

# 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

九州大学 藤島和孝  
(共同研究者) 同 大柿哲朗  
同 堀田 昇  
同 金谷庄藏  
大分大学 清水富弘  
別府女子短期大学 正野知基

## The Effect of Water Temperature on the Physiological Response to Prolonged Swimming

by

Kazutaka Fujishima, Tetsuro Ogaki,  
Noboru Hotta, Syozo Kanaya  
*Institute of Health Science,  
Kyushu University*  
Tomihiro Shimizu  
*Faculty of Education, Oita University*  
Tomoki Shono  
*Beppu Women's Junior College*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the thermoregulatory, cardiorespiratory and hormonal responses to low intensity prolonged swimming at three different water temperatures.

Six male college swimmers participated in this study. Actual experiments consisted of breast stroke swimming for 120 minutes in

23°C, 28°C and 33°C water at a constant speed of 0.4 m/sec in a swimming flume. Rectal temperature ( $T_{re}$ ), skin temperatures, heart rate (HR), oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2}$ ) and hormonal responses were measured.

The results are summarized as follows:

1)  $T_{re}$  in water of 33°C increased gradually after the latent period for about 10 minutes until 30 minutes after the start of swimming, and afterward, kept at an approximate steady state to the end of swimming.  $T_{re}$  in water of 23°C and 28°C decreased gradually until about 30 minutes after the start of swimming, and afterward, dropped slightly until the end of swimming.

2) Mean skin temperature ( $\bar{T}_{sk}$ ) in water 33°C increased gradually until about 15 minutes after the start of swimming, and afterward, stayed at an approximate steady state to the end of swimming.  $\bar{T}_{sk}$  in water of 23°C and 28°C dropped rapidly after the start of swimming, and afterward, stayed at an approximate steady state until the end of swimming, respectively.

3) HR in water of 23°C and 33°C increased in comparison with that in the 28°C water.  $\dot{V}_{O_2}$  and oxygen pulse in water of 23°C were higher than in water of 28°C and 33°C.

4) Noradrenaline and blood lactate concentrations were higher in the 23°C water than in water of 28°C and 33°C.

These results suggest that a relative warm water, above 28°C, may be desirable when prolonged swimming or other water exercise is performed at low intensity.

## 要 旨

本研究は、低強度負荷による長時間水泳時での、水温と生理的諸反応との関係について検討した。健康な男子大学生6名を対象に、水温は23°C、28°Cおよび33°C下で、120分間の水泳中での直腸温、各部皮膚温、心拍数、酸素摂取量および血中の乳酸・アドレナリン・ノルアドレナリンを測定・分析した。

直腸温は、33°C下では、水泳開始約30分後ま

では数分間の潜伏期を経てやや上昇し、その後は負荷終了時までほぼ定常状態を維持し、23°Cおよび28°Cでは経時的に低下した。平均皮膚温は、33°C下では水泳開始約15分後までは経時的に上昇し、その後は負荷終了時までほぼ定常状態を維持した。23°Cおよび28°C下では、水泳開始直後の数分間は一過性に下降し、その後、負荷終了時までほぼ定常状態を維持した。

心拍数は、23°Cおよび33°C下では28°C下に比較して高かった。酸素摂取量および酸素脈は、

23°C 下では 28°C および 33°C 下に比較して高値を示した。

23°C 下での、血中のノルアドレナリンおよび乳酸濃度は、28°C および 33°C 下に比べて、いずれも高い傾向を示した。

これらの結果は、遠泳などの長時間水泳や、その他の水泳運動が、低強度で実施される場合には、低水温よりもむしろ 28°C 以上の水温が望ましいことを示唆している。

## 緒 言

学校現場などで古くから行われている遠泳は、現代もなお臨海教育や、自然教育の目的で実施される集団生活行事の中心的なプログラムとして位置づけられている<sup>13)</sup>。また最近では、水泳や水中運動は単にスポーツの競技だけでなく、健康の維持・増進のための運動としても注目されており、年齢を問わずその愛好者も多い。

ところで、水泳指導（プール）での水温に関しては、厚生省基準で 22°C 以上<sup>12)</sup>、日本赤十字社では 23°C 以上<sup>11)</sup>とされている。また、日本水泳連盟競技規則には、「競技を行う水温は、最低 24°C 以上に保つこと」と規定されている<sup>24)</sup>。しかし、これらの水温は、あくまでも最低の基準を定めているのであって、水温条件によっては、泳者のパフォーマンスを左右<sup>1,9,10)</sup>し、また泳者が生理的に危険な状態に陥ることもあると考えられる。

水中環境下での運動は、水の物理的特性、とくに水温条件によって、生体に及ぼす生理的諸反応が異なる。中・高強度による水泳運動時での水温差と生体反応については、種々の報告がみられる<sup>2,4,6-8,14-16,18,20,21)</sup>。しかし、低強度での水温と生体反応との関係に言及した報告は、ほとんどみられない。

本研究の目的は、低強度負荷による長時間水泳時での水温と体温

調節反応、呼吸・循環応答、血液生化学的指標およびホルモン応答との関係を明らかにし、水温が生体に及ぼす影響を検討することである。

## 1. 方 法

### 1.1 被験者

被験者は年齢 18～21 歳で、水泳部に所属し、日常定期的な水泳トレーニングを行っている男子大学生 6 名とした。被験者の身体的特性は、表 1 に示すとおりである。

### 1.2 実験条件

回流水槽「スイム・マスター」(ジャパンアクアテック社製)を用いて、水温は 23°C (23.49 ± 0.18°C)、28°C (27.83 ± 0.19°C) および 33°C (33.53 ± 0.28°C) の三種類とし、流速は 0.4 ± 0.5 m/sec に設定した。水泳開始前に水中で 10 分間の安静状態の後、それぞれ平泳ぎ泳法で 2 時間の負荷とした。実験の実施時期は、28°C および 33°C の条件下では 7 月下旬、23°C 下では 10 月中旬とした。

### 1.3 測定項目とその方法

水中安静時ならびに水泳時での直腸温 (Tre)、各部皮膚温、心拍数 (HR)、酸素摂取量および血中の乳酸・アドレナリン・ノルアドレナリンを測定・分析した。

直腸温および胸部・上腕部・大腿部の皮膚温は、「多目的携帯用情報記録装置 VMM-67」(ヴァイン社製、トーヨーフィジカル社製)を用いて、それぞれ 1 分ごとに連続記録した。平均皮膚温 ( $\bar{T}_{sk}$ ) は、 $\bar{T}_{sk} = 0.43 \times \text{胸部} + 0.25 \times \text{上腕部}$

表 1 Physical Characteristics of Subjects

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	%Fat* (%)	$\dot{V}_{O_2 \max}$ (in water) (ml/min)	(ml·kg·min)
Mean	19.8	168.6	66.75	13.2	3628	53.9
S.D.	0.9	1.9	3.88	3.4	228	2.4

\*%Fat was estimated by under water weighing method

+ 0.32 × 大腿部<sup>23)</sup>から算出した。また平均体温 ( $\bar{T}_b$ ) は、 $\bar{T}_b = 0.67 \times \bar{T}_{re} + 0.33 \times \bar{T}_{sk}$  から算出した。なお、皮膚温測定は、「体表用断熱カバー」(日本光電工業社製) および「トランスパレントIVドレッシング」(3M社製)を用いて、測定部位への浸水を防いで行った。

心拍数は、胸部双極誘導法による心電図を「心電図監視記録装置 DS-882」(フクダ電子社製)に無線搬送し、そのアナログ信号を呼気ガス分析器に入力して、1分ごとに算出した。さらに心電図は、「ホルター式心電図記録装置 SM-26」(フクダ電子社製)に記録し、それを再生して心拍数を確認した。

酸素摂取量は、「自動呼気ガス分析器 AE 10」(ミナト医科学社製)を用いて、30分ごとに5分間ずつ測定した。

## 2. 結果

### 2.1 体温反応

各種水温下での直腸温、平均皮膚温および平均体温の変動は、図1、図2および図3に示した。

水泳中の直腸温 ( $T_{re}$ ) は、33°C 下では、水泳開始約30分後までは数分間の潜伏期を経てやや上昇し、その後は負荷終了まではほぼ定常状態を維持した。23°C および 28°C 下では、水泳開始約30分

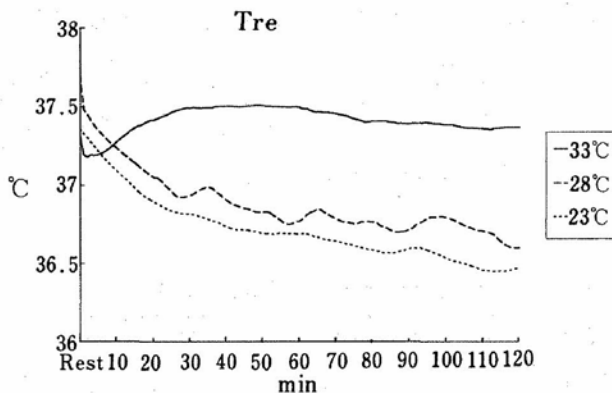


図1 Changes in rectal temperature ( $T_{re}$ ) during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

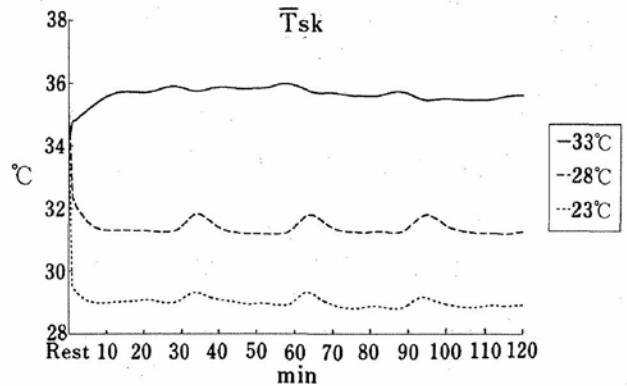


図2 Changes in mean skin temperature ( $\bar{T}_{sk}$ ) during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

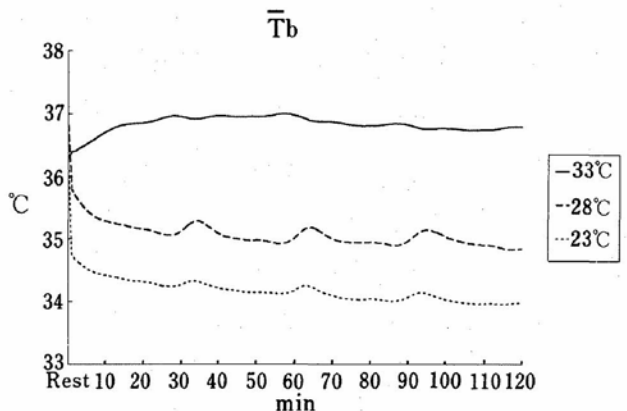


図3 Changes in mean body temperature ( $\bar{T}_b$ ) during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

間は一過性に下降し、その後は経時的に低下傾向を示した。2時間の水泳中での  $T_{re}$  の変動は、入水前値に比較して、33°C 下では 0.06°C の上昇でほとんど変化がみられなかった。23°C および 28°C 下では、平均 0.72°C および 0.76°C それぞれ下降した。

水泳中の平均皮膚温 ( $\bar{T}_{sk}$ ) は、33°C 下では、水泳開始約15分後までは経時的に上昇し、その後は負荷終了まで、ほぼ定常状態を維持した。23°C および 28°C 下では、水泳開始直後の数分間は一過性に下降し、その後、負荷終了まではほぼ定常状態を維持した。2時間の水泳中での  $\bar{T}_{sk}$  の変動は、入水前値に比較して、33°C 下では 1.38°C の上昇を示した。23°C および 28°C 下では、平均

4.98°C および 3.62°C それぞれ下降した。

水泳中の平均体温 ( $\bar{T}_b$ ) は、33°C 下では、水泳開始時にみられた数分間の潜伏期を除いては、 $\bar{T}_{re}$  と  $\bar{T}_{sk}$  の変動と同様なパターンを示した。23°C および 28°C 下では、水泳開始直後の数分間は  $\bar{T}_{sk}$  の変動を反映し、その後は  $\bar{T}_{re}$  と  $\bar{T}_{sk}$  の変動と同様なパターンを示した。2 時間の水泳中での  $\bar{T}_b$  の変動は、入水前値に比較して、33°C 下では 0.50°C の上昇を示した。23°C および 28°C 下では、平均 2.13°C および 1.70°C それぞれ下降した。

## 2.2 心拍応答および酸素摂取量

各種水温下での心拍数、酸素摂取量および酸素脈の変動は、図4、図5および図6に示した。

水泳中の心拍数は、各水温下とも水泳開始約 30

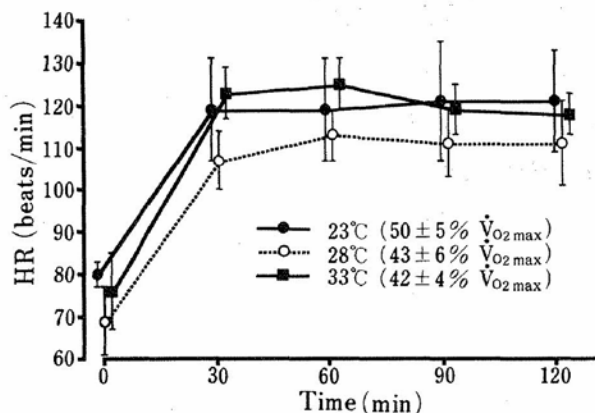


図4 Changes in heart rate (HR) during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

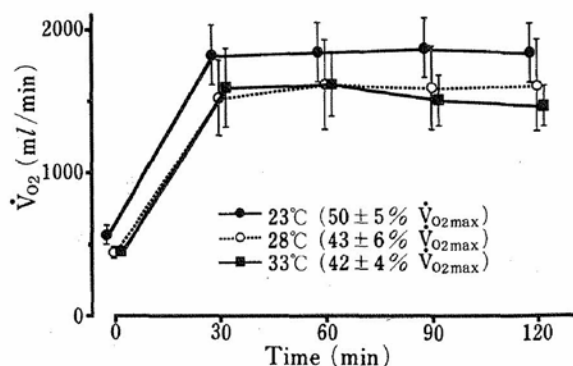


図5 Changes in oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2}$ ) during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

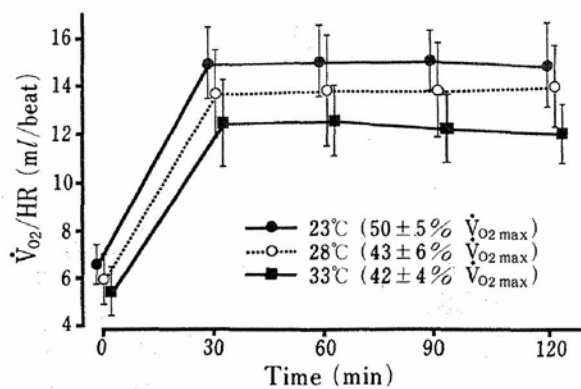


図6 Changes in  $\dot{V}_{O_2}/HR$  during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

分後までは経時的に増加し、その後は負荷終了まではほぼ定常状態を維持した。23°C および 33°C 下での心拍数は、水泳開始前値に比較して、ほぼ同じ増加率を示し、28°C 下でのそれに比べて、いずれも高値であった。

水泳中の酸素摂取量および酸素脈は、各水温下とも水泳開始約 30 分後までは経時的に増加し、その後は負荷終了まではほぼ定常状態を維持した。23°C 下での酸素摂取量および酸素脈は、28°C および 33°C 下に比べて、いずれも高値を示した。なお、最大酸素摂取量 ( $\dot{V}_{O_{2max}}$ ) をもとに算出した、各種水温下での相対的運動強度 (%) は、23°C 下で  $50.0 \pm 4.9$ 、28°C 下で  $42.9 \pm 6.3$ 、33°C 下で  $41.8 \pm 3.9$  であった。

## 2.3 血中の乳酸、アドレナリンおよびノルアドレナリン

各種水温下での血中の乳酸、アドレナリンおよびノルアドレナリンの変動は、図7、図8および図9に示した。

23°C 下での水泳中の血中乳酸は、安静時より増加し、28°C および 33°C 下に比べて、いずれも高値を示したのに対して、28°C および 33°C 下では大きな変動はみられなかった。

水泳中のアドレナリンの変動には、水温条件による顕著な差がみられなかった。

23°C 下での水泳中のノルアドレナリンは、安静

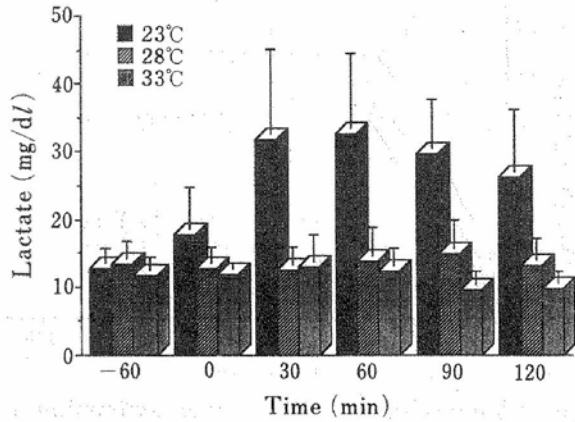


図7 Mean concentrations of lactate at rest and during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

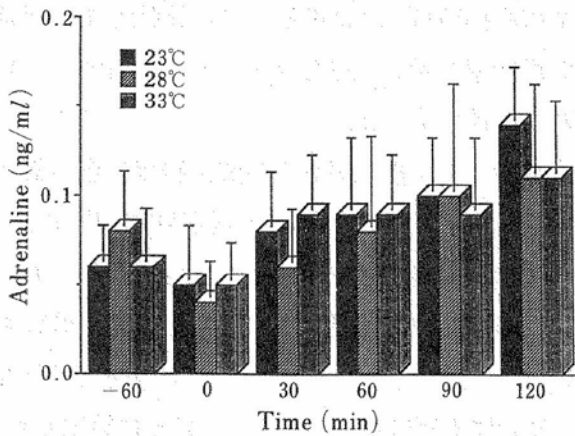


図8 Mean concentrations of adrenaline at rest and during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

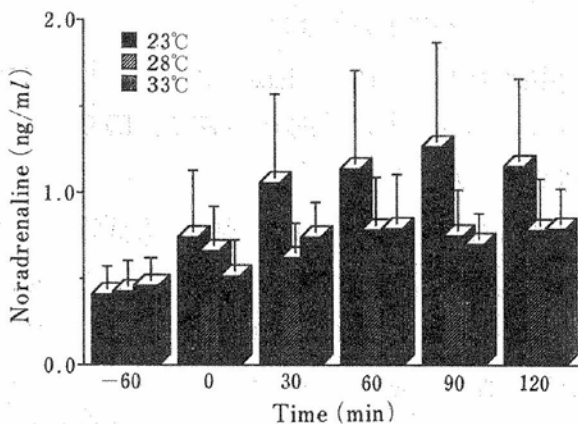


図9 Mean concentrations of noradrenaline at rest and during swimming in water of 23°C, 28°C and 33°C

時に比べて経時的に増大し、28°C および 33°C 下ではやや増加した。

### 3. 考 察

水温 33°C 以下での水泳開始時に、直腸温 (Tre) の潜伏期が観察されたが、皮膚温は上昇した。このことは、皮膚血管拡張による体深部 (Core) から体表層部 (Shell) への一時的な熱移動を示唆している。一般的に、陸上での運動開始時では、直腸温と皮膚温の潜伏期がみられる。これは運動刺激にともなう皮膚血管収縮によって、冷却された静脈血が一時的に体表層部 (Shell) から体深部 (Core) に移動するためであると解釈されている<sup>17,19)</sup>。

本実験から得られた、2 時間の水泳時での Tre の変動は、33°C 下では不変であり、産熱と放熱のバランスが維持されているのに対して、23°C および 28°C 下では下降し、産熱より水の伝導による熱損失が大きいことを示唆している。Craig と Dvorak<sup>3)</sup> ならびに Pugh と Edholm<sup>22)</sup> も同様の報告をしている。

一方、Galbo ら<sup>6)</sup> は、 $\dot{V}_{O_{2max}}$  の 68% に相当する強度で、60 分間の水泳時の実験結果から、直腸温の変化は水温 27°C および 33°C 下では上昇し、21°C 下では下降したと報告している。

本実験での  $T_{sk}$  の変動は、33°C 下では上昇し、末梢皮膚血管の拡張を示しており、逆に 23°C および 28°C 下では下降し、末梢血管収縮の誘発を示唆している。

このことは、23°C および 28°C 下では、水の伝導や対流による熱損失が大きいことを示唆している。Nielsen と Davies<sup>20)</sup> も同様の報告をしている。

本実験で観察された心拍数は、23°C および 33°C 下では、28°C 下でのそれに比べていずれも高値であった。このことは、23°C 下では、末梢血管収縮にともなう「ふるえ」を、また 33°C 下で



は、末梢血管拡張にともなう静脈還流の低下を示唆している。これは Holmer と Bergh<sup>9)</sup> が報告している水温 16°C および 34°C 下での、低強度負荷による水泳時の結果と同様であった。

本実験での酸素摂取量および酸素脈は、23°C では 33°C 下に比べて、いずれも高値を示した。Nielsen<sup>18)</sup> も水温差による同様な報告をしている。このことは、23°C 下では「ふるえ」や筋肉の緊張を意味していると思われる<sup>4)</sup>。

一方、33°C 下では、末梢血管の拡張にともなう一回拍出量の減少を示唆している。本実験でのノルアドレナリン濃度の変動は、23°C 下では、28°C および 33°C 下に比べて高い傾向を示した。これは、寒冷刺激にともなう交感神経の緊張によるものと考えられる。

Galbo ら<sup>6)</sup> は、21°C 下での水泳時のアドレナリンおよびノルアドレナリン濃度は、27°C および 33°C 下に比べて高値を示したと報告している。このことは、本実験成績と必ずしも一致しなかったが、運動強度の差によるものと思われる。水泳時の血中乳酸の変動は、23°C 下では、28°C および 33°C 下に比べて高値を示し、Galbo ら<sup>6)</sup> の結果とほぼ一致した。これは、寒冷刺激による「ふるえ」および末梢血流量の減少によるものと考えられる。

#### 4. 総括

水泳部に所属する男子大学生 6 名を対象に、回流水槽を用いて、水温は 23°C、28°C および 33°C 下で、低強度負荷による長時間水泳時での水温と体温調節反応、呼吸・循環応答、血液生化学的指標およびホルモン応答との関係を検討し、つぎのような結果を得た。

1) 直腸温は、33°C 下では、水泳開始時の潜伏期を経てやや上昇し、その後は、負荷終了時までほぼ平衡状態を維持した。23°C および 28°C 下では、水泳開始約 30 分間は一過性に下降し、その後

は経時的に低下傾向を示した。

2) 平均皮膚温は、33°C 下では、水泳開始約 15 分後までは経時的に上昇し、その後は負荷終了までほぼ定常状態を維持した。23°C および 28°C 下では、水泳開始直後の数分間は一過性に下降し、その後、負荷終了までほぼ定常状態を維持した。

3) 23°C および 33°C 下での心拍数は、28°C 下に比較して高値を示した。

4) 23°C 下での酸素摂取量、および酸素脈は、28°C および 33°C 下に比較して高値を示した。

5) 23°C 下での血中のノルアドレナリン、および乳酸濃度は、28°C および 33°C 下に比べて、いずれも高い傾向を示した。

これらの結果は、遠泳などの長時間水泳や、その他の水泳運動が低強度で実施される場合には、低水温よりもむしろ 28°C 以上の水温が望ましいことを示唆している。

#### 文 献

- 1) Bergh, U., Ekblom, B.; Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **46**, 885-889 (1979)
- 2) Costill, D. L., Cahill, P. J., Edy, D.; Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **22**, 628-632 (1967)
- 3) Craig, A. B., Jr., Dvorak, M.; Thermal regulation of man exercising during water immersion, *J. Appl. Physiol.*, **25**, 28-35 (1968)
- 4) Craig, A. B., Jr., Dvorak, M.; Comparison of exercise in air and in water of different temperatures, *Medicine and Science in Sports*, **1**, 124-130 (1969)
- 5) Gagge, A. P., Nishi, Y.; Heat exchange between human skin surface and thermal environment. Handbook Physiology, Reactions to Environment Agent, *Am. Physiol. Soc., Bethesda, Md.* 69-72 (1977)
- 6) Galbo, H., Houston, M. E., Christensen, N. J., Holst, J. J., Nielsen, B., Nygaard, E., Suzuki, J.; The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming,

- Acta Physiol. Scand.*, **105**, 326-337 (1979)
- 7) Holmér, I.; Oxygen uptake during swimming in man, *J. Appl. Physiol.*, **33**: 502-509 (1972)
  - 8) Holmér, I., Stein, E. M., Stein, B., Ekblom, B., Åstrand, P.-O.; Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running, *J. Appl. Physiol.*, **37**, 49-54 (1974)
  - 9) Holmér, I., Bergh, U.; Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **37**, 702-705 (1974)
  - 10) 甲斐美和子; 水中での体温変化, *Jpn. J. Sports Sci.*, 7-8, 505-509 (1988)
  - 11) 小島祐嘉, 本田 坦, 佐藤忠義; 赤十字水上安全講習教本, 日本赤十字社編, 日赤出版普及会, 東京, 45-65 (1979)
  - 12) 厚生省環境衛生局; 遊泳用プールの維持管理基準について (1971)
  - 13) 村川俊彦, 今村 修; 臨海学校のプログラムに関する一考察, 東海大学紀要体育学部, **14**, 21-31 (1984)
  - 14) McArdle, W. D., Magel, J. R., Lesmes, G. R., Pechar, G. S.; Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33°C, *J. Appl. Physiol.*, **40**, 85-90 (1976)
  - 15) McArdle, W. D., Toner, M. M., Magel, J. R., Spina, R. J., Pandolf, K. B.; Thermal responses of man and women during cold-water immersion: influence of exercise intensity, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **65**, 265-270 (1992)
  - 16) Nadel, E. R., Holmér, I., Bergh, U., Astrand P. O., Stolwijk, J. A. J.; Energy exchange of swimming man, *J. Appl. Physiol.*, **6**, 465-471 (1974)
  - 17) Nadel, E. R., Cafarelli, E., Roberts, M. F., Wenger, C. B.; Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **46**, 430-437 (1979)
  - 18) Nielsen, B.; Metabolic reactions to cold during swimming at different speeds, *Arch. Sci. Physiol.*, **27**, A 207-A 211 (1973)
  - 19) Nielsen, B.; Metabolic reactions to changes in core and skin temperature in man, *Acta Physiol. Scand.*, **97**, 129-138 (1976)
  - 20) Nielsen, B., Davies, C. T. M.; Temperature regulation during exercise in water and air, *Acta Physiol. Scand.*, **98**, 500-508 (1976)
  - 21) Nielsen, B., Sjogaard, G., Bonde-Peterson, F.; Cardiovascular, hormonal and body fluid changes during prolonged exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **53**, 63-70 (1984)
  - 22) Pugh, L. G. C., Edholm, O. G.; The physiology of channel swimmers, *Lancet*, **2**, 761-768 (1955)
  - 23) Roberts, M. F., Wenger, C. B., Stolwijk, J. A. J., Nadel, E. R.; Skin blood flow and sweating changes following exercise training and acclimation, *J. Appl. Physiol.*, **43**, 133-137 (1977)
  - 24) 財団法人日本水泳連盟規則集; 競技規則編, 競泳競技規則第13条4 (1987)