

# 水温, 泳速が発汗量, 体温に及ぼす影響

長崎大学	田井村 明 博
(共同研究者) 同	管 原 正 志
同	金 田 英 子
同	山 内 正 毅
同	松 本 孝 朗

## Effect of Water Temperature and Swimming Velocity on Sweat Loss and Body Temperature during Swimming

by

Akihiro Taimura, Masashi Sugahara, Eiko Kaneda

*Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University*

Masaki Yamauchi

*Faculty of Education, Nagasaki University*

Takaaki Matsumoto

*Institute of Tropical Medicine, Nagasaki University*

### ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effect of water temperature and swimming velocity on sweat loss and body temperature during swimming. Five male college swimmers swam 1,500 m free style swim at three submaximal velocities (90%, 95%, and 97.5%) of their best record in the water temperatures of 26.4°C and 29.2°C. Swimming time, body temperature (oral), heart rate, RPE (rating of perceived exertion), and sweat loss were measured. The sweat loss (g/kg) was calculated from the body weight measured before and after swimming [(body weight after swimming - body weight before swimming) × 1,000/body weight before swimming].

Body temperature changes at 90%, 95%, and 97.5% was  $0.34 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$ ,  $0.56 \pm 0.14^{\circ}\text{C}$ ,  $0.96 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$  in the water temperature of  $26.4^{\circ}\text{C}$ , and  $0.34 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ ,  $0.70 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ,  $0.88 \pm 0.08^{\circ}\text{C}$  in  $29.2^{\circ}\text{C}$ , respectively. Sweat loss at 90%, 95%, and 97.5% was  $2.73 \pm 0.45 \text{ g/kg}$ ,  $4.43 \pm 0.79 \text{ g/kg}$ ,  $5.04 \pm 1.03 \text{ g/kg}$  in  $26.4^{\circ}\text{C}$ , and  $4.32 \pm 0.84 \text{ g/kg}$ ,  $7.09 \pm 1.57 \text{ g/kg}$ ,  $7.16 \pm 1.95 \text{ g/kg}$  in  $29.2^{\circ}\text{C}$ , respectively. Heart rate, RPE, and body temperature change was significantly increased according to swimming velocity, but there was no significant difference in the values between the water temperature of  $26.4^{\circ}\text{C}$  and  $29.2^{\circ}\text{C}$ . Sweat loss was significantly increased according to rise in swimming velocity and water temperature.

In conclusion, body temperature change during swimming relates to swimming velocity. Sweat loss during swimming relates to both swimming velocity and water temperature. It is considered that swimmer should take fluid during intensive swimming to prevent dehydration and body temperature rise around  $30.0^{\circ}\text{C}$  or warmer water.

## 要 約

本研究は水温、泳速度が発汗量および体温変化に及ぼす影響を検討することを目的とした。大学水泳部員男子選手5名を被験者とし、実験は水温2種類 ( $26.4^{\circ}\text{C}$ ,  $29.2^{\circ}\text{C}$ )、泳速3種類 (被験者の1,500 m 自由形ベスト記録の90%, 95%, 97.5%の泳速度) の条件で1,500 m 自由形を行わせた。測定は1,500 m の記録、体温 (口腔温度)、心拍数、自覚的運動強度 (RPE) および体重減少から求めた発汗量であった。

心拍数は、泳速順に $26.4^{\circ}\text{C}$ の場合、 $135.6 \pm 8.6 \text{ bpm}$ ,  $147.6 \pm 7.0 \text{ bpm}$ ,  $164.4 \pm 2.4 \text{ bpm}$ ,  $29.2^{\circ}\text{C}$ の場合、 $140.4 \pm 5.2 \text{ bpm}$ ,  $157.2 \pm 4.8 \text{ bpm}$ ,  $162.0 \pm 2.7 \text{ bpm}$ であった。RPEは、泳速順に $26.4^{\circ}\text{C}$ の場合、 $12.8 \pm 0.5$ ,  $13.8 \pm 0.7$ ,  $15.4 \pm 0.5$ ,  $29.2^{\circ}\text{C}$ の場合、 $11.2 \pm 0.2$ ,  $13.0 \pm 0.5$ ,  $15.8 \pm 0.4$ であった。体温変化は、泳速順に $26.4^{\circ}\text{C}$ の場合、 $0.34 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$ ,  $0.56 \pm 0.14^{\circ}\text{C}$ ,  $0.96 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ ,  $29.2^{\circ}\text{C}$ の場合、 $0.34 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ ,  $0.70 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ,  $0.88 \pm 0.08^{\circ}\text{C}$ であった。発汗量 (体重減少量) は、泳速順に $26.4$

$^{\circ}\text{C}$ の場合、 $2.73 \pm 0.45 \text{ g/kg}$ ,  $4.43 \pm 0.79 \text{ g/kg}$ ,  $5.04 \pm 1.03 \text{ g/kg}$ ,  $29.2^{\circ}\text{C}$ の場合、 $4.32 \pm 0.84 \text{ g/kg}$ ,  $7.09 \pm 1.57 \text{ g/kg}$ ,  $7.16 \pm 1.95 \text{ g/kg}$ であった。

心拍数、RPE、体温変化では、泳速 (運動強度) による有意な差が認められ、いずれも泳速によって上昇することが認められたが、水温による有意な変化は認められなかった。発汗量は泳速、水温いずれにおいても有意な差が認められ泳速の上昇に伴い、また水温が高いほど発汗量が多くなった。

以上の結果より、本研究で設定した水温の範囲では水泳中の体温は水温よりも泳速に影響されると考えられる。水温が高くなると発汗量が増えるので、水温が $30^{\circ}\text{C}$ 前後あるいはそれ以上の水温での運動強度の強い (泳速度の大きい) 水泳では水泳中の脱水予防と過度の体温上昇を押さえるために、発汗に応じた水分摂取が必要であることが示唆された。

## 緒 言

水泳などの水中運動は、熱伝導率が高く、冷却

効果の高い水中で行われるために運動による体温上昇、発汗量あるいは脱水についての問題より、むしろ耐寒性あるいは長時間の水中運動を継続する遠泳などにおける体温低下が問題にされてきた<sup>2-6, 8, 13, 21)</sup>。一方、陸上運動では運動中の水分摂取についての重要性が各方面から指摘され、とくに高温環境下での運動がパフォーマンスに及ぼす影響や、それらの結果をもとにしたガイドライン等が報告されている<sup>1, 7, 9, 10)</sup>。

水泳の場合、実際には激しい練習による体温上昇とそれに伴う発汗があるが、水泳練習中の発汗量や体温変化についてこれまであまり問題にされなかったのは、水中で行われる水平運動であるため陸上の運動と比較して血液の循環が良く、伝導、対流による冷却効果が高いこと、あるいは常に口中が濡れた状態にあるので口渇を感じにくいなどの理由が考えられる。

ところで、近年室内プールの急速な普及に伴い水中運動も競泳を目指した水泳だけでなくベビースイミング、マタニティスイミング、アクアフィットネス、腰痛水泳を始めとする各種リハビリなどの目的で幅広く行われるようになってきた。通常では水泳競技の練習や大会の場合26℃が適温とされている<sup>15)</sup>が、競泳以外では体温低下を防ぐために30℃前後が適切とされている<sup>16)</sup>。選手を対象とした練習も水泳30℃前後のプール環境下で行われており、その練習内容もインターバルトレーニ

ングが中心で、練習時間も2～3時間とかなり長時間に及んでいる。また、高水温での練習環境は室内プールに限らず、夏の屋外プールでも同じように水温が30℃を越える期間が存在する。

Tamura and Sugahara<sup>21)</sup>、田井村、管原<sup>22)</sup>は室内プールでの水泳練習が水温30℃前後の環境で行われていることに注目し、水泳練習時の体重減少量、発汗量および水分摂取量の実態を調査した。その結果、水温30℃前後の環境では水泳練習時にも無視できない程度の発汗量(体重減少量)が認められるが、発汗量に応じた水分摂取が行われていないことを報告した。この水泳中の発汗は水温や泳速(運動強度)に影響を受けると考えられる。そこで本研究では水温、泳速度が発汗量および体温変化に及ぼす影響を検討した。

## 1. 研究方法

### 1.1 被験者

被験者は大学水泳部員であり、実験に先立ち実験の目的、内容を詳しく説明した上で被験者として協力することに承諾の得られた男子選手5名であった。被験者の年齢、身長、体重、皮脂厚から求めた体脂肪率、および1,500 m自由形のベスト記録はそれぞれ22.5±1.0 yr, 172.4+1.0 cm, 64.0±2.1 kg, 17.7±1.6%, 1202.0±15.0 secであった(表1)。

表1 Characteristics of subjects

subjects	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat (%)	1,500 m Best time (sec)
A	23.9	170	68.4	21.2	1215.0
B	19.0	172	59.8	12.4	1145.0
C	25.1	171	68.7	20.5	1220.0
D	22.7	173	58.5	15.9	1200.0
E	21.8	176	64.7	18.5	1230.0
mean	22.5	172.4	64.0	17.7	1202.0
SEM	1.0	1.0	2.1	1.6	15.0

### 1.2 実験方法

実験は平成7年8月中旬から9月上旬の期間に、被験者が日頃トレーニングを行っている屋外25mプールで行った。水温2種類、泳速3種類の条件で1,500m自由形を行わせた。水温は競技規則に定められている26℃と室内プールや夏期の屋外プールを想定した30℃の2種類の水温、泳速は被験者の1,500m自由形ベスト記録の90%、95%、97.5%の泳速度とした。一人の被験者が6種類の条件(2水温×3泳速)で泳ぐことになるので、実験の順序は調整したプールの水温にあわせて行い、泳速の順序については被験者自身の希望により行った。また、泳途中で泳速の変化による影響を最小限に押えるために、被験者に対してイーブンペースで泳ぐように指示した。

測定項目は1,500mの記録(50mごとのラップタイム)、体温(口腔温度)、心拍数、自覚的運動強度(RPE: Rating of Perceived Exersion)<sup>17)</sup>および体重減少から求めた発汗量であった。実験の手順は図1に示されるようにまずプールサイド(陸上)での20分の安静後、体温、心拍数(30秒間)、体重を測定した。その後入水し10分間(約400m)のウォームアップを行わせた後で体温、心拍数(10秒)を水中にて測定した。測定後1,500m泳を行わせ、泳直後の体温、心拍数(10秒)、RPEを水中にて測定し、退水直後に再び体重の測定を行った。

ウォームアップ後と1,500m自由形泳直後の口腔温度の差を体温変化量とした。発汗量(g/kg)

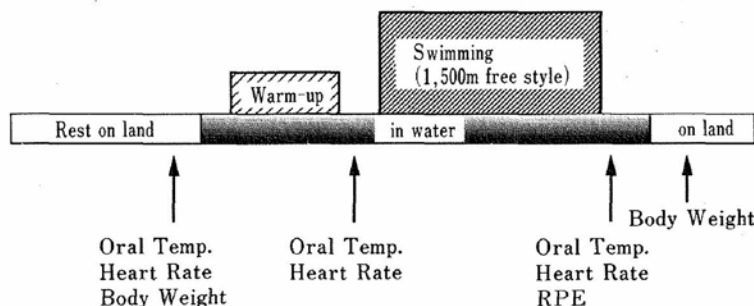


図1 Experimental procedure

は泳前後の体重差を各被験者の入水前の体重で除し、さらに1,000を乗じた値とした。口腔温度は電子体温計(C102, TERUMO)を用い、測定時間は5分間とした。体重はデジタル体重計(UC-300, A & D)を用い水着1枚で測定した。体重測定においては、泳前後の測定条件をできる限り一定にするために、入水前に一度入念にシャワーを浴びさせたくうで身体に付着した水分のふき取りを行わせ、泳直後でも同様のふき取りを行わせてから測定した。心拍数は被験者自身が頸動脈触診法によって測定した。

### 1.3 統計処理

すべてのデータは水温、泳速度別に平均値および標準誤差を求めた。各条件間の差の検定には分散分析を用い、本研究における統計的有意水準は5%とした。

## 2. 結果

### 2.1 水温

実験期間中の水温は26℃と30℃になるように調整を行った結果、それぞれ26.4±0.1℃と29.2±0.2℃であった。

### 2.2 泳速度

泳速度は被験者ごとにベストタイムを基準に算出した泳速度(90, 95, 97.5%)で泳がせた結果、26.4℃の場合、90.6±0.2%, 95.0±0.1%, 97.5±0.1%, 29.2℃の場合、90.4±0.3%, 95.1±0.2%, 97.5±0.2%と設定した泳速度にほぼ等しかった。さらに50mごとのラップタイムの変動係数も0.01~0.02と小さかった。

### 2.3 心拍数

図2は泳直後の心拍数について、各水温、泳速度の条件ごとの平均値、標準誤差をプロットしたものである。泳速度の遅い順に26.4℃の場合、135.6±8.6 bpm, 147.6±7.0 bpm, 164.4±2.4 bpm, 29.2℃の場合、140.4±5.2 bpm, 157.2

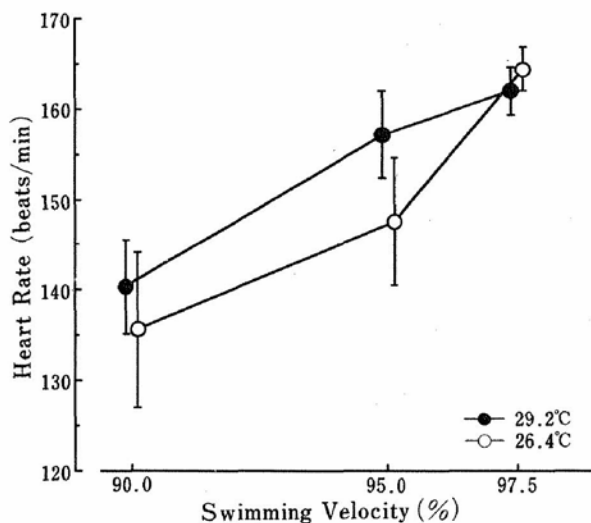


図2 Heart rate during swimming at three submaximal velocity in 26.6°C and 29.2°C. There was significant effect of swimming velocity. Values are mean±SEM

±4.8 bpm, 162.0±2.7 bpmであった。90%および95%泳速時に29.2°Cの条件下で高い傾向にあったが、分散分析の結果、泳速による主効果のみ認められ、多重比較の結果、95%、97.5%泳速時よりも90%泳速時の心拍数が有意に低かった。

2.4 RPE

図3は泳直後のRPEについてプロットしたものである。泳速順に26.4°Cの場合、12.8±0.5, 13.8±0.7, 15.4±0.5, 29.2°Cの場合、11.2±0.2, 13.0±0.5, 15.8±0.4であった。分散分析の結果、泳

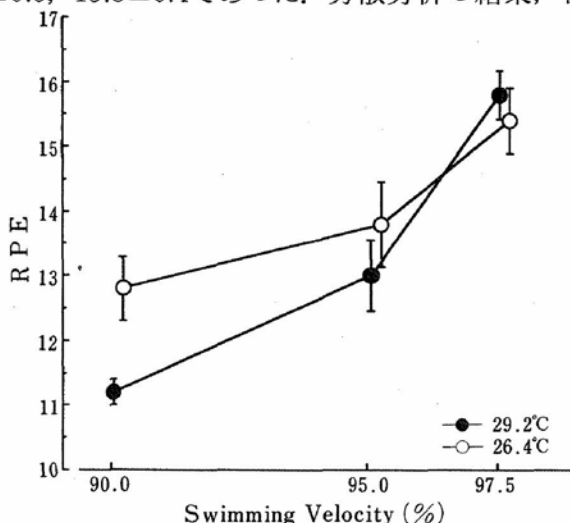


図3 RPE during swimming at three submaximal velocity in 26.6°C and 29.2°C. There was significant effect of swimming velocity. Values are mean±SEM

速による主効果のみ認められた。多重比較の結果、いずれの組み合わせにおいても有意な差が認められ泳速の増加に伴ってRPEが上昇した。

2.5 体温変化

図4は泳前後の体温変化量を示したものである。泳速順に26.4°Cの場合、0.34±0.09°C, 0.56±0.14°C, 0.96±0.07°C, 29.2°Cの場合、0.34±0.07°C, 0.70±0.05°C, 0.88±0.08°Cであった。分散分析の結果、心拍数、RPEと同じく泳速による主効果のみ認められた。多重比較の結果、いずれの組み合わせにおいても有意な差が認められ、泳速増加に伴って体温変化量が増加した。

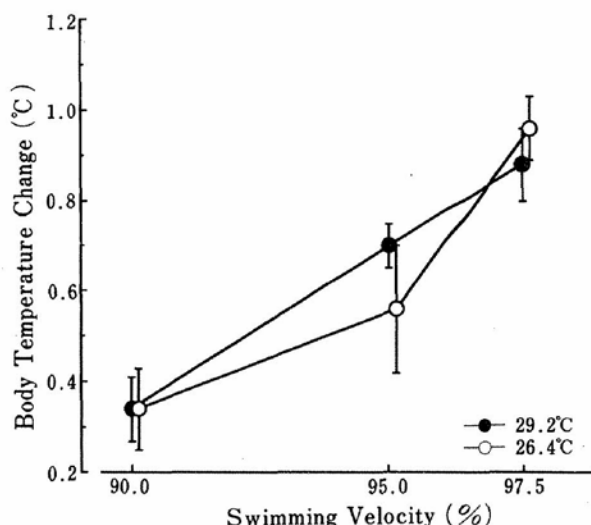


図4 Body temperature change during swimming at three submaximal velocity in 26.6°C and 29.2°C. There was significant effect of swimming velocity. Values are mean±SEM

2.6 発汗量 (体重減少量)

図5は泳前後の発汗量を示したものである。泳速順に26.4°Cの場合、2.73±0.45 g/kg, 4.43±0.79 g/kg, 5.04±1.03 g/kg, 29.2°Cの場合、4.32±0.84 g/kg, 7.09±1.57 g/kg, 7.16±1.95 g/kgであった。分散分析の結果、泳速および水温による主効果が認められた。多重比較の結果、泳速では90%泳速時と97.5%泳速時の間に有意な差が認められ、泳速の上昇に伴い、また水温が高いほど

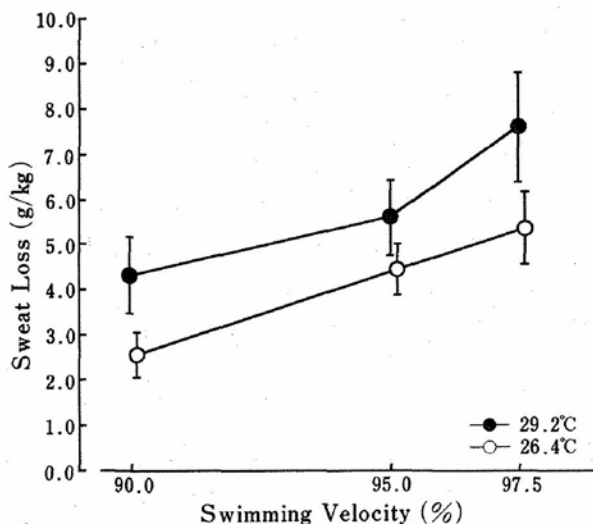


図5 Sweat loss during swimming at three submaximal velocity in 26.6°C and 29.2°C. There was significant effect of swimming velocity and water temperature. Values are mean±SEM

発汗量が多くなった。

### 3. 考察

流水プールでは機能的に泳速を一定に保つことができ、水温の調節も可能であるので、被験者に対して一定の運動負荷と水温の条件を与えることができる。本研究ではできるだけ実際の練習場面に近い状況での資料を収集するために、通常の練習が行われている屋外プールで実験を行った。その結果、水温については当初計画した水温よりもやや上下した水温 (26.4±0.1°C, 29.2±0.2°C) になったが、泳速についてはいずれの条件においてもほとんど設定どおりの泳速で、50 m ごとのラップタイムも安定していたので、流水プールでの実験とほぼ同じ運動負荷 (泳速) であったと考える。また、泳直後の心拍数 (図2), RPE (図3) も泳速に応じて増加していることから十分な運動負荷であったと考えられるとともに、水泳においてもRPEが生体にかかる負担度を表す指標になり得る<sup>10)</sup> と考えられる。

運動中の体温は環境温 (5~30°C) に左右され

ず運動強度に依存し<sup>10)</sup>、さらに運動強度の絶対値よりも相対値により強く相関する<sup>10)</sup>。Mougiou and Deleigiannis<sup>12)</sup> の報告では、20.0°C, 26.0°C, 32.0°Cの水温下で最大下泳 (30分泳) ではパフォーマンス、心拍数そして乳酸蓄積において水温の影響がみられなかった。本研究においても、心拍数、RPE、体温変化量は水温による影響は認められず、泳速度 (運動強度) の違いによる有意差が認められ、泳速度の上昇に伴い増大した (図4)。

一方、Costillら<sup>3)</sup> は、17.4°C, 26.8°C, 33.1°Cの水温で心拍数150 bpmの強度の平泳ぎを20分間行わせた結果、酸素摂取量には差が認められなかったが、直腸温度の上昇は水温が低いほど小さく、深部温の上昇は水温と関連することを報告しており、本研究の結果とは異なる。発汗量 (体重減少量) は泳速および水温による有意な違いが認められ、泳速が速いほど、また水温が高いほど発汗量が多くなった (図5)。水温の違いによる体温変化量に有意な差がみられなかったのは、本研究での水温 (29.2°C) が、Costillら<sup>3)</sup> の報告 (33.1°C) と比較して低く、また設定した2つの水温の差も小さかったことによるものと考えられる。このことから水温26.4~29.2°Cの範囲での最大下泳中の体温上昇は水温よりも泳速度 (運動強度) に依存するものと考えられる。また、水温29.2°Cでの発汗量は26.4°Cでの発汗量と比較して有意に多かったが、一般に水中での発汗は体温調節にとっては無効発汗となるので発汗様式など今後の詳しい検討が必要である。

水温30°C前後での水泳練習中の発汗量は5 g/kg/h程度で練習内容 (運動強度) によっては初期体重の2%に達する場合もある<sup>21,22)</sup>。Robinson and Somers<sup>18)</sup> は、泳速1.20 m/sec, 水温29.2°Cで1時間泳を行ったときの発汗量は607 g/hで、さらに32.2°C, 33.4°Cではそれぞれ1036, 1100 g/hであったと報告している。本研究で水温29.2°C, 97.5%強度での水泳中の発汗量は初期体重当たり

7.6 g/kg であり, 1 時間あたりに換算すると約 23 g/kg/h (1430 g/h, 初期体重の 2.3%) となる。

これは短時間でかなりの発汗量であり, 脱水を防ぐ意味でも無視できない量であると考えられる。

これらのことから, 水温が 30°C 前後あるいはそれ以上の環境において運動強度の強い (泳速度の大きい) 水泳を行うと急激に産熱量が増加して, 放熱量を上回り体温が上昇するものと考えられるので, 水泳中の脱水予防と過度の体温上昇を抑えるために発汗に応じた水分摂取が必要であることが示唆された。

#### 4. ま と め

本研究は水温, 泳速度が発汗量および体温変化に及ぼす影響を検討することを目的とした。実験は水温 2 種類 (26.4°C, 29.2°C), 泳速 3 種類 (被験者の 1,500 m 自由形ベスト記録の 90%, 95%, 97.5% の泳速度) の条件で 1,500 m 自由形を行わせた。その結果, 心拍数, RPE 体温変化では, 泳速 (運動強度) による有意な差が認められ, いずれも泳速によって上昇することが認められたが, 水温による有意な変化は認められなかった。発汗量は泳速, 水温いずれにおいても有意な差が認められ泳速の上昇に伴い, また水温が高いほど発汗量が多くなった。以上の結果より, 水泳中の体温変化は水温よりも泳速に影響されると考えられるが, 水温が高くなると発汗量が増えるので, 運動強度の強い (泳速度の大きい) 水泳では, 水泳中の脱水予防と過度の体温上昇を抑えるために発汗に応じた水分摂取が必要であることが示唆された。

#### 謝 辞

本研究において, 実験の被験者としてご協力いただいた水泳部員の方々に, 深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) Colye, E. F., Montain, S. J.; Benefits of replacement with carbohydrate during exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **24** (9), 324-330 (1992)
- 2) Cooper K. E., S. Martin, P. Riben; Respiratory and other responses in subjects immersed in cold water, *J. Appl. Physiol.*, **40** (6), 903-910 (1976)
- 3) Costill, D. L., P. J. Cahill, D. Eddy; Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **22** (4), 628-632 (1967)
- 4) Craig A. B. Jr., M. Dvorak; Thermal regulation during water immersion, *J. Appl. Physiol.*, **21** (5), 1577-1585 (1966)
- 5) Craig, A. B., Jr., M. Dvorak; Thermal regulation of man exercising during water immersion, *J. Appl. Physiol.*, **25** (1), 28-35 (1968)
- 6) 藤島和孝, 大柿哲朗, 堀田 昇, 金谷庄蔵, 清水富弘, 正野知基; 長時間水泳時での水温条件が生理的諸反応に及ぼす影響, *デサントスポーツ科学*, **14**, 201-208 (1993)
- 7) Gisolfi, C. V., Duchman, S. M.; Guide-line for optimal replacement beverage for different athletic events, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **24** (6), 679-687 (1992)
- 8) Holmér, I. U. Bergh; Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **37** (5), 702-705 (1974)
- 9) Maughan, R. J., Noakes, T. D.; Fluid replacement and exercise stress, *Sports Med.*, **12** (1), 16-31 (1991)
- 10) Millard-Stafford, M.; Fluid replacement during exercise in the heat - review and recommendations, *Sports Med.*, **13** (4), 223-233 (1992)
- 11) 宮下充正, 小野寺孝一; 水泳における Rating of Perceived Exertion, *体育科学*, **6**, 96-99 (1978)
- 12) Mougios, V., A. Deleigiannis; Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity, *J. Sports Med. Physical Fitness*, **33**, 27-33 (1993)

- 13) Nadel, E. R., I. Holmér, U. Bergh, P. -O. Åstrand, J. A. J. Stolwijk; Energy exchanges of swimming man, *J. Appl. Physiol.*, **36**, 4, 465-471 (1974)
- 14) Nielsen, M.; Die regulation der körpertemperatur bei muskellarbeit, *Skand. Arch. Physiol.*, **79**, 193-230 (1938)
- 15) 日本水泳連盟編; 新水泳指導教本, 大修館, 東京, 83 (1994)
- 16) 日本水泳連盟科学技術委員会編; 水泳医学百科, 南江堂, 東京, 184 (1987)
- 17) 小野寺孝一, 宮下充正; 全身持久性運動における主観的運動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*, **21**, 191-203 (1976)
- 18) Robinson, S., A. Somers; Temperature Regulation in swimming, *J. Physiol., Paris*, **63**, 406-409 (1971)
- 19) Saltin, B., Hermansen, L.; Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **21** (6) (1966)
- 20) 清水富弘, 藤島和孝, 正野知基; 低水温下の長時間水泳における保温ベルトの効果, *九州体育学研究*, **6** (1), 15-20 (1992)
- 21) Taimura, A., M. Sugahara; Weight loss and sweat loss during swimming exercise in age group swimmers: A field study, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **26** (5), 212 (1994)
- 22) 田井村明博, 菅原正志; 水泳練習時の発汗量および水分摂取量, *九州体育学研究*, **9**, (1), 45-52 (1995)