイズド・スイミングや水中エアロビクスなど、水中で実施される運動の種類は多岐にわたっている。なかでも音楽を用いる運動は、音楽のテンポを変化させることにより運動強度を調節する事ができるので、対象者に合わせた内容

の運動を実施しやすいなどの利点がある^{2,3)}、との報告が陸上運動時になされている。

生体は、水に入ることによって陸上とは異なる生理学的応答を示すが^{4~6)}、このような応答は全ての年齢層において同様に見られるのではなく、加齢により変化する^{7,8)}。そのため、中高年齢者に運動を処方する際、若年齢者を対象とした結果をそのままあてはめることは不相当であると考えられる。特に、音楽を用いる水中運動に関するこれまでの報告は、競技選手^{9~13)}や若年齢者^{14,15)}を対象としており、中高年齢者を対象とした先行研究は著者らの知る限りない。また、息こらえを伴う水中運動では、心拍数(以下、HR)の

低下や血圧の上昇が顕著にみられることが報告されている¹⁶⁻¹⁸⁾。

そこで, 本研究では中年齢者によりレクリエーション的に行われている水中運動の特性を明らかにするために, 2種類のシンクロナイズド・スイミングについて, 以下の点を検討した。ハイブリッドフィギュアなどを含み, 顔を水につけることにより呼吸ができない状態の時間(以下, Face-in time)¹⁹⁾が後述の演技よりは長い演技(Long face-in time performance: LFIP)とリズム水泳の泳法が中心となり, LFIPよりはFace-in timeが短い演技(Short face-in time performance: SFIP)とを比較する。さらに, 本研究でのシンクロナイズド・スイミングと運動時間が同程度となる, 200 m 自由形全力泳(以下, 200 mFR)についても同様の測定を行った。

II. 方 法

A. 対 象

被検者は健康な中年女子シンクロナイズド・スイミング愛好者6名であり, 年齢の平均値と標準偏差は 44.1 ± 8.0 (31.5~51.8)歳, 経験年数は 6.8 ± 3.1 (4~12)年であった。トレーニングの頻度と時間は, 1週間に1~2回, 1回あたり約2時間であった。なお, 1名を除き被検者はシンクロナイズド・スイミング以外にも競泳を1週間に1~2回, 1回あたり約1時間行っていた。また, 本研究は中京大学大学院体育学研究科における「人を対象とする研究に関する倫理指針」の通り, 全ての実験の前には, 被検者に対して実験内容について十分な説明を行い, その内容を理解した上で, 承諾書への署名を得た。

B. 測定項目

1. 身体的および機能的特徴

形態的測定として身長, 体重, 周径囲(腹部最小囲, 臀囲, 上腕囲, 大腿囲)および身体組成を測定した。身体組成の測定は, Bモード超音波皮下脂肪厚計(SM 206: 誠鋼社製)を用いた。

機能的測定としての筋力(握力), 筋持久力(上体おこし), 瞬発力(立幅跳び), 平衡性(閉眼片足

立ち), 柔軟性(伏臥上体そらし)および呼吸機能関連(最高酸素摂取量(以下, $\dot{V}O_{2peak}$), 運動後息こらえ, 肺活量, 1秒量)の測定については, 日本人の体力標準値第4版²⁰⁾に掲載されている方法に従って行った。なお, $\dot{V}O_{2peak}$ の測定については, これと異なる方法を用いて行ったため, 以下に測定方法を記した。

$\dot{V}O_{2peak}$ は自転車エルゴメーター(エアロバイク800: コンビ社製)を用いて, 負荷を0 Wから1分毎に15 Wずつ増加させて被検者を疲労困憊に至らせた。酸素摂取量(以下, $\dot{V}O_2$)の測定は, オキシコンシグマ(フクダ電子社製)を用いて30秒毎に連続的に行った。HRはテレメーター送信器(ST-17: フクダ電子社製)およびダイナスコープ(DS-502: フクダ電子社製)を用いて胸部双極誘導法によって測定した。また, 同時に血圧(STBP-680: 日本コーリン社製)の測定および主観的運動強度(以下, RPE)の記録を小野寺と宮下²¹⁾のスケールを用いて行った。なお, 運動の中止基準は $\dot{V}O_2$ のleveling offがみられること, ペダルを規定の回転数で漕ぎ続けられないこと, 呼吸交換比が1.0以上であることのうち2項目以上が確認される時とした。従って, 最大酸素摂取量が得られたと判定できる例もあったが, 本研究では $\dot{V}O_2$ の最大値を $\dot{V}O_{2peak}$ とした。

2. 水中での運動時における生理学的応答

水中での運動時の測定は, Face-in timeの異なる2種類の演技(LFIPおよびSFIP)と200 mFRを行った際に実施した。なお, これらの測定は1種目ずつ日を変えて行った。

HRの測定はハートレートモニタートランスミッター(Polar Vantage XL: Polar社製)を用いて, 運動中5秒間ごとに連続して記録した。血中乳酸濃度については, 各運動終了の直後, 3分目および5分目に指先から採血を行い, 直ちにラクトアナライザー(1500 sports: YSI社製)を用いて分析し, それらの最大値を測定結果として用いた。また, 血圧の測定およびRPEの記録は運動終了の直後に行ったが, Rive-Rocci型の水銀血圧計のマンシュートを巻くための時間等が必要

であったため、実際の測定は運動終了の約1分後であった。

C. 測定種目

現在、中高年齢者がシンクロナイズド・スイミングを行う際は、水深の浅いプールにおいて、プールの底に手足をついてもよい形式と、水深の深いプールにおいてプールの底に手足を一切つかない形式にて行われている。本研究ではいずれの演技も水深が約1.2mのプールにて前者の形式で行った。各演技のFace-in timeについては、Hommaの報告¹⁹⁾に従い録画ビデオから算出した。

また、200 mFRは運動開始を水中からとし、被検者にはあらかじめ200 mを全力で泳ぐように指示した。

D. 統計処理

データの統計処理は一元配置の分散分析法を用いて行い、有意差が認められた項目については、Tukeyのpost hoc testを適用した。なお、統計上の有意水準は全て危険率が5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

被検者の身体的および機能的特徴についてはTable 1に示した。

Table 1. Anthropometric and physical fitness data of the subjects.

(n=6)

Variable	Mean±SD	Variable	Mean±SD
Anthropometric data		Physical fitness data	
Height (cm)	161.5±4.8	Grip strength (kgw)	26.6±2.9
Weight (kg)	50.6±4.3	Sit-ups for 30s (time)	19.0±5.5
Circumference (cm)		Standing long jump (cm)	166.6±19.0
Minimum Abdomen	65.3±3.1	Closed-eyes foot-balance (sec)	29.2±22.8
Hip	89.0±2.4	Prone trunk extension (cm)	50.8±5.9
Upper Arm	25.9±1.5	$\dot{V}O_{2peak}/wt$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	37.6±4.9
Thigh	50.2±2.7	Breath holding time after exercise (sec)	15.7±2.9
Body composition		Vital capacity (L)	3.70±0.44
%Fat (%)	21.0±2.3	Timed vital capacity (L)	2.99±0.38
Fat (kg)	10.6±1.0	Resting heart rate in water (beats·min ⁻¹)	73.3±8.2
LBW (kg)	40.0±4.2	Resting SBP (mmHg)	122±16
		Resting DBP (mmHg)	73±17

%Fat: percentage of body fat, Fat: body fat, LBW: lean body weight, $\dot{V}O_{2peak}$: peak oxygen uptake, /wt: relative value to 1 kg of body weight, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure.

Table 2. Heart rate during synchronized swimming and 200-m free style swimming.

(n=6)

Event	Mean±SD (beats·min ⁻¹)
LFIP	132.9±11.9
SFIP	132.0±12.5
200mFR	153.4±11.5*

LFIP: Long face-in time performance, SFIP: Short face-in time performance, 200 mFR: 200-m free style swimming.

*: Significantly higher than LFIP and SFIP.

Table 2には各水中での運動中を連続記録したHRの平均値と標準偏差を示した。Fig. 1には運動中に連続記録したHRを被検者Fの結果を例にして示した。水中立位安静時のHRの平均値と標準偏差は、73.3±8.2 beats·min⁻¹であった。運動中のHRはLFIPとSFIPとの差において有意ではなかった。しかし、200 mFRに比較するといずれのHRも有意に低かった。また、安静時の血中乳酸濃度、収縮期血圧(以下、SBP)および拡張期血圧(以下、DBP)の平均値と標準偏差は、

Fig. 1. Change of heart rate during synchronized swimming (Subject F).

それぞれ $1.2 \pm 0.3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $122 \pm 16 \text{ mmHg}$ および $73 \pm 17 \text{ mmHg}$ であった。Fig. 2 に示したのは、演技終了後の血中乳酸濃度、RPE、SBP および DBP である。血中乳酸濃度と RPE の平均値と標準偏差は、LFIP が $2.4 \pm 0.7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ と 13.2 ± 3.0 , SFIP が $2.2 \pm 0.6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ と 10.5 ± 1.2 , 200 mFR が $5.7 \pm 2.4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ と 16.5 ± 2.3 であった。LFIP と SFIP の血中乳酸濃度と RPE には有意な差がみられなかったが、200 mFR に比較するといずれも有意に低かった。SBP と DBP は、LFIP が $181 \pm 32 \text{ mmHg}$ と $88 \pm 21 \text{ mmHg}$, SFIP が $166 \pm 22 \text{ mmHg}$ と $83 \pm 13 \text{ mmHg}$, 200 mFR が $185 \pm 30 \text{ mmHg}$ と $71 \pm 15 \text{ mmHg}$ であった。SBP と DBP には有意な差がみられなかったものの、LFIP と 200 mFR では 200 mmHg 以上の SBP を示す被検者が各々 2 名みられた。なお、彼らの LFIP での HR と血中乳酸濃度は平均値と比較してやや高かった。また、200 mFR の HR において一方の被検者は平均値よりやや高く、他方はやや低かったが、血中乳酸濃度はいずれもやや低かった。

演技を分析した結果、LFIP および SFIP の演技時間はそれぞれ 3 分 45 秒と 3 分 30 秒であり、全演技時間に占める Face-in time の割合は、LFIP が $26.4 \pm 0.8\%$, SFIP が $15.2 \pm 1.0\%$ であった。演技構成上、各被検者が異なるタイミングで別々の動きをするために、同一の演技であっても被検者間での Face-in time は異なる。そのため、各演技の Face-in time には標準偏差にみられるようなばらつきがあった。このような LFIP と SFIP の Face-in time の差は、LFIP が顔あげの平泳ぎや背泳ぎなどのリズム水泳の泳法に加え、ハイブリッドフィギュアなどを含む構成であったのに対し、SFIP がリズム水泳の泳法を中心とした構成であったことによる。一方、200 mFR の平均タイムは 3 分 46 秒 23 ± 25 秒 68 であり、LFIP や SFIP とほぼ同程度の運動時間であった。

Ⅳ. 考 察

本研究の被検者の身体的および機能的特徴をこれまでに報告されている、特別にスポーツ活動を行っていない同年代の女子の結果と比較する

Fig. 2. Blood lactate concentration, rate of perceived exertion and blood pressure after synchronized swimming and 200-m free style swimming. LFIP (▨): Long face-in time performance, SFIP (■): Short face-in time performance, 200 mFR (▤): 200-m free style swimming. *: $p < 0.05$. The bottom graph indicates the systolic blood pressure in the left bar and the diastolic blood pressure in the right bar.

と²⁰⁾、本研究の被検者は形態的側面においては身長が高く、体重および周径囲は低い傾向にあった。一方、機能的側面については、握力と閉眼片

足立ち以外の全ての測定項目において高かったが、なかでも上体おこし、 $\dot{V}O_{2peak}$ 、肺活量、1秒量および伏臥上体そらしはかなり優れていることがわかった。

シンクロナイズド・スイミングでは演技中の $\dot{V}O_2$ の測定が不可能なことから、本研究ではHR、RPE および血中乳酸濃度を指標にして、演技中の運動強度と代謝状況を検討した。LFIP とSFIPのHRはTable 2に示したように約 $130 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ であったことから、これらの演技の全体としての運動強度はいずれも中等度であり、HRを指標としてみた場合、中年齢者が実施する健康の維持・増進のために行う運動としては適当な強度であると考えられた²²⁾。ただし、同一の $\dot{V}O_2$ を摂取する際、水泳中のHRは陸上時のそれと比較して低いことが報告されている²³⁻²⁶⁾。そのため、これらの演技は陸上での約 $140 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ の運動と同程度となり、酸素摂取水準は約 $70\% \dot{V}O_{2max}$ に相当する²⁷⁾。いずれにしても、HRを指標としてみた場合、LFIPやSFIPは中年齢者にとって適当な強度の運動である²²⁾。

LFIP とSFIP 終了後の血中乳酸濃度には、両者の間に有意な差はみられなかった。また、運動時の血中乳酸濃度は、安静時よりそれぞれ $1.2 \pm 0.6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ と $1.0 \pm 0.3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ の増加しか示さなかった。そのため、これらの演技中は、無酸素性代謝よりも有酸素性代謝の関与の割合が高かったものと考えられた。

本研究では循環系機能の指標として、運動終了後の血圧の測定を行った。演技時におけるHR、血中乳酸濃度およびRPEは、200 mFRに比較するといずれも有意に低かったにもかかわらず、SBPとDBPには3種目間で有意な差がみられなかった(Table 2, Fig. 2)。特に、LFIPのSBPは200 mFRに近い値にまで上昇しており、DBPについてはLFIPやSFIPの方が200 mFRよりも高かった。これまで、息をこらえた直立位における頸までの浸水および全身浸水、あるいは安静および運動時の顔面浸水中において血圧の上昇がみられることが報告されている^{16,28-31)}。このような血圧の上昇は、全身の末梢抵抗の増加によるも

のであり, 息こらえ時間の延長に伴いその上昇度が高くなることが報告されている³¹⁾。これは, 息こらえによって血液中の二酸化炭素濃度が増加するため, 脳や心臓への酸素供給が維持されるよう, 末梢血管の収縮によってこれらの器官への血液配分が増加しているものと考えられている³²⁾。

また, 全身運動では血管拡張が全身に起るが, 局所運動ではその運動に動員される筋の血管は拡張し, 動員されない筋の血管は収縮する。そのため, 同一酸素摂取量時では, 全身運動より局所運動において血圧が高くなることが報告されている^{33,34)}。本研究では, 水深の浅いプールにおいて演技を実施したため, 被検者はサポートスクーリングやエッグビーターなどを用いず, プールの底に手や足をついた状態でハイブリッドフィギュアやアームムーブメントを行っていた。さらに, バレーレグなどのスクーリングのみで身体を支える動作も含まれていた。つまり, 全身運動である 200 mFR と比較すると, LFIP は局所運動であるため, 運動中に動員される筋量は少なかった可能性がある。そのため, LFIP では 200 mFR と同水準の血圧の上昇がみられたものと考えられた。

本研究では LFIP 終了後の SBP が 200 mmHg を超えている者が 2 名みられた。血圧は運動終了後, 急激に低下することから, 演技中はさらに高い値まで上昇していた可能性が高い。このような血圧の上昇は, 心筋梗塞や脳の小動脈破裂によるくも膜下出血などの心臓血管系の事故の誘因になりうると考えられる。そのため, 演技の構成にあたっては対象者の血圧応答にも留意する必要があると考えられた。

V. ま と め

本研究では中年女子 6 名を対象に, LFIP, SFIP および 200 mFR 時の生理学的応答について検討した。その結果, LFIP は HR の平均値からみると全体としての運動強度は中等度であり, SFIP と同程度であったことが明らかとなった。また, HR や運動後の血中乳酸濃度測定より, LFIP や SFIP は中年年齢者が健康の維持・増進のために行う有酸素運動として適当と考えられる。しかし,

LFIP は SFIP に比較し血圧の上昇が高い傾向にあり, 200 mFR に近い値にまで上昇していた。また, LFIP では 200 mmHg 以上の SBP を示す者がみられた。従って, 中年年齢者がレクリエーション的に本研究でのようなシンクロナイズド・スイミングを行う際は, LFIP と同程度の運動強度でありながら Face-in time が短く, LFIP よりも血圧の上昇が低い傾向にある SFIP の方が奨励できる運動内容であると考えられる。また, 大きな血圧上昇を引き起こさないように演技構成には注意を払う必要があると考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって, 名古屋シンクロ同好会の坂口康子先生および会員の皆様ならびに中京大学運動生理学研究室の本田亜紀子助手およびスタッフの多大なる御協力を得たことをここに記し感謝申し上げます。

(受理日 平成11年9月18日)

引 用 文 献

- 1) 井上大輔, 武藤芳照. 中高年の水泳の効用と障害, 臨床スポーツ医学, (1992), **9**, 410-415.
- 2) 沢井史穂. エアロビックダンスの生理学的・力学的運動強度の評価, Jpn. J. Sports Sci., (1994), **13**, 537-544.
- 3) 植屋節子, 竹島伸生, 植屋悦男, 小林章雄, 加藤孝之. 高齢者の運動処方としてのエアロビクスダンスーテンポと運動強度について, 臨床スポーツ医学, (1993), **10**, 961-965.
- 4) Begin, R., Epstein, M., Sackner, M. A., Levinson, R., Dougherty, R. and Duncan, D. Effects of water immersion to the neck on pulmonary circulation and tissue volume in man. J. Appl. Physiol., (1976), **40**, 293-299.
- 5) Weiß, M., Hack, F., Stehle, R., Pollert, R. and Weicker, H. Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation. Int. J. Sports Med., (1988), **9**, S113-S117.
- 6) Choukroun, M.-L. and Varenne, P. Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. J. Appl. Physiol., (1990), **68**, 1475-1480.
- 7) 杉山由樹, 美和千尋, 鈴木初恵, 薛 叶祥, 松川俊義, 岩瀬 敏, 間野忠明. 高齢者における中立温度下水浸負荷時の循環動態, 環研年報, (1993), **14**, 68-71.
- 8) 美和千尋, 岩瀬 敏, 間野忠明, 斉藤 満, 杉山由樹, 鈴木初恵. 水浸時におけるヒトの筋交感神経活動の抑制反応に対する加齢の影響, 自律神経,

- (1993), **30**, 16-23.
- 9) Figura, F., Cama, G. and Guidetti, L. Heart rate, alveolar gases and blood lactate during synchronized swimming. *J. Sports Sci.*, (1993), **11**, 103-107.
- 10) Gemma, K. E. and Wells, C. L. Heart rates of elite synchronized swimmers. *Physician and sportsmedicine*, (1987), **15**, 99-107.
- 11) 山村千晶, 宮城 修, 図司早江子, 石河利寛, 松井信夫, 北川 薫. シンクロナイズド・スイミングのフリールーティン時の運動強度, *体力科学*, (1998), **47**, 199-207.
- 12) 山村千晶, 北川 薫. シンクロナイズド・スイミングの体力学的研究, *バイオメカニクス研究*, (1998), **2**, 2-9.
- 13) Yamamura, C., Zushi, S., Takata, K., Ishiko, T., Matsui, N. and Kitagawa, K. Physiological characteristics of well-trained synchronized swimmers in relation to performance scores. *Int. J. Sports Med.* (1999), **20**, 246-251.
- 14) Eckerson, J. and Anderson, T. Physiological response to water aerobics. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. (1992), **32**, 255-261.
- 15) 安田徒生, 山下亜希子, 道用 亘, 山本博男. アクアビクスの運動強度—楽しくシェイプアップを目指して—, *体育の科学*, (1996), **46**, 546-551.
- 16) Andersson, J. and Schagatay, E. Effects of lung volume and involuntary breathing movements on the human diving response. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1998), **77**, 19-24.
- 17) Bergman, S. A. Jr., Campbell, J. K. and Wildenthal, K. "Diving reflex" in man: its relation to isometric and dynamic exercise. *J. Appl. Physiol.*, (1972), **33**, 27-31.
- 18) Kawakami, Y., Natelson, B. H. and DuBois, A. B. Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. *J. Appl. Physiol.*, (1967), **23**, 964-970.
- 19) Homma, M. The components and the time of 'face in' of the routines in synchronized swimming. In., Hebelinck, M. and Shephard, R. J., *Medicine and Sport Science*, Vol. 39, Karger, Basel, (1994), 149-154.
- 20) 東京都立大学体育学研究室. 日本人の体力標準値 第4版, 第4版, 不昧堂, 東京, (1989), 9-369.
- 21) 小野寺孝一, 宮下充正. 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性—Rating of perceived exertionの観点から—, *体育学研究*, (1976), **21**, 191-203.
- 22) American College of Sports Medicine. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1998), **30**, 975-991.
- 23) Magel, J. R. and Faulkner, J. A. Maximum oxygen uptakes of college swimmers. *J. Appl. Physiol.*, (1967), **22**, 929-933.
- 24) McArdle, W. D., Glaser, R. M. and Magel, J. R. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J. Appl. Physiol.*, (1971), **30**, 733-738.
- 25) Holmér, I. and Åstrand, P.-O. Swimming training and maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.*, (1972), **33**, 510-513.
- 26) 涌井忠昭, 高橋繁浩, 北川 薫, 石河利寛. 水泳および水中歩行における運動強度の指標としての心拍数, 運動スピード, 主観的運動強度の有効性, *東海保健体育科学*, (1987), **9**, 1-9.
- 27) 山地啓司. 運動処方のための心拍数の科学, 初版, 大修館書店, 東京, (1981), 41-43.
- 28) Harding, P. E., Roman, D. and Whelan, R.F. Diving bradycardia in man. *J. Physiol.*, (1965), **181**, 401-409.
- 29) Hong, S. K., Moore, T. O., Seto, G., Park, H. K., Hiatt, W. R. and Bernauer, E. M. Lung volumes and apneic bradycardia in divers. *J. Appl. Physiol.*, (1970), **29**, 172-176.
- 30) Bjertnaes, L., Hauge, A., Kjekshus, J. and Sjølyand, E. Cardiovascular responses to face immersion and apnea during steady state muscle exercise. A heart catheterization study on humans. *Acta. Physiol. Scand.*, (1984), **120**, 605-612.
- 31) Pan, A.-W., He, J., Kinouchi, Y., Yamaguchi, H. and Miyamoto, H. Blood flow in the carotid artery during breath-holding in relation to diving bradycardia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1997), **75**, 388-395.
- 32) Lin, Y.-C. Applied physiology of diving. *Sports Med.*, (1988), **5**, 41-56.
- 33) Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Messin, R., Saltin, B. and Stenberg, J. Intra-arterial blood pressure during exercise with different muscle groups. *J. Appl. Physiol.*, (1965), **20**, 253-256.
- 34) Blomqvist, C. G., Lewis, S. F., Taylor, W. F. and Graham, R. M. Similarity of the hemodynamic responses to static and dynamic exercise of small muscle groups. *Circ. Res.*, (1981), **48**, I87-I92.