スイムキャップの素材が水泳時の体温調節反応に及ぼす影響

別府溝部学園短期大学　松波　勝
（共同研究者）長崎大学　田井村明博
同　菅原正志

Effects of Swim Caps on Thermal Responses During Swimming

by

Masaru Matsunami
Beppu Mizobe Gakuen College
Akihiro Taimura
Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University
Masashi Sugawara
Faculty of Education, Nagasaki University

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the influence of the swim cap on thermal responses during swimming. Ten male competitive swimmers (age 20.0 ± 1.3yr, body weight 66.2 ± 6.3kg, %Fat 18.4 ± 3.2%) performed sub-maximal 20-minutes swimming in a 25m indoor pool (room; 28.7 ± 1.4 ℃, water; 28.8 ± 0.4 ℃, 67.5 ± 6.4%rh) using front crawl stroke; they wore either of two types of swim caps - the waterproof silicone cap (SC) or the non-waterproof mesh cap (MC). Forehead skin temperature (Tfh), occipital temperature (Toc) and heart rate (HR) were measured throughout the swimming. Tympanic (Tty) and oral (Toral) temperature were measured prior to and after each swim. Rating of perceived exertion (RPE), and perceived thermal sensation on the head (TSH) and body (TSB) were measured on completion of the trial. Regarding the changes in Tfh and Toc during the trial, they both declined during the first five minutes

and then, except for Toc in MC, assumed an upward curve; Toc in MC didn't rise, but kept stable from after the first five minutes to the last. Measurement after the trial showed significant differences in Tfh (SC: 33.70 ± 0.82 ℃, MC: 32.45 ± 0.69 ℃) and Toc (SC: 30.85 ± 1.18 ℃, MC: 28.95 ± 0.55 ℃). On the other hand, there were no significant differences both in Toral and Tty between SC and MC after the trial. However, MC depressed Tty significantly both before and after the trial (-0.32 ± 0.28 ℃, $p<0.05$). No significant difference was observed in TSB between SC and MC, but TSH was higher for SC than for MC (SC: 6.7 ± 0.8, MC: 5.6 ± 0.8, $p<0.05$). These results were evidently brought about by the difference of the swim caps; the waterproof swim cap acts as thermal barriers to the heat produced in the cephalicus. Therefore, in case of prolonged training and competition, it is desirable for swimmers to select their swim caps with water temperature environment in mind in order to avoid cranialis temperature elevation.

要　旨

本研究では，スイムキャップの防水性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男子大学水泳選手10名（年齢20.0 ± 1.3歳，身長174.1 ± 6.3 cm，体重66.2 ± 6.3kg，脂肪率18.4 ± 3.2％）を被験者とし，市販されている防水性のあるシリコンキャップ（SC）と防水性のないメッシュキャップ（MC）着用時のクロール泳による20分間泳を行った．前額面（Tfh）と後頭部（Toc）の温度および心拍数は各テスト泳中1分間隔で，鼓膜温（Tty）と体温（口腔温）（Toral）は，各テスト泳前後に測定した．また，主観的運動強度（RPE）および頭部と躯幹の温度感覚尺度（それぞれTSHとTSBと略す）をテスト終了後に測定した．Tfhは，SC，MCともに運動開始5分までは低下したが，その後，運動終了まで上昇し続けた．一方，Tocは，SCにおいて水泳中上昇したが，MCでは，Tfhの上昇にもかかわらず，水温まで低下した．運動終了後のTfhは，SCが33.70 ± 0.82 ℃，MCが32.45 ± 0.69 ℃であった．またTocはSCが30.85 ± 1.18 ℃，MCが28.95 ± 0.55 ℃と，いずれにおいてもSCの方がMCに比べて有意に高い値を示した（$p<0.05$）．運動終了後のToralとTtyについては，SCとMCにおいて有意な差は見られなかった．しかしながら，MCのTtyは運動の前後において有意な低下があった（-0.32 ± 0.28 ℃，$p<0.05$）．TSBは，SCとMCの間に有意な差は見られなかったが，TSHはSCの方がMCに比べて有意に高かった（$p<0.05$）．

これらの結果は，キャップの防水性に影響されることを示しており，防水性のキャップには，頭部の熱放散を妨げ保温する働きがあると考えられる．従って，長時間のトレーニングやレースにおいて頭部の温度上昇を避けるためには水温条件を考慮して着用するキャップを選択することが望ましいと考えられる．

緒　言

スイムキャップは防水性のキャップと防水性のないキャップの2種類に大別される．競泳選手のみならず，ほとんどの泳者が水泳時に，これらのキャップのいずれかを着用している．水泳は，熱伝導の高い水中で行われるため水温によって身体が容易に冷却される環境にある[3]．しかし，選手

が行う長時間で高強度の水泳トレーニングや，また，設定された水温が高い場合は，運動中体温が上昇し，発汗などの熱放散現象が陸上と同様に促進され[17]，着用する水着の素材や形状によって水泳中の体温変化に影響を与えることが示されている[8,9,18]．キャップを着用する頭部は，活動筋を除いた他の身体各部位よりも熱放散能力において高く[5]，運動中の熱放散の重要な役割を果たしている[13～15]．Rasch et al.[15] は，運動中に着用したヘッドギアには頭部を保温する働きがあることを示している．従って，着用するスイムキャップによっては水泳中の体温調節に影響を及ぼす可能性があると考えられる．特に，水泳中の抵抗の軽減を考慮した防水タイプのスイムキャップでは，Matsunami et al.[10] がキャップを着用した時に経験する頭部の暑熱感は躯幹部に比べて高いことを示していることからも，水の浸入を防ぐことが，逆に，頭部の熱放散を妨げ，運動中の頭部温度の上昇を引き起こすのではないかと考えられる．

そこで，本研究は，「防水性がある」，「防水性がない」というスイムキャップの特性が水泳中の頭部温度および体温に与える影響を検討することを目的とした．

1．研究方法

1．1　被験者

日頃から充分にトレーニングを行っている男子大学競泳選手10名が本研究の被験者として参加した．全ての被験者には，事前に口頭および文書で本研究の目的，方法などを十分に説明し，実験要旨の理解を得たうえで参加の同意を書面により得た．被験者の身体的特性を表1に示した．

1．2　測定項目

1．2．1　頭部温度

頭部温度は，前額部に温度ロガー（3650, HIOKI, JAPAN）をテープ（Tegaterm™, 3M Health Care, St. Paul, MN）で貼り付けて測定した．また，キャップを被る際に温度ロガーを頭部とキャップの間に置いて後頭部の温度を測定した．各温度はテスト泳中1分毎に記録された．

1．2．2　深部温

口腔温は，サーモレコーダー（RT-30S, Espec, JAPAN）により測定した．また，鼓膜温は赤外線鼓膜温度計（FirstTemp Ginius 3000A, Sherwood Medical Co., St. Louis, MO）により行った．口腔温の測定時には，口腔外の影響を最小限にするためにセンサーを舌下において保持するように指示した．

1．2．3　心拍数

心拍数は，HRモニター（S610, POLAR）をテープで胸部に取り付け，テスト泳中，15秒毎に測定を行った．

1．2．4　主観的運動強度と温度感覚

20分間泳終了後，RPEと温度感覚の測定を行った．温度感覚はGagge et al.[6] が示したscaleをToner et al.[19] が修正したものを用い，躯幹部（TSB）および頭部（TSH）の温度感覚を申告させた．申告の順序はShefeild-Moore et al.[16] の方法に従い，最初にTSBを申告させ，その後TSHを申告させた．

1．3　実験手順

実験は，室温28.7±1.4℃，水温28.8±0.4℃，相対湿度67.5±6.4％rhの25m屋内プールで実施した．被験者は，20分間のウォーミングアップ後，

表1　Physical characteristics of the subject

Subject	Age（yrs）	Height（cm）	Weight（kg）	%Fat（%）
Average	20.3	174.1	66.2	18.4
SD	1.3	6.3	6.3	3.2

温度センサーおよびHRモニターを装着し，安静時の鼓膜温および口腔温を測定した．その後，市販されている防水性のあるシリコンキャップ（ARN-4091, ARENA；以下SC群）および防水性のないメッシュキャップ（ARN-13, ARENA；以下MC群）の2種類のキャップ条件による最大下の20分間泳（T-20）をそれぞれ24時間の間を置いて実施した．テスト泳は，クロールにより，テスト泳中はできるだけ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．テスト終了後，TSB, TSHおよびRPEを測定し，ついで口腔温および鼓膜温の測定を行った．

1．4　統計処理

得られたデータは，各々の平均値および標準偏差を求めた．テスト泳前後の深部温（口腔温と鼓膜温）およびテスト泳中の前額部と後頭部の温度については，繰り返しのある分散分析法によって差の検定を行った．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．また，テスト泳後の心拍数，RPEおよび温度感覚の差の検定には，対応のあるt-検定を用いた．なお，本研究における有意水準は5％以下とした．

2．結　果

各キャップ条件における泳距離，心拍数（HR）および主観的運動強度（RPE）は表2に示した．テスト泳における距離はSCが1672.2 ± 83.9m, MCが1681.3 ± 74.9mであり，キャップの違いによる有意な泳距離の差は見られなかった．また運動終了後のHRおよびRPEにおいてもキャップ間に有意な差は認められなかった（SC：176.1 ± 9.9bpm，15.4 ± 2.84とMC：176.6 ± 10.5bpm，15.4 ± 1.96）．前額部の表面温度（Tfh）と後頭部の温度（Toc）の経時的な変化を図1と2に示した．TfhはSCおよびMCのそれぞれのテスト泳において，運動開始5分まで低下したが，その後，上昇に転じ，運動終了まで上昇を続けた．TocはSCにおいてTfhと同様に運動開始5分以降上昇に転じた．しかし，MCにおけるTocはテスト開始5分までは，他と同様にほぼ水温まで低下したが（28.90 ± 0.39℃），テスト泳中その温度で安定したままであった．TfhとTocは共に運動中を通してSCの方が有意に高く（$p < 0.05$），運動終了時の

表2　Swimming distance, heart rate and RPE for 20 minutes swims

	Silicon cap (SC)	Mesh cap (MC)
Swimming distance (m)	1672.2 ± 83.9	1681.3 ± 74.9
Heart Rate (bpm)	176.1 ± 9.9	176.6 ± 10.5
RPE	15.4 ± 2.8	15.4 ± 2.0

Note: no significant differences between silicon and mesh cap

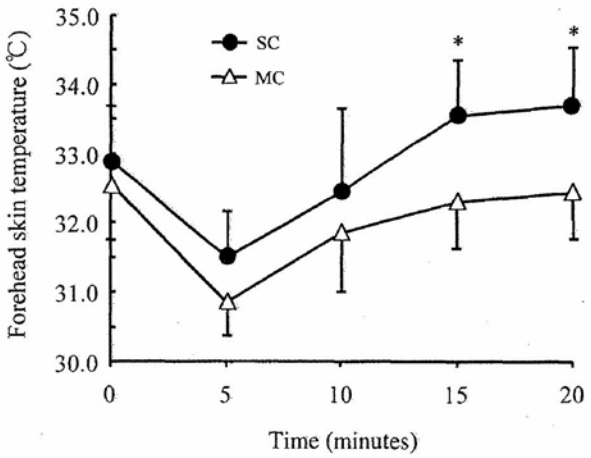

図1　Change in forehead skin temperature during swimming with silicon cap (SC) and mesh cap (MC).
* $p<0.05$ from MC

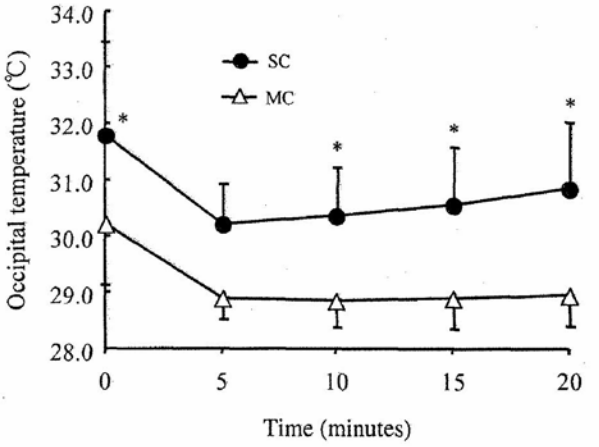

図2　Change in occipital temperature during swimming with silicon cap (SC) and mesh cap (MC).
* $p<0.05$ from MC

TfhとTocは，SCが33.70±0.82℃と30.85±1.18℃，MCが32.45±0.69℃と28.95±0.55℃であった．

深部温であるToralとTtyの運動終了後の値は，SCが36.77±0.41℃と37.49±0.39℃，MCが36.89±0.54℃と37.43±0.27℃であり，それぞれキャップ間に有意な温度差は見られなかった．しかし，運動前後のToralとTtyの変化を見るとMCのTtyが有意な低下を示した（-0.32±0.28℃，$p<0.05$）（図3）．図4は，各テスト泳後の躯幹（TSB）と頭部（TSH）の温度感覚を示したものである．SCにおけるTSB（6.0±0.6）は，MCの値5.8±0.4に比べて高かったが，その差は有意ではなかった．一方，TSHはSC（6.7±0.8）の方がMC（5.6±0.8）よりも有意に高い値を示した（$p<0.05$）．

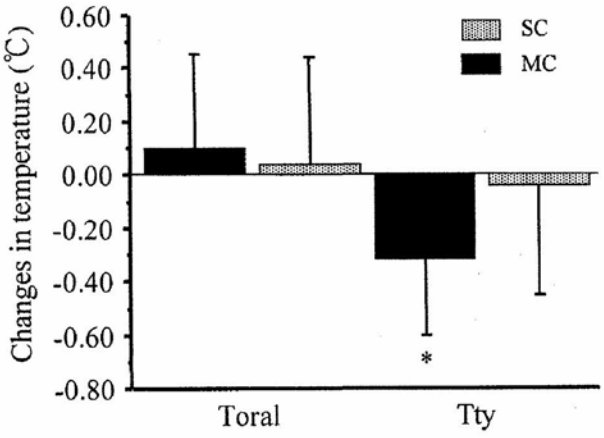

図3　Change in oral temperature（Toral）and tympanic temperature（Tty）before and following 20minutes swims with silicon cap（SC）and mesh cap（MC）
* $p<0.05$ from before swimming

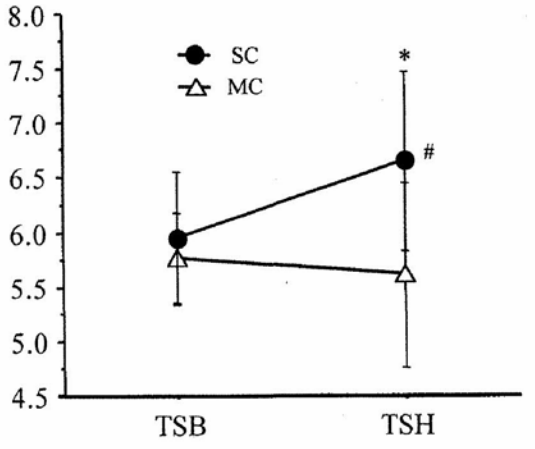

図4　Perceived thermal sensation of the body（TSB）and head（TSH）（Scale = 0-8）following 20minutes swim.
* $p<0.05$ from MC ; # $p<0.05$ from TSB

3．考　察

選手はレースやトレーニング時に防水性のあるキャップを着用した時に生じる頭部への暑熱感を経験的に感じている[10]．水泳競技において，レース終了後，即座に選手が被っているキャップを脱ぐ光景からもレース直後，頭部に強い温熱感を感じていることが推察される．そして，これらのことは，運動により産生された熱の放散がキャップの種類によって妨げられるために生じるのではないかと推測される．本研究では，「防水性がある」，「防水性がない」というキャップの種類がキャップ内の温度や体温調節反応に及ぼす影響を明らかにしようとすることを目的とした．

テスト泳において得られた，泳距離，心拍数およびRPEの結果はSC群とMC群の間に有意な差が見られなかったことから，両条件におけるテスト泳の運動強度は同じであったと考えられる．

前額部の表面温度（Tfh）と後頭部温（Toc）は，運動中いずれもSC群の方が有意に高かった．また，運動時中の温度変化については，TfhはSC群，MC群ともに運動開始5分までは低下したが，その後，それぞれ上昇に転じ，その上昇は運動終了まで続いた．Tocは，SC群においてTfhと同様に運動開始5分以降上昇に転じたが，MC群では運動開始5分でほぼ水温まで低下した後，その温度で運動終了まで推移した．Trappe et al.[20]やKerr et al.[8]は，25.6℃の水温において保温性のあるウエットスーツを着用した水泳時の身体表面温度は，それぞれ3.21℃と4.0℃，スイムスーツよりも高いことを示し，Lowdon et al.[9]は水温29.5℃において身体表面温度が2.38℃，スイムスーツよりもウエットスーツの方が高いことを示している．本研究においても運動終了後の頭部温度の差は，

Tfhで1.25℃，Tocで1.90℃であり，いずれもSC群の方が有意に高い結果が示された．

また，水泳時の身体表面温度は，水温の影響で運動前より低下し運動中一定であることが示されている[20]．さらに，スイムスーツ着用時には身体表面温度は，水温より0.5℃高いことが示されている[20]．本研究においてTfhやTocのSC群で得られた結果が先行研究と異なったのは，実験を行った水温が異なったためであると考えられる．本研究では選手が日頃トレーニングを行っている水温環境を想定し，Trappe et al.[20]が実施した水温よりも3℃高い比較的高水温の条件で実施された．そのために運動中，頭部温度の上昇が見られたと考えられる．従って，水温の高い環境下での水泳では，運動時間が長くなれば頭部表面温度は上昇すると考えられ，MC群におけるTocが水温と同様であることから，水を透過することが頭部の熱放散を促すと考えられるので，防水性のあるキャップは，逆に頭部温度の上昇をさらに高めると考えられる．これらのことから，水の侵入を防ぐという防水性のキャップは，伝導による熱放散が容易に行われる水中環境において[4,11]，水との接触を遮ることで熱放散を妨げ，ウエットスーツのように保温作用をもたらすと考えられる．また，その作用は水温の上昇によってさらに高まると考えられる．トライアスロン競技においては，スイムにおいて25.6℃以上の水温はウエットスーツを着用するには温かいと考えられている[8]．競泳の長距離種目において，抵抗の軽減から防水タイプのキャップの着用が見られる．しかし，キャップの種類によっては頭部温度の上昇を引き起こすことから，パフォーマンスにも影響を与える可能性が考えられるので，水温条件を考慮して，キャップを選択することが必要であると考える．深部温である口腔温（Toral）と鼓膜温（Tty）は，運動終了後，ToralとTtyはSC群とMC群の間に有意な差は認められなかった．しかし，運動前後の温度変化についてみると，MC群のTtyにおいて有意な低下が見られた．Ttyは，直腸温に代わる深部温になるとされている[3]．そして，頭蓋内の温度を示す有効な指標ともされている[2,13,14]．鼓膜温は温浴前や運動前には食道温や直腸温などの躯幹の深部温より高いことが示されている[1,15]．本研究におけるTtyも運動前はSC群およびMC群ともにToralよりも高い値を示した．運動中の鼓膜温と食道温の関係は，頭部に何も着用しないときは，運動の経過とともに食道温が上昇し鼓膜温との差が広がる．しかし，ヘッドギアを着用することでその差が見られなくなり，ヘッドギアが鼓膜温の上昇に影響を与えることが示されている[15]．その要因としてヘッドギアが，高体温時に働く選択的脳冷却（SBC）システムにおいて重要な熱放散手段である蒸発を妨げるからであるとされている[15]．本研究において運動前後のTtyとToralの変化は，MC群のTtyにおいて有意な低下が見られた．Toralの結果から本研究のテスト泳は，最大下で実施したため，深部温であるToralを上昇させるほどの運動負荷ではなかったと考えられる．水中での熱放散は蒸発ではなく伝導や対流がむしろ重要となる[4]．しかしながら，MC群のTtyが低下し，SC群のTtyが低下しなかったのは，MC群では伝導による冷却作用により頭部が冷却されたと考えられる．これは，MC群のTocの変化からも推察される．一方，SC群のTfhやTocとの関係からTtyは防水性のキャップの影響を受けたと考えられる．そして，顔面の表面血流の冷却によって機能するSBCにとって，蒸発による頭部冷却の影響が少ない水中において，伝導による冷却が阻害されれば，陸上と同様にSBCシステムに影響を与えると考えられる．

次に，運動後の温度感覚は，TSBについてはSC群とMC群の間に有意な差は見られなかったが，TSHについては，SC群の方がMC群に比べて有意に高い値を示した．Lowdon et al.[9]は，身

体表面温度の低下を抑えたウエットスーツはスイムスーツと比べてPerceived comfort ratingが高いことを示している．保温性のあるウエットスーツが身体の温度感覚を高めるということから，SC群とMC群との間に見られたTSHの差は，防水性のあるキャップの保温性が主観的な評価においても示唆でき，TfhやTocの結果から防水性のあるキャップを着用した際に経験的に感じられてきた暑熱感は，頭部温度の上昇によるものであると考えられる．そして，SC群のTSHはTSBより有意に高かったことは，頭部への熱ストレスが躯幹より大きいことを示唆するものである．水泳は健常者のみならず，障害者においても愛好されている．一方で競技力の向上を目指した障害者が水泳競技においても見られ，競技力向上のために長時間，高強度のトレーニングを実施していると考えられる．一般的に，運動により産生された熱は，体温調節機能により体外へ熱が放散され，運動による暑熱障害を抑えている．しかし，脊髄を損傷した選手は，体温調節機能障害から運動による熱産生と熱放散のバランスが崩れやすく，高体温などになりやすいことが報告されている[7]．水泳は，水の伝導による熱放散で陸上に比べ比較的，体温上昇は抑えられる．しかし，本研究で用いた防水性のキャップは伝導による熱放散を妨げることが示唆されることから，脊髄損傷者がトレーニングやレース時に着用するキャップの素材には，暑熱障害防止の観点から十分注意を払う必要があると考えられる．

4．まとめ

本研究は，「防水性がある」，「防水性がない」というスイムキャップの特性が水泳中の頭部温度および体温調節に与える影響を検討することを目的とした．

その結果，運動中および運動後のTfhとToc，運動後のTSH，においてSC群の方がMC群と比較して有意に高かった．また，運動前後のTtyについては，MC群において有意な低下が見られた．これらのことから，本研究おいて実施した比較的水温が高い環境下において，防水性のあるキャップは，運動中，頭部で産生された熱の保温に作用し，防水性のないキャップと比べて頭部表面温度や頭蓋内の温度，温度感覚に影響をもたらすことが明らかになった．従って，選手は水温環境を考慮し，長時間のトレーニングやレースにおいて着用するキャップの適性を選択する必要がある．また，トレーニング時に防水性のキャップを着用する場合は，頭部の温度上昇を避けるためにこまめに脱着を行うか，あるいは，防水性のないキャップを着用することが望ましい．

5．謝　辞

本研究の実施にあたり，被験者として快く実験に参加していただいた方々，ならびに多大なるご協力をいただいた福岡大学スポーツ科学部，田口正公教授，同大学水泳部，田場昭一郎ヘッドコーチに心から感謝申し上げます．また，本研究に対しまして助成を賜り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) Cabanac M., Caputa, M.: Natural selective cooling of the human brain: evidence of its occurrence and magnitude. *J. Physiol.*, 286, 255-264 (1979)
2) Cabanac M.: Selective brain cooling in human: "fancy" or fact?. *FASEB J*, 7 (12) 1143-1147 (1993)
3) Costill D. L., Cahill P. J., Eddy D.: Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperature. *J. Appl. Physiol.*, 22 (4) 628-632 (1967)
4) Craig A.B. Jr.: Temperature regulation and immersion. Biomechanics and medicine in swimming, (Eds) Hollander, A. P. et al., 263-274 (1983)
5) Froese G., Burton A. C.: Heat losses from the human head. *J. Appl. Physiol.*, 10 (2) 235-241 (1957)

6) Gagge A. P., Stolwijk A. J., Hardy J. D.: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ. Res.*,1, 1-20 (1967)

7) 石井好二郎，山崎昌廣，村木里志，小村　尭，菊池邦雄，坂手照憲，前田如矢：漸増抵抗運動時における脊髄損傷者の鼓膜温及び皮膚温．日本運動生理学雑誌，1 (2)，27-32 (1994)

8) Kerr C. G., Trappe T. A., Starling R. D., Trappe S. W.: Hyperthermia during olympic triathlon: influence of body heat storage during the swimming stage. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30 (1) 99-104 (1998)

9) Lowdon B. J., McKenzie D., Ridge B. R.: Effects of clothing and water temperature on swim performance. *The Australian Journal of Science and Medicine in Sports*, 24 (2) 33-38 (1992)

10) Matsunami M. Taimura A.: Thermoregulatory and perceptual response to swimming with a swim cap. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33 (5) S132 (2001)

11) McMurray R.G., Horvath S.M.: Thermoregulatory in swimmer and runners. *J. Appl. Physiol.*, 46 (6) 1086-1092 (1979)

12) Nadel E.R., Holmar I., Bergh U., Astrand P.-O. Stolwijk A.J.: Energy exchanges of swimming man. *J. Appl. Physiol.*, 36 (4) 465-471 (1974)

13) Nagasaka T., Brinnel H., Hales J.R., Ogawa T.: Selective brain cooling in hyper thermia: the mechanisms and medical implication. *Med Hypotheses*, 50 (3) 203-211 (1998)

14) Rasch W., Samson P., Cote J. Cabanac M.: Heat loss from the human head during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 71 (2) 590-595 (1991)

15) Rasch W., Cabanac M.: Selective brain cooling is affected by wearing headgear during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 74 (3) 1229-1233 (1993)

16) Shefeeld-Moore M., Short K. R., Kerr C. G., Parcell A. C., Bolater D. R., Costill D. L.: Termoregulatory responses to cycling with and without a helmet. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29 (6) 755-761 (1997)

17) Taimura A., Sugawara M., Tsuchiya K.: Infulence of water temparature and swimming velocity on body temperature and weghit loss during swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (5) S156 (2000)

18) 田井村明博，松波　勝，菅原正志：水着の形状が水泳中の体温調節反応に及ぼす影響．デサントスポーツ科学，23，150-157 (2002)

19) Toner M. M., Drolet L. L., Pandolf K. B., Perceptual and physiological responses during exercise in cool and cold water.: *Percept. Motor Skills*, 62, 211-220 (1986)

20) Trappe T. A., Starling R. D., Jozsi A. C., Goodpaster B. H., Trappe S. W., Nomura T., Obara S. Costill D. L.: Thermal responses to swimming in three water temperature: infulence of a wet suit. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27 (7) 1014-1021 (1995)