

水着の形状が水泳中の体温調節反応に 及ぼす影響

長崎大学 田井村 明 博
(共同研究者) 別府女子短期大学 松 波 勝
長崎大学 管 原 正 志

Influence of the Long Type Swimsuits on the Thermal Responses During Swimming

by

Akihiro Taimura
*Faculty of Environmental Studies,
Nagasaki University*
Masaru Matsunami
Beppu Women's Junior College
Masashi Sugawara
Faculty of Education, Nagasaki University

ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the thermal effect of wearing the long type swimsuits (bodysuits) during prolonged swimming. The subjects were 12 male college competitive swimmers aged 20.2 ± 1.3 yr, height 174.0 ± 6.4 cm, body weight 69.1 ± 7.7 kg, %Fat 17.7 ± 3.1 %. All the subjects trained regularly for 2-3 hours a day, 5-7 times in a week. They were informed of the aims, risks, and benefits of this investigation both verbally and in writing prior to signing an informed consent document. The subjects swam 1500 m in front crawl stroke with two type of competitive swimsuits (6 subjects : regular swimsuit group, 6 subjects : bodysuit group). The temperature logger (3650, HIOKI, Japan) were attached on the swimmer's calf, thigh, abdomen, chest, and forearm. Those skin temperatures were

measured throughout the swimming at minute intervals. Body temperature (oral: Tb), rating of perceived exertion (RPE), and perceived thermal sensation of head (TSH) and body (TSB) were measured on completion of the swimming. Mean skin temperature during swimming for BODYSUIT group and REGULAR group were 33.0 ± 0.38 and 32.6 ± 0.35 , respectively ($p < 0.05$). There were significant differences in TSB (6.5 ± 0.8 , 5.6 ± 0.2) and TSH (7.1 ± 0.3 , 5.9 ± 0.6) for BODYSUIT group and REGULAR group, respectively ($p < 0.05$). These results suggested that this small temperature logger makes it possible to measure skin temperature during swimming. The thermal responses to swimming wearing the long swimsuits were significantly higher than wearing the regular swimsuits. Therefore, swimmers might be required to pay attention to wear the long swimsuits during prolonged/high intensity swimming in the environment of warm water.

要 旨

本研究では、水着の形状が水泳中の体温調節反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。日頃からトレーニングを行っている大学水泳選手 12 名を被験者とした。被験者の年齢、身長、体重、体脂肪はそれぞれ 20.2 ± 1.37 yr, 174.0 ± 6.41 cm, 69.1 ± 7.72 kg, 17.7 ± 3.10 % であった。実験に先立ち本実験の目的、安全性、予想される結果について書面および口頭で説明し、被験者として本実験への参加承諾を得た。皮膚温測定のための温度測定装置（温度ロガー 3650；センサー部、2040 データメモリー、電池内蔵、日置社製）を下腿部、大腿部、腹部、胸部、前腕にテープで貼り付け、水泳中 1 分ごとにデータを取得した。通常の水着群（RS 群）6 名とロングタイプ水着群（BS 群）6 名にクロールで 1500m 泳を行わせ、泳前後の体温（口腔温）、水泳中の皮膚温、泳直後の心拍数、RPE、温度感覚（頭部、躯幹部）を測定した。その結果、テスト泳後半（10 分後、15 分後）の平均皮膚温、テスト泳後の主観的指標である頭部（TSH）、躯幹部（TSB）の温度感覚において、BS 群が有意に高い値を示し、水着の形状の違いによって、水泳中の体温調節反応に違いが認めら

れた。本研究でのプール温度条件であった 30°C 前後の水温でのロングタイプ水着を着用した水中トレーニングでは、高温や脱水を引き起こさないように十分な水分摂取を行う必要がある。今後、水温および泳速度による影響、さらにスイミングキャップの素材の違いが、体温調節反応および水泳パフォーマンスに及ぼす影響についての検討を行いたい。

緒 言

水泳競技においてはとくに推進時の抵抗軽減のために水着の形状、素材の研究開発がなされており、最近、その形状が水中活動時の保温効果を目的とするウェットスーツに近い、長ズボンあるいは長袖タイプの水着が開発され普及し始めている。水中運動時も陸上での運動時と同様に運動強度、水温が高いほど体温上昇が大きく、上昇した体温は皮膚と水が直接接触することで、主に伝導による熱放散が行われていることはこれまでの報告^{2), 11)}からも明らかである。しかしながら、最近開発された長ズボン、長袖タイプの水着ではプールの水と皮膚の接触面が減少することから、その冷却効果が抑えられる（熱放散の抑制）ことが考えられる。

水泳選手の体温調節反応特性については Kondo N.ら⁵⁾, Henane R.ら⁴⁾, Taimura A.ら¹²⁾により, とくに発汗反応について検討した報告が見られる. 水着の形状に関する研究では「推進抵抗とエネルギー効率」に注目した研究¹⁰⁾, ウェットスーツ着用時のエネルギー代謝に関する研究¹⁵⁾あるいはウェットスーツの保温効果に関する研究¹⁴⁾などは報告されているが, 体温調節反応の観点から検討した報告はほとんどみられない.

そこで, 本研究では, 水着の形状が皮膚からの熱伝導による冷却効果(熱放散)に影響を及ぼすと考え, これまでに報告された保温効果あるいは抵抗性能よりむしろ運動負荷による産生される熱の放熱に注目し, その影響を体温調節反応の観点から検討することを目的とした.

1. 研究方法

1. 1 被験者

日頃から充分なトレーニングを実施している男子競泳選手を対象に, 実験に先立ち本実験目的, 実験の安全性, 予想される結果について書面および口頭で説明し, 被験者として本実験への参加承諾を得た計12名を被験者とした. 被験者のベスト記録を参考に泳力が同等になるように通常の水着群(ARN-0020, ARENA; REGULAR SWIMSUIT群, 以下RS群と表記)6名とロングタイプ水着群(BE-BSP-06, ARENA; BS群, 以下BS群と表記)それぞれ6名の2群に分けた(図1). スイミングキャップはナイロンメッシュ製に統一した. 被験者には実験前日のアルコールの摂取および当日の午前中の運動を禁止し, 実験開始の3時間前に同じ内容の昼食をとらせた. 表1は被験者の身体特性についてまとめたものであり, いずれの属性においてもRS群, BS群で有意な差異は認められなかった.

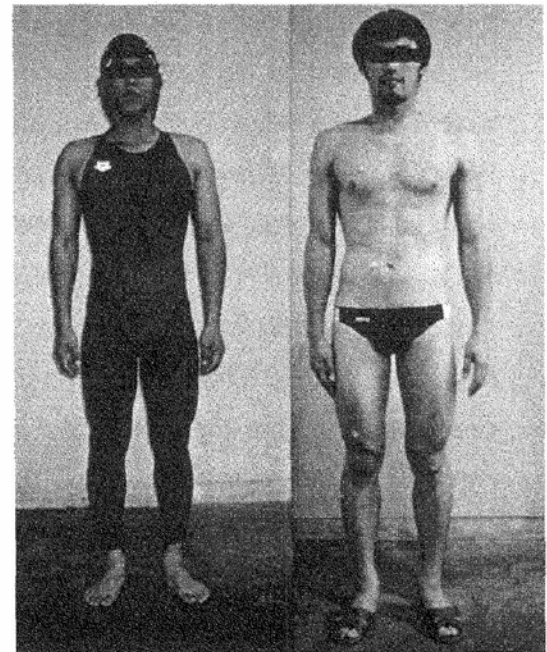


図1 BODYSUIT (BS群, 左側)とREGULAR SUIT (RS群, 右側)を着用した被験者

表1 被験者の身体的特性

		Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	% Body fat (%)
全体	Mean	20.20	174.00	69.10	17.73
	S.D.	1.37	6.41	7.72	3.10
BS群	Mean	20.69	176.30	71.48	17.97
	S.D.	1.15	7.45	9.41	3.61
RS群	Mean	19.71	171.67	66.73	17.48
	S.D.	1.49	4.68	5.38	2.81

1. 2 実験手順(図2)

1) 実験は被験者が日頃からトレーニングを行っている50m室内プールで行い, 実験時の室温, 水温, 相対湿度はそれぞれ, 28.15℃, 30.15℃, 61%rhであった.

2) テスト泳

テスト泳は, クロールで1500m泳(T-1500)をできる限りイーブンペースで泳ぎ, ラストスパートはしないように指示した. テスト泳に先立ち, 30分間のアップ泳を実施し, アップ泳終了後, プールサイドにあがり十分に身体を拭いて座位安静を保たせた.

3) 皮膚温, 体重測定

皮膚温測定のための温度測定装置(温度ロガー3650; センサー部, 2040 データメモリー, 電池内

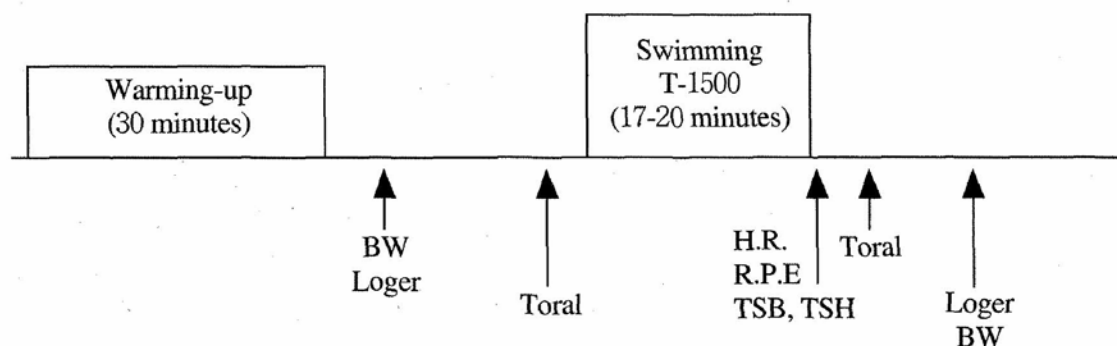


図2 実験の手順

図中 BW：体重，Toral：口腔温，HR：心拍数，TSB：温度感覚（躯幹部），TSH：温度感覚（頭部）の測定を，Logger：温度ロガーの取り付け，取り外しを示す。

蔵，HIOKI）を下腿部，大腿部，腹部，胸部，前腕にテープ（Tegaderm，3M社製，U.S.A）で貼り付けた。皮膚温はテスト泳終了後，専用のデータ読みとり装置（DATA READER 3920，HIOKI）で，パソコンへ取り込んだ。体重はテスト泳後で温度ロガー貼付前，取り外し後に測定した。平均皮膚温はBurton, A.C.¹⁾による推定式により算出した。

4) 深部温の測定

本実験は通常のトレーニングが行われているプールでの実験のため直腸温の測定が困難であるため，テスト泳の前後に口腔温（C102：テルモ社製）によって測定した。

5) 心拍数，主観的運動強度（RPE），温度感覚（Thermal Sensation）の測定

心拍数はテスト泳終了直後に水中で，触診法により10秒間の測定を行い1分値に換算した。その後，RPEおよび温度感覚を体幹の温度感覚（TSB），頭部の温度感覚（TSH）の順で測定した。温度感覚はGagge A.P.³⁾およびToner M.M.¹³⁾による温度感覚スケールを用いた。

6) 分析方法

測定によって得られたデータは，RS群，BS群の群別に平均値および標準偏差を求めた。RS群，BS群の比較を行うために，泳前後の体重差から推定した発汗量，テスト泳後の心拍数，RPE，温度感覚（TSH,TSB）の比較は対応のないt検定を

行った。テスト泳前後の深部温（口腔温），テスト泳中の皮膚温（テスト泳1分後，5分後，10分後，15分後の値）については繰り返しのある分散分析法によって比較検討し，有意差が認められた場合は，多重比較による群間の検定を行った。なお，本研究における統計的有意差の基準は5%以下とした。

2. 結果

テスト泳（T-1500）のタイムはBS群，RS群，それぞれ 1119.27 ± 61.82 sec., 1145.92 ± 38.64 sec.であり両群間に有意な差異は認められなかった。体重変化量から推定した発汗率（テスト泳前後の体重差／テスト泳前の体重 $\times 100$ ），泳直後の心拍数はBS群（ 0.63 ± 0.18 %， 168.00 ± 13.68 bpm）がRS群（ 0.50 ± 0.13 %， 161.00 ± 7.97 bpm）より大であったが有意な差は認められなかった。

テスト泳前後の体温（口腔温）は，BS群が 37.03 ± 0.26 °C， 37.40 ± 0.2 °C，RS群が 36.83 ± 0.16 °C， 37.22 ± 0.16 °Cであり両群ともテスト泳後に有意に上昇したが，多重比較の結果，両群間に有意な差は認められなかった。

図3，4はテスト泳直後のRPEと温度感覚の結果を示したものである。RPEはBS群，RS群それぞれ， 16.3 ± 2.5 ， 15.2 ± 1.8 でBS群が高い傾向であったが有意な差は認められなかった。

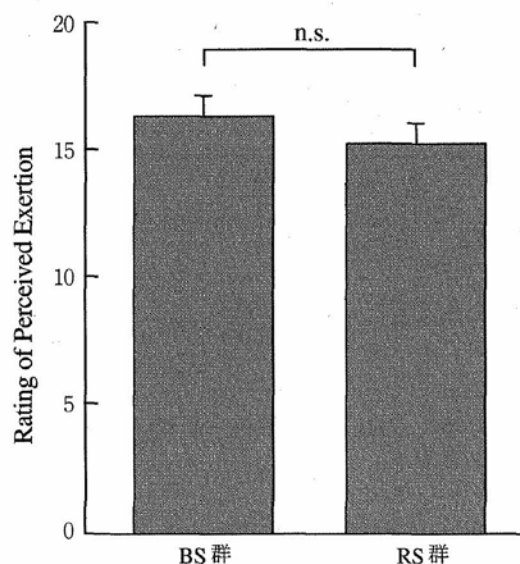


図3 主観的運動強度 (RPE)

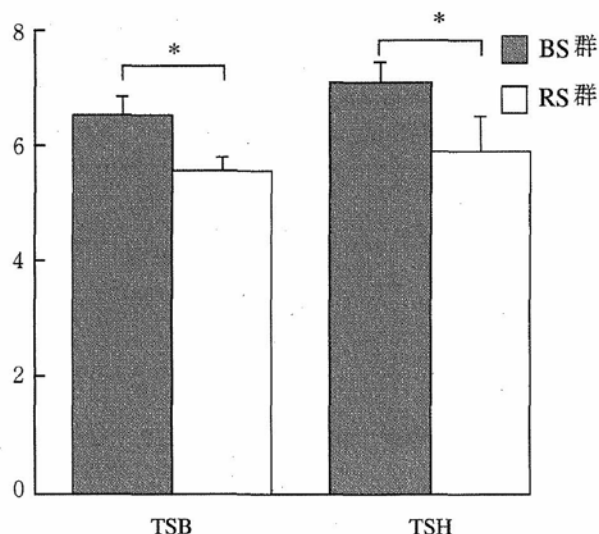


図4 テスト泳直後の温度感覚
(TSB：躯幹部, TSH：頭部) * $p < 0.05$

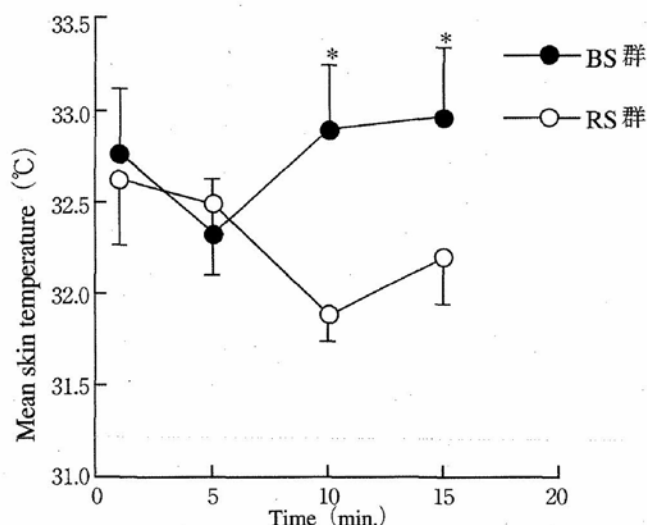


図5 テスト泳中の平均皮膚温の推移 (* $p < 0.05$)

BS 群, RS 群の泳直後の温度感覚は, 躯幹 (TSB) で 6.5 ± 0.8 , 5.6 ± 0.2 , 頭部 (TSH) : 7.1 ± 0.3 , 5.9 ± 0.6 であり, BS 群が有意に高かった。

図5はテスト泳中 (1, 5, 10, 15分後) の平均皮膚温の変化を示したものである。泳直後5分までは両群ともに低下したが, その後, BS 群では上昇し, RS 群ではさらに下降し, 15分後に上昇した。10分後の皮膚温はBS 群, RS 群でそれぞれ, 32.9 ± 0.36 , 31.9 ± 0.14 , 15分後は 33.0 ± 0.38 , 32.2 ± 0.25 となり BS 群が有意に高かった。

3. 考 察

本研究では水着の形状が水泳中の体温調節反応に及ぼす影響を明らかにすることが目的であった。水泳中の体温測定は通常の静水プールでの測定は大がかりな装置, 装備を要するため, 測定の容易な流水プールでの実験によってとくに水温の違いによる体温調節反応などの実験が行われてきた。Nadel E.R.⁸⁾の報告によると, 流水での体温喪失は流速に影響されることが報告されている。今回, 皮膚に貼付可能な小型の温度ロガーを用いることで一般のプール (静水プール) での水泳中の皮膚温変化の測定を試みた。流水プールでの実験と異なり流速の影響を受けないこと, さらに水泳後の被験者へのインタビューから皮膚表面へのロガー貼付が泳ぎに大きな影響を及ぼさないことが報告され, その有用性が確認できた。

テスト泳前後の体温 (口腔温) が両群ともに有意に上昇したが, 水着の形状の違いによる影響は認められなかった。一方, テスト泳後半の平均皮膚温, テスト泳後の主観的指標である頭部 (TSH), 躯幹 (TSB) の温度感覚においては BS 群が有意に高い値を示した。本実験での実験条件 (水温, 距離, 時間, 泳速度) およびテスト泳直後の心拍

数 (BS 群: 168.00 ± 13.68 bpm, RS 群: 161.00 ± 7.97 bpm) から、深部温に影響を及ぼさない程度の泳速度であったと考えられる。Costill D.L.ら²⁾、Taimura A.ら¹¹⁾の報告によると、水温、泳速度によって体温、発汗量が増加する。Lowdon, B.J.ら⁶⁾は3種類の水温 (17, 21.3, 29.5℃) と3種類の水着 (通常の水着、タンクトップで膝までの水着およびウェットスーツ) の条件で1500 m泳を行った結果、ウェットスーツの条件が最も皮膚温、直腸温の低下が有意に少なく、Perceived Comfort Rating が有意に高かったことを報告している。さらに、Matsunami M.ら⁷⁾は、シリコン製のスイミングキャップ着用の場合、キャップ内の温度、頭部の温度感覚が有意に上昇することを報告している。即ち、ロングタイプ水着や水を通さないシリコンやラテックスのスイミングキャップでは水との接触面が少なく伝導による熱放散が小さくなるので、皮膚からの熱伝導による冷却効果が抑制されると考えられる。これらのことからレース条件 (ラストスパートを行う) や高強度のインターバルトレーニング、シリコンやラテックス製キャップ着用などの条件では深部温の有意な上昇を引き起こすと考えられるので、高体温や脱水防止のために十分な水分摂取が必要である (Taimura A.ら¹²⁾)。

一方、Trappe T.A.ら¹⁴⁾は20.1から25.6℃の範囲での30分間泳では、ウェットスーツ着用によって過度な高体温を引き起こさないことを報告している。さらに、Lowdon, B.J.ら⁶⁾の報告でも低水温時には、ウェットスーツ着用時には体温低下が小さいことから、26℃以下の水温でのトレーニング、レースでは過度の体温低下や上昇を引き起こさないと考えられる。とくに、夏期以外は十分な水温が得にくい屋外プールでのトレーニングでは、ウェットスーツから得られる浮力の影響も受けずに、ロングタイプの水着、シリコンやラテックス製のスイミングキャップを着用すること

で適度な体温を保持しながら十分なトレーニングを行えると思われる。

本研究では、通常のトレーニング環境における水温に近い水温設定 (30℃) でおこなった。国内外の主要な公認競技会では水温設定が25～28℃の範囲であることが定められている。われわれの調査によると国内の全国規模の競技会 (水温26.9℃) で着用された水着のデータ (未発表データ) は、男子自由形のB決勝、決勝レース出場者計72名の内、通常の水着 (REGULAR) 7名、長ズボンタイプ39名、ショートパンツタイプ23名、ロングタイプ (BODYSUIT) 3名であった。また、Stager J.M.ら⁹⁾は、2000年アメリカオリンピックトライアルにおいて、男子自由形短距離種目ではBODYSUITが、長距離種目では長ズボンタイプ着用者が多かったが、BODYSUIT着用が競技結果には影響を及ぼしていなかったことを報告している。本実験でBODYSUIT着用者からのインタビューでは、とくに肩ストラップ部分の窮屈さの訴えが多かった (実験に使用した水着は一般販売サイズで選手個々人の体格に応じたオーダーメイドではなかった)。また、国内外の競技会においてとくに長距離種目において長ズボンタイプが多く選択されているのは、選手が窮屈さを感じる肩ストラップによる運動の制限と本研究結果が示すBODYSUIT着用による体温上昇が原因となるパフォーマンスの低下を避けているとも思われる。しかしながら、最近開催された国際大会 (世界選手権2001, 福岡) では、長距離種目においてもロングタイプや長袖長ズボンタイプの水着の着用者が世界新記録を樹立していることもあるので、今後、競技会、練習時の環境、水着やスイミングキャップの種類などより詳細な調査、実験が必要であると思われる。BODYSUIT着用による影響について、水温および泳速度、スイミングキャップの材質等の条件も加えて体温調節反応および水泳パフォーマンスへの影響を検討すること

が今後の課題である。

4. まとめ

本研究では、水着の形状が水泳中の体温調節反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、通常の水着 (RS 群) 6 名とロングタイプ水着 (BS 群) 6 名に 1500m 泳を行わせ、泳前後の体温 (口腔温)、水泳中の皮膚温、泳直後の心拍数、RPE、温度感覚 (頭部、躯幹部) を測定した。その結果、テスト泳後半の平均皮膚温、テスト泳後の主観的指標である頭部 (TSH)、躯幹部 (TSB) の温度感覚において、BS 群が有意に高い値を示し、水着の形状の違いによって、水泳中の体温調節反応に違いが認められた。本研究での実験時の水温でのロングタイプ水着の着用した水中トレーニングでは、高体温や脱水を引き起こさないように、水分摂取などを行う必要がある。今後、水温および泳速度による影響、さらにスイミングキャップの素材の違いによる体温調節反応および水泳パフォーマンスへの影響について検討を行いたい。

謝 辞

本研究の実施にあたり、快く被験者を引き受けてくださった方々、準備段階から多大なご協力を頂いた福岡大学スポーツ科学部の田口正公教授、福岡大学水泳部の田場昭一郎コーチ、実験を手伝っていただいた松波泉さん、小澤寿子さん、吉迫史恵さん、松浦理恵さん、和泉涼子さん、河合佐紀さんに心から感謝の意を表します。また、本研究に対し助成を受けました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝致します。

文 献

- 1) Burton A.C. ; The application of the theory of heat flow to the study of energy metabolism, *J. Nutr.*, 7, 1526-1532 (1934)

- 2) Costill D.L., Cahill P.J., and Eddy D. ; Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperature, *J. Appl. Physiol.*, 22, 628-632 (1967)
- 3) Gagge A.P., Stolwijk J.A.J., and Hardy J.D. ; Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, *Environ. Res.*, 1, 1-20 (1967)
- 4) Henane R., Flandrois R., Charbonnier J.D. ; Increase in sweating sensitivity by endurance conditioning in man, *J. Appl. Physiol.*, 43, 822-828 (1977)
- 5) Kondo N., Nishiyasu T., Ikegami H. ; The sweating responses of athletes trained on land and in water, *Jpn. J. Physiol.*, 45, 571-581 (1995)
- 6) Lowdon, B.J., MaKenzie D. and Ridge B.R. ; Effect of clothing and water temperature on swim performance, *The Australian Journal of Science and Medicine in Sports*, 24, 33-38 (1992)
- 7) Matsunami M. and Taimura A. ; Thermoregulatory and perceptual responses to swimming with swim cap, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33, S334 (2001)
- 8) Nadel E.R., Pandolf K.B., Roberts M.F., Stolwijk J.A.J. ; Mechanism of thermal acclimation to exercise and heat, *J. Appl. Physiol.*, 37, 515-520 (1974)
- 9) Stager, J., Skube J., Tanner D.A., Winston W. and Morris H.H. ; Bodysuits a bust?, *Swimming Technique*, 37 (3), 16-17 (2000)
- 10) Starling R.D., Costill D.L., Trappe T.A., Jozsi A.C., Trappe S.W., Goodpaster B.H. ; Effect of swimming suit design on the energy demands of swimming, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 1086-9 (1995)
- 11) Taimura A., Sugahara M., Tsuchiya K. ; Influence of water temperature and swimming velocity on sweat loss and body temperature during swimming, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, S156 (2000)
- 12) Taimura A., Sugawara M., and Matsumoto T. ; Thermal sweating responses during heat stress in swimmers, *J. Phy. Fit. Nutr. Immunol.*, 10, 170-174 (2000)
- 13) Toner M.M., Drolet L.L., and Paandolf K.B. ; Perceptual and physiological responses during exercise in cool and cold water, *Percept. Motor Skills*, 62, 211-220 (1986)
- 14) Trappe T.A., Starling R.D., Jozsi A.C., Goodpaster B.H., Trappe S.W., Nomura T., Obara S. and Costill

- D.L. ; Thermal responses to swimming in three water temperatures: influence of a wet suit, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 1014-1021 (1995)
- 15) Trappe T.A., Pease D.L., Trappe S.W., Troup J.P., Burke E.R. ; Physiological responses to swimming while wearing a wet suit, *Int. J. Sports Med.*, 17, 111-114 (1996)