

## 低水温下における着衣泳の体温調節反応と主観的応答

清水 富弘\*\* 藤島 和孝\*\* 大柿 哲朗\*\*  
堀田 昇\*\* 金谷 庄藏\*\* 田井村 明博\*\*\*  
上田 毅\*\*\*\* 胡 泰志\*\*\*\*\* 乙木 幸道\*\*\*\*\*  
洲 雅明\*\*\*\*\* 正野 知基\*\*\*\*\*

(平成9年11月14日受理)

### 要 旨

本研究は、低水温下での競泳用水着装着時の水泳（水着泳）時と着衣での水泳（着衣泳）時の体温調節反応および主観的応答を比較検討した。被験者は大学の水泳部に所属し、1日2時間、週3日程度の定期的な水泳活動を行っている健康な男子大学生6名であった。水泳時の条件は回流水槽で平泳ぎ泳法、水温21℃、泳時間30分とした。運動強度は50% $\dot{V}O_2\max$ レベルに相当する泳速度に設定した。着衣泳時には綿100%のトレーナー、トレーニングパンツおよびトレーニングシューズを統一して着用した。

直腸温は、着衣泳では水泳開始14分まで漸増し1.08℃上昇したあと、約38.0±0.2℃を呈し泳終了まで定常状態を保った。水着泳は泳開始後直ちに0.33℃ほど上昇したあと漸減し、30分後には開始時から0.45℃低下した。直腸温には時間経過および条件間の統計学的有意差は認められなかった。胸部皮膚温および上腕部皮膚温は、着衣泳、水着泳ともに泳直後から一過性に低下した。胸部、上腕部ともに時間経過に伴う体温低下に有意差は認められたが、条件間に統計学的有意差は認められなかった。大腿部皮膚温では、両条件とも泳開始直後から7分後間に急速に低下現象を示し、入水時を起点として、水着泳で最大6.55℃（30分後）、着衣泳で最大4.86℃（28分後）低下し、時間経過、条件間ともに有意差が認められた。平均体温は、着衣泳、水着泳ともに時間経過に伴って有意な低下傾向を示したが、条件間に有意差は認められず、入水時を起点として、水着泳で最大2.92℃（30分後）、着衣泳で最大2.24℃（28分後）低下した。

### KEY WORDS

Clothed swimming 着衣泳    Body temperature 体温    RTS 主観的溫度感覺  
RPE 主観的運動強度

- 
- \* 生活・健康系教育講座
  - \*\* 九州大学
  - \*\*\* 長崎大学
  - \*\*\*\* 福岡県立大学
  - \*\*\*\*\* 広島大学
  - \*\*\*\*\* 九州情報大学
  - \*\*\*\*\* 大分県立芸術文化短期大学
  - \*\*\*\*\* 別府女子短期大学

## 緒 言

警察白書<sup>1)</sup>によれば、過去10年間における水難事故死者数は毎年1200名以上発生し、その約65%が着衣を装着した状態での事故であることから、今後の水難事故対策として着衣状態での水浸および水泳運動における生理的諸反応を検討することが求められている。また水難事故は、海、川、湖などの低水温環境下で比較的多く発生している。本研究は、競泳用水着装着時の水泳（水着泳）時と着衣での水泳（着衣泳）時における低水温下での体温調節反応および主観的応答を比較検討した。

## 方 法

### 1. 被 験 者

被験者は大学の水泳部に所属し、1日2時間、週3日程度の定期的な水泳活動を行っている健康な男子大学生6名であった。実験に先立ち被験者に実験内容を十分に説明し、全ての被験者から実験の同意を得た。被験者の身体的特性を Table1 に示した。

Table1. Physical characteristics of the subjects.

Name(Sex)	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	%Fat* (%)	$\dot{V}O_2\text{max}^{**}$ (L · min <sup>-1</sup> )	$\dot{V}O_2\text{max} \cdot \text{Wt}^{-1}$ (ml · min <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> )
EGU (m)	19.2	172.2	60.5	12.6	2.04	33.7
HON (m)	21.0	173.4	71.0	11.5	2.82	39.7
NAK (m)	20.1	174.3	67.6	17.6	2.72	40.2
NOZ (m)	25.5	160.0	60.9	17.2	2.15	35.3
ONO (m)	19.9	172.5	68.2	13.5	2.65	38.9
TAN (m)	20.3	172.4	63.4	10.5	3.48	54.9
Mean	21.0	170.8	65.2	13.8	2.64	40.5
SD	2.1	4.9	3.9	2.7	0.47	6.9

\*%Fat was estimated by skinfold thickness method.

\*\* $\dot{V}O_2\text{max}$  was measured by open circuit system during swimming in swimming flume.

### 2. 運動負荷条件および実験手順

水着泳 (Fig.1) および着衣泳 (Fig.2) に関する運動負荷設定には、全て回流水槽 ((株)ジャパンアクアテック社製「スイムマスター」) を使用した。水泳時の条件は平泳ぎ泳法、水温21℃、泳時間30分とした。運動強度は、本実験に先立ち回流水槽 (水着泳、平泳ぎ、水温26℃) で実施した最大運動負荷テスト (漸増負荷法) から求めた  $\dot{V}O_2\text{max}$  に対する50%レベルに相当する泳速度に設定した。着衣泳時には綿100%のトレーナー、トレーニングパンツおよびトレーニングシューズを統一して着用した。



Fig.1 Measurement of physiological responses during unclotted swimming.

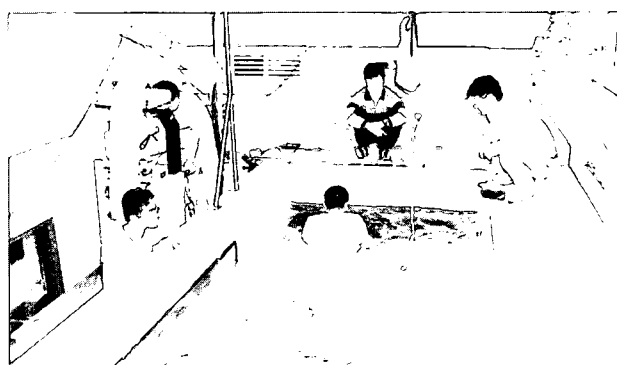


Fig.2 Measurement of physiological responses during clothed swimming.

実験の手順は、陸上で10分間の安静を保った後に回流水槽に入り、入水後直ちに水泳実験を開始した。実験直後は採暖室で被験者の体温回復を行った。被験者は1日に1回ほぼ同時時間帯に実験に参加し、異なる条件下での実験は日を変えて実施した。実験中の水温は $21.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ であり、実験中の室温および相対湿度はそれぞれ $27.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、 $55.0 \pm 0.8\%$ であった。

### 3. 測定および分析

体温は、胸部（前胸部）、上腕部（上腕外側部）、大腿部（前大腿部）の皮膚温および直腸温を陸上安静時から水泳終了時まで連続して測定した。測定には、多目的携帯用情報記録装置VMM-67（VINE社製）を用い1分毎に連続記録した。各部位皮膚温の測定には、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（スリーエム社製）を用い測定部分への浸水を防いだ。また直腸温は、体温測定用カニューレを直腸へ約15cm挿入し測定した。これらの測定値から平均体温（ $T_b$ ）を算出した。平均体温は Wilmore & Costill<sup>2)</sup>の〔 $T_b = (\text{平均皮膚温} \times 0.4) + (\text{直腸温} \times 0.6)$ 〕から算出した。また、平均皮膚温は Robertsら<sup>3)</sup>の〔 $T_{sk} = (\text{胸部皮膚温} \times 0.43) + (\text{上腕部皮膚温} \times 0.25) + (\text{大腿部皮膚温} \times 0.32)$ 〕から算出した。被験者の

主観的溫度感覚は、大道ら<sup>4)</sup>の RTS (Ratings of Thermal Sensation) を使用し「体表面 (RTS-Surface)」および「深部 (RTS-Core)」に区別して調査した。また被験者の主観的運動強度は、Borg<sup>5)</sup>の RPE (Ratings of Perceived Exertion) を使用し「呼吸の苦しさ (RPE-Respiration)」 「腕部のきつさ (RPE-Arms)」 「脚部のきつさ (RPE-Legs)」 「全身的なきつさ (RPE-Body)」 に区別して調査した。以上の実験プロトコールを Fig. 3に示した。

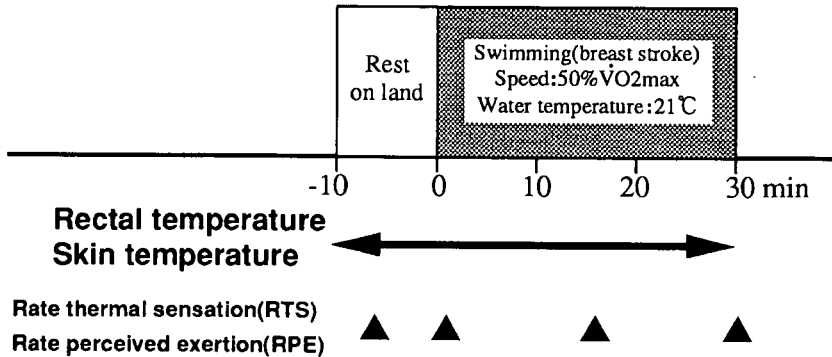


Fig.3. Experimental protocol.

#### 4. 統計処理

体温に関する測定結果は、まず各被験者ごとの毎分の値を調べ、データに欠損値や異常値がないことを確認して、水泳開始から終了時まで1分毎の被験者の平均値、標準偏差を算出した。時間経過および条件間比較(水着泳と着衣泳の平均値間の差の検定)には、Two-way Repeated-Measures ANOVA を用いた。有意水準は5%以下とした。

### 結 果

#### 1. 体 温

##### 1) 直 腸 温

直腸温のデータ分析は、水泳中に十分にセンサーが装着されていなかった可能性を示す1名の被験者を除いた5名のデータを用いた。直腸温 (Fig. 4) は、着衣泳が14分まで漸増し開始時から1.08℃上昇した後、約38.0±0.2℃で泳終了まで定常状態を保った。水着泳は泳開始後直ちに0.33℃ほど上昇した後漸減し、30分後には開始時から0.45℃低下した。時間経過および条件間の統計学的有意差は認められなかった。

##### 2) 皮 膚 温

胸部皮膚温 (Fig. 5) および上腕部皮膚温 (Fig. 6) は、着衣泳、水着泳ともに泳直後から一過性に低下した。泳15分後に主観的評価 (RTS, RPE) 測定のため泳ぎを約30秒間中断した影響で、1℃前後の上昇がみられたが泳ぎを再開した後、また低下現象を示した。胸部、上腕部ともに時間経過に伴う体温低下の有意差は認められたが、条件間に統計学的有意差は認められ

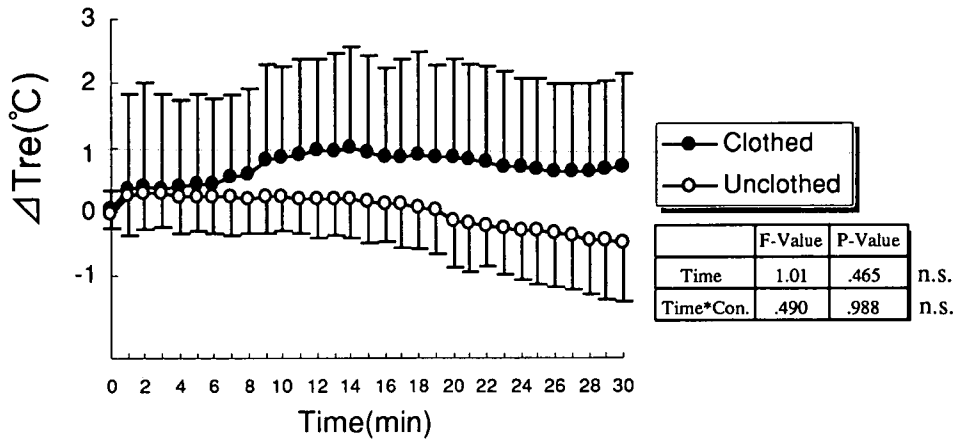


Fig. 4. Changes of rectal temperature during swimming.

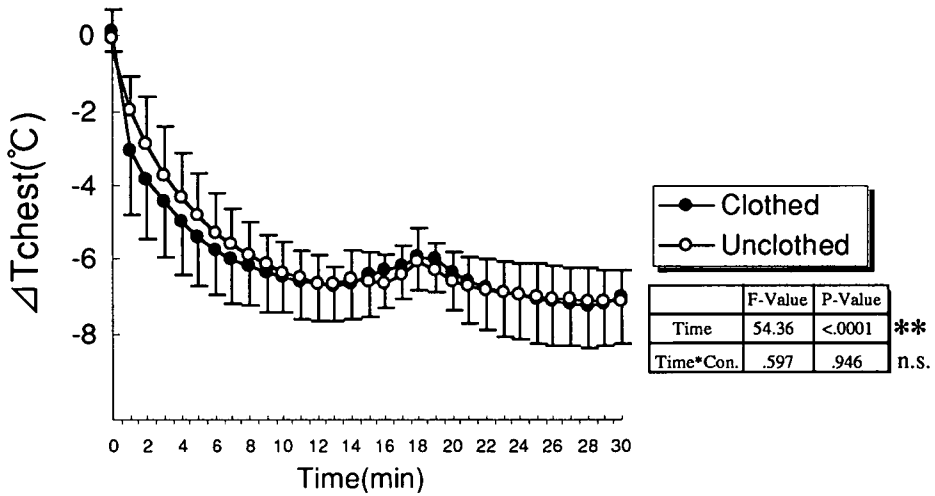


Fig.5. Changes of chest skin temperature during swimming.

なかった。大腿部皮膚温 (Fig. 7) では、両条件とも泳開始直後から7分後間に一過性に低下現象を示した。入水時を起点として、水着泳で最大6.55℃ (30分後)、着衣泳で最大4.86℃ (28分後) 低下し、時間経過、条件間ともに有意差が認められた。

3) 平均体温

平均体温 (Fig. 8) は、泳15分後に泳ぎを中断した影響を除けば、着衣泳、水着泳ともに時間経過に従って有意な低下傾向を示したが、条件間に有意差は認められなかった。入水時を起点として、水着泳で最大2.92℃ (30分後)、着衣泳で最大2.24℃ (28分後) 低下した。

2. 主観的溫度感覚 (RTS)

RTS については、体表面 (Surface) と深部 (Core) に区別して被験者の自覚を調査したと

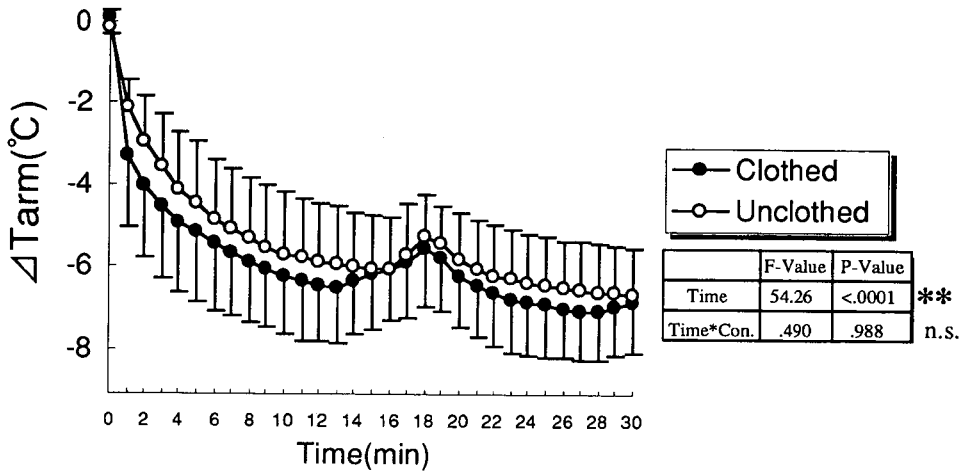


Fig. 6. Changes of arm skin temperature during swimming.

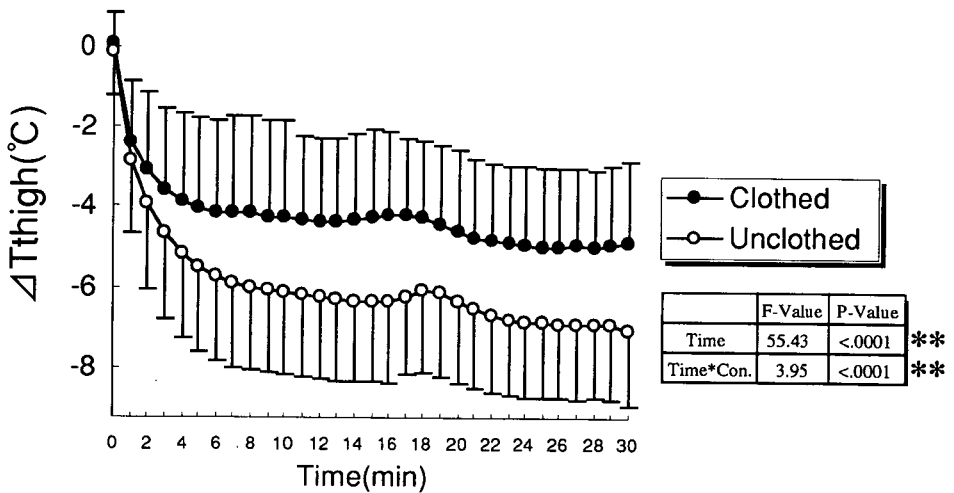


Fig. 7. Changes of thigh skin temperature during swimming.

ころ、体表面 RTS (Fig.9) は時間経過に、また深部 RTS (Fig.10) は時間経過および条件間に有意差が認められた。

### 3. 主観的運動強度 (RPE)

RPEについては、呼吸の苦しさ(Respiration)、腕部のきつさ(Arms)、脚部のきつさ(Legs)、全身のきつさ(Body)に区別して被験者の自覚を調査したところ、腕部 RPE (Fig.12)、脚部 RPE (Fig.13) および全身 RPE (Fig.14) において時間経過および条件間に有意差が認められたが、呼吸 RPE (Fig.11) については条件間の有意差は認められなかった。

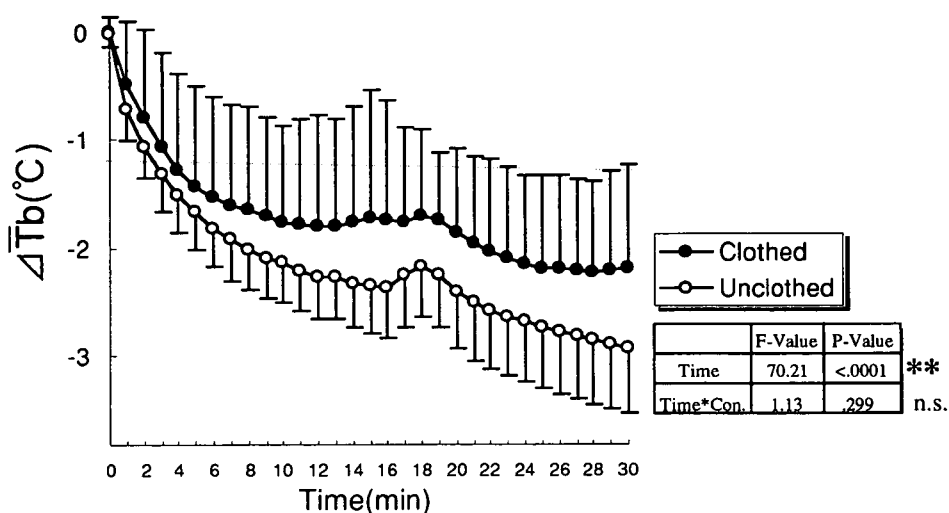


Fig. 8. Changes of mean body temperature during swimming.

### 考 察

着衣泳, 水着泳ともに入水1~2分以内に直腸温が0.3℃上昇した。これは, 両条件とも入水時の低水温暴露刺激によって, 一時的に急激な筋収縮に伴う産熱作用によるものと推測される。しかし, それは一過性の現象であり, 水着泳の直腸温では, 泳2~3分後から時間経過とともに漸減し, 泳終了時には約0.5℃低下することが認められた。着衣泳の直腸温が, 泳後14分まで上昇したのは, 吸水した衣服で泳ぐことから生じた泳動作(プル+キック)時の抵抗の増加およびトレーニングシューズを履いたために泳キック時の推進力が減少したことによって, 泳中のエネルギー消費が増大したためであると推察された。また, その後の上昇がみられず定常状態を示したのは, 実験後半の時間内ではエネルギー消費量と低水温環境下からの温度伝導量が, 一定の時間に均衡を保ったためであると推察された。また, 平均体温は着衣条件に関係なく両条件ともに時間経過に有意な低下現象を示した。Craigらは, 平均体温が35.2~35.4℃以下に低下するとシバリング(shivering)が起こると報告している<sup>9)</sup>が, 本研究においても水泳開始後数分後からシバリングする被験者が観察された。低水温下での長時間水着泳時の平均体温は, 下肢を中心とした静脈血の影響を受け低下することが報告<sup>7,8)</sup>されている。本実験結果からは, 有意差は認められなかったものの水着泳より着衣泳時の平均体温の低下が小さかったことは, 着衣により下肢の熱放散が比較的小さかったことを示唆している。これは水着泳時の大腿部皮膚温が, 着衣泳に比べ有意に低下傾向を示したことと一致する。実験中の観察からも下半身の衣服は上半身と比べ, 水の流入が少ないことが認められた。その反面, 上半身の衣服は水泳中に袖口部および裾口部から水の流入が観察された。これが胸部および上腕部皮膚温において, 条件間に有意差をもたらさなかった原因と推察される。

本実験では被験者の主観的感覚について, 温度感覚(RTS)および疲労感覚(RPE)を調査した。実際の直腸温では, 条件間に有意差は認められなかったにもかかわらず, 直腸温に対す

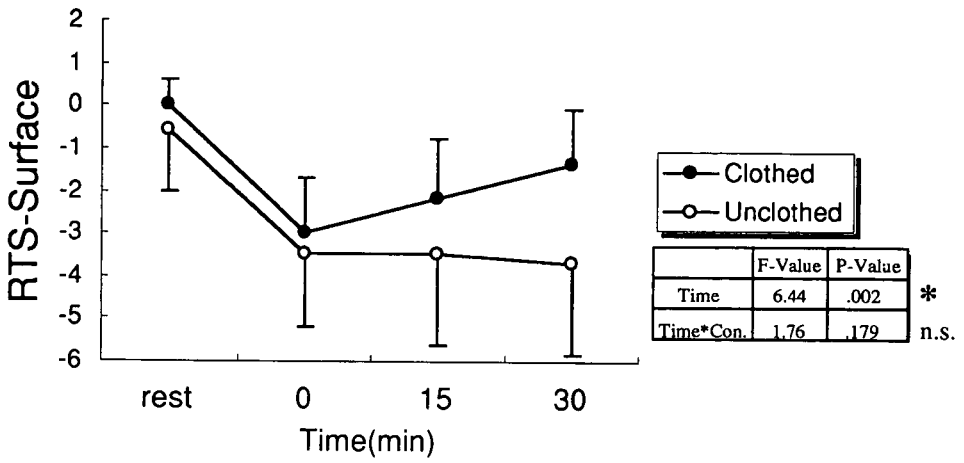


Fig. 9. Rate thermal sensation of the body surface.

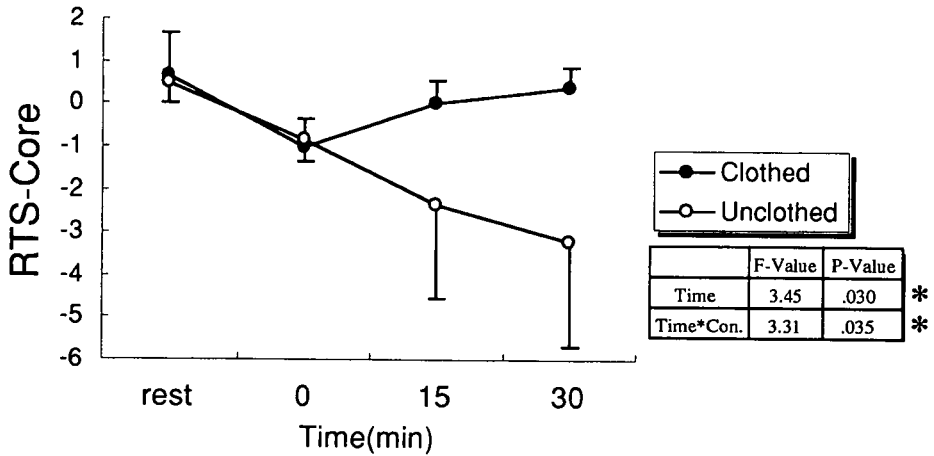


Fig. 10. Rate thermal sensation of the body core.

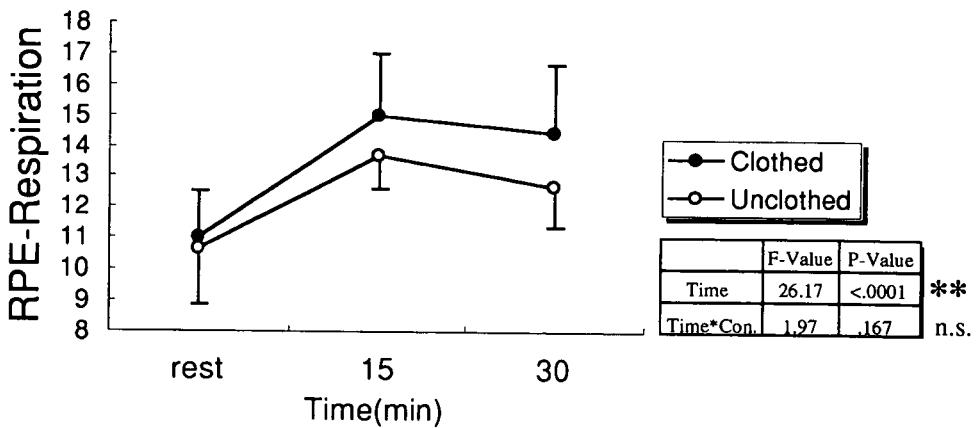


Fig. 11. Rate perceived exertion of respiration.



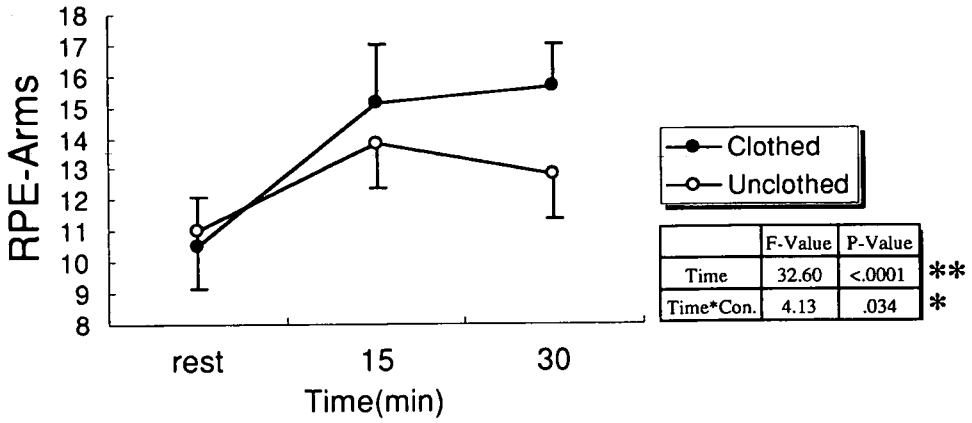


Fig. 12. Rate perceived exertion of the arms(pull).

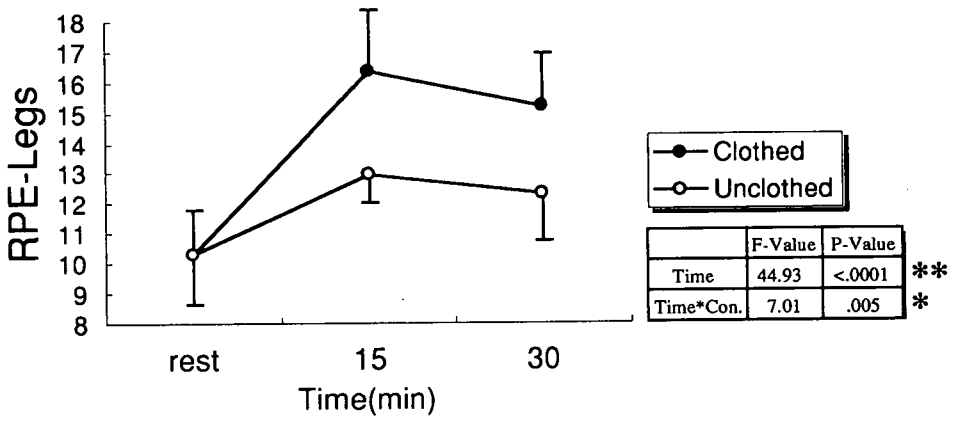


Fig. 13. Rate perceived exertion of the legs(kick).

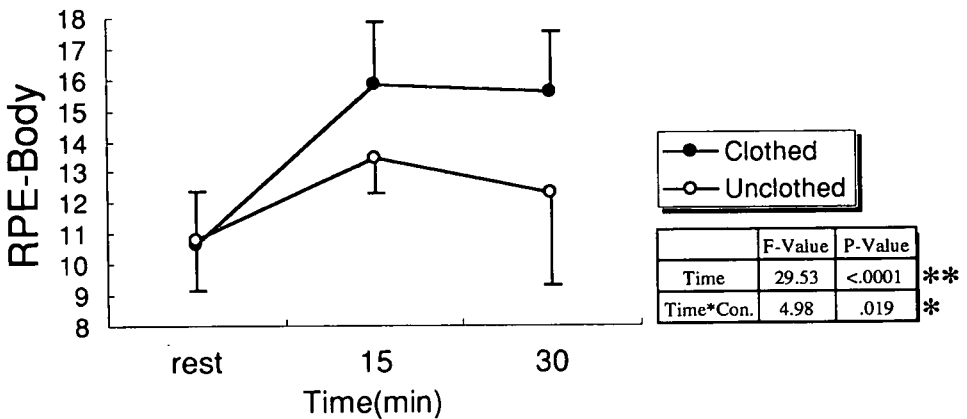


Fig. 14. Rate perceived exertion of the body.

る RTS では条件間に有意差が認められた。このことから直腸温の僅かな変化は、統計学的な差異が認められなくとも生体の温度感覚には大きく影響することが示唆された。また、RPE では、呼吸の苦しさ (Respiration) のみに条件間有意差が認められず、腕部のきつさ (Arms)、脚部のきつさ (Legs)、全身のきつさ (Body) には、時間経過および条件間に着衣泳が高値で有意差が認められた。このことから着衣泳は、水泳中に衣服が多大な抵抗となり、換気性能力が高進する以前に腕動作 (プル)、脚動作 (キック) における筋疲労が増大することが推察された。体温および疲労度から総合的に考察すると、着衣泳は下半身の皮膚温低下を抑制する傾向は認められるが、時間経過とともにその効力は急速に衰え、体温低下現象を抑制することはできない。また着衣は、水泳中の腕および脚動作の抵抗を増大させ、結果的に全身の疲労感を増大させることが示唆された。

#### 〈付 記〉

本研究の一部は、第52回日本体力医学会大会 (大阪市) および第11回運動と体温の研究会 (大阪市) において発表した。

#### 〈謝 辞〉

本研究の実施にあたり、ご協力いただきました(株)ジャパンアクアテックの皆様にご心からお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 警察庁編(1996) 平成八年度版警察白書, 大蔵省印刷局.
- 2) Wilmore, J. H., and Costill, D. L., (1994) Physiology of sport and exercise. 242-265, Human Kinetics.
- 3) Roberts, M. F., Wenger, C. B., Stolwijk, J. A. J., and Nadel, E. R. (1977) Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation. J. Appl. Physiol., 43, 133-137.
- 4) 大道等, 岩崎輝雄, 宮下充正(1983) 水中エルゴメーターの試作, 体育の科学, 33, 477-482.
- 5) Borg, G. (1970) Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand. J. Rehab. Med., 2, 92-98.
- 6) Kruk, B., Pekkarinen, H., Manninen, K. and Hanninen, O. (1991) Comparison in men of physiological response to exercise of increasing intensity at low and moderate ambient temperatures, Eur. J. Appl. Physiol., 62, 353-357.
- 7) Craig, A. B., and Dvorak, K. M. (1968) Thermal regulation of man exercising during water immersion. J. Appl. Physiol., 25, 28-35.
- 8) 清水富弘, 藤島和孝, 正野知基(1992) 低水温下における遠泳中の体温調節反応, 体育の科学, 42, 557-560.

## Thermal responses to clothed swimming in cold water at 21°C

Tomihiko SHIMIZU\*, Kazutaka FUJISHIMA\*\*, Tetsuro OGAKI\*\*,  
Noboru HOTTA\*\* Shozo KANAYA\*\*, Akihiro TAIMURA\*\*\*,  
Takeshi UEDA\*\*\*\*, Yasushi EBISU\*\*\*\*\*  
Kodo OTOKI\*\*\*\*\*, Masaaki SUGA\*\*\*\*\*, Tomoki SHONO\*\*\*\*\*

### ABSTRACT

The purpose of the present study was to compare thermal responses of the body between clothed and unclothed swimming in cold water at 21°C. Six healthy and physically well-trained male students underwent swimming (breaststroke) in a swimming flume at 21°C for 30 min. Water flow was adjusted so that the degree of exercise corresponded to 50%  $\dot{V}O_2$ max of each subject, and experiments were performed between clothed and unclothed swimming. Thermal states during rest and exercise were determined by measuring rectal, and 3 site (chest, arm, thigh) skin temperatures, and mean skin and mean body temperatures were calculated. The oxygen consumption and heart rate were monitored as an indicator for cardiovascular control. At each water temperature, identical oxygen consumption levels were attained during work indicating that no extra heat was produced by shivering at the lowest water temperature.

The slight rise of rectal temperature during clothed swimming within 14 min. Skin temperatures exposed to air rose slightly during work at 25°C and 30°C water temperature and distinctly at 35°C and body weight loss increased with water temperature indicating that both skin blood flow and sweating during exercise increased with the rise in water temperature and in accordance with the rise of mean body temperature providing the thermoregulatory drive for the loss of heat generated during exercise.

---

\* Division of Physical Education, Home Economics and Technology Education :  
Department of Health and Physical Education  
\*\* Kyushu University  
\*\*\* Nagasaki University  
\*\*\*\* Fukuoka Prefectural University  
\*\*\*\*\* Hiroshima University  
\*\*\*\*\* Kyushu Institute of Information Sciences  
\*\*\*\*\* Oita Prefectural College of Arts and Culture  
\*\*\*\*\* Beppu Women's College