

水泳運動時における体温調節*

Body Temperature Regulation during Swimming

塩谷武男¹⁾・鈴木邦雄²⁾

Takeo SHIOYA and Kunio SUZUKI

Swimming places a much more thermal load on man than when in air of the same temperature. This is primarily due to the fact that the thermal conductance of water around 25 times that of air. The main objective of the present study was to clear body temperature regulation during swimming at different water temperatures. Results were as follows;

When the subject swam at high water temperature (over 24°C), rectal temperature during exercise showed similar level that attained in air.

Under 24°C in water temperature, rectal temperature decreased continuously and not showed steady state.

It was shown sweating in water and varied sweat rate at different water temperatures.

Skin temperature was similar with water temperature.

It is an interesting observation that nevertheless, being of little use sweating in water, the increase of rectal temperature during swimming is due to dynamic regulation according to "set point" theory.

目 的

ヒトが水の中で泳ぐということは、陸上で走るということとはかなり違った意味がある。走ることはほとんどのヒトにとって可能な動作であり、日常生活のなかで特別な学習をすることなく身につけている。しかし、泳ぐということになると、適切な学習を経ることがなければ、一生「かなづち」で過ぎなければならないことになる。このようなこととは別に、ヒトが泳いでいるときの状態を温熱環境の立場からみると、陸上で運動をしている状態とは非常に異なっている。すなわち、陸上では空気を媒介として体熱の放散を行っているものが、空気と比べ25倍も熱伝導度の大きな水の中で体温調節を行うことである。また、陸上での運動は気温の増加に伴い、発汗し、蒸発による熱放散が重要な位置を占めるのに対し、水中における発汗は熱放散としての意味をもたない。運動時の体温の上昇が熱平衡の不均衡によるものではなく、運動強度に対応したものであることはすでに知られていることであり、“Set Point”理論による説明がなされている⁸⁾。また、既報において、鈴木⁹⁾は運動強度一直腸温関係に直線関係があることを報告している。本実験は、温熱環境からみて特殊な条件下にある水泳をとりあげ、泳運動時の体温調節について追求した。

方 法

実験は25m短水路プールにおいて行い、水温は6月から10月にかけて自然環境のなかで17.9°C～29.5°Cの範囲で变化した。

測定は直腸温のカテーテル、皮膚温の電極を装着した約10分後から安静状態の測定を始めた。

*昭和54年1月9日原稿受理

1), 2) 大阪産業大学教養部

被検者は入水後、30秒以内に運動を開始した。一定スピード（平泳ぎ、40m/min. で泳ぐために25mプールにおいて、40秒ごとにターンする）で泳がせるために、補助者がターンの10秒前から秒読みによって指示し、被検者はスピードを調整した。また、途中においても「少しスピードをあげて」、「少しスピードをおとして」という指示を与えて、可能なかぎり一定に保つように努力させた。体重測定は、安静時と運動終了10分後に水着のみ着用した状態で行った。

環境の測定として、水温はペッテンコーヘル水温計を使い、水面下50cmの水温を実験中2～3回測定した。水温の変化は0.1°C以内であった。気温、湿度の測定はアウグスト乾湿計を使い測定した。気温の変化は実験中、1°C以内であった。

直腸温は東洋電子製サーミスタ温度計(精度±0.1°C)を使い、直径3mmのカテーテルを10cm挿入した。皮膚温は上記の温度計を使い、直径9mmの円盤電極を外側広筋の中央部位にガムテープによって固定した。

体重減少量は感量50gの台ばかりにより、安静時と運動終了10分後の体重を水着のみ着用の同一条件で測定した。

水泳時の酸素摂取量は、マウスピースを使用するダグラスバッグ法により、呼吸を採取し、ショランダーガス分析器により酸素吸収率を測定し、酸素摂取量を求めた。最大酸素摂取量は負荷漸増法により、自転車エルゴメーターを用いて行った。

運動は平泳ぎで25mプールを30分間往復した。この負荷強度はRMRで5.5であり、被検者の48% $\dot{V}O_2\max$ に相当する負荷であった。

被検者T Fは年齢19才の健康な男子で水泳部に所属し、平泳ぎ選手としてクラブ活動を行っている。実験を通じて被検者は健康状態を保っていた。被検者の身体的特徴を以下に示す(Table. 1.)。

Table. 1. Physical and physiological characteristics of subject

| Subj. | Sex | Age yrs | Height cm | Weight kg | Rohrer's index | $\dot{V}O_2\max$ l/min |
|-------|-----|---------|-----------|-----------|----------------|------------------------|
| T.F | ♂ | 19.5 | 169 | 72 | 149 | 3.27 |

実験結果

Fig.1.2.3. は各水温の条件下において、泳運動を行ったときの直腸温の変化を示したものである。同じ水温で、同じ運動をした際に、直腸温は運動開始後、漸時上昇し、15分後あたりで38.1°Cに達し、その後定常状態を続け運動を終了している。水温が同じ場合、直腸温の変化もほとんど同じであることがみられた(Fig.1)。Fig.2において、28.2°C、24.2°Cの条件では28.0°Cのとき Fig.1と同様な変化で上昇した後、定常状態を示した。しかし、24.2°Cになると定常状態へ達する時間が遅れている。にもかかわらず、定常状態の水準は両者とも同じであった。

水温がさらに下がると(22.1, 17.9°C)、直腸温は一度は上昇するが、その後22.1°Cでは25分あたりから、17.9°Cでは15分ごろから下降を始めており、水温の低い方が下降の始まりが早いことがみ

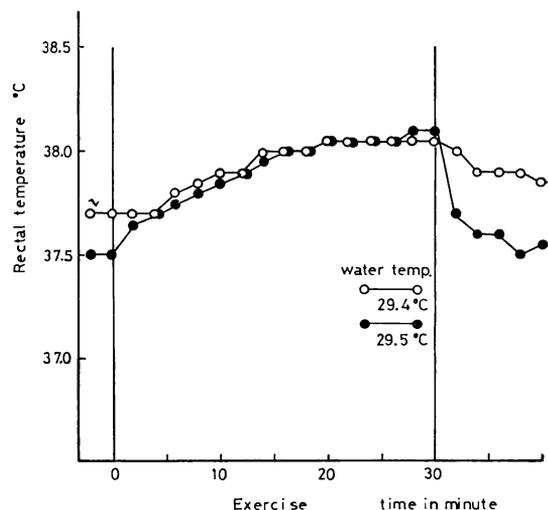


Fig. 1. Changes of rectal temperature during swimming at 29.5, 29.4°C in water temperature

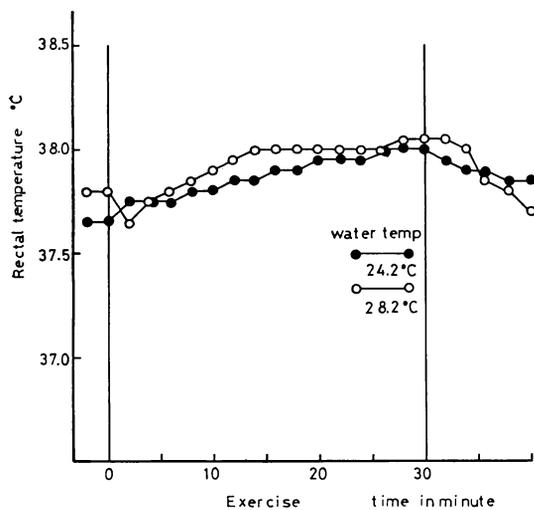


Fig. 2. Changes of rectal temperature during swimming at 24.2, 28.2°C in water temperature

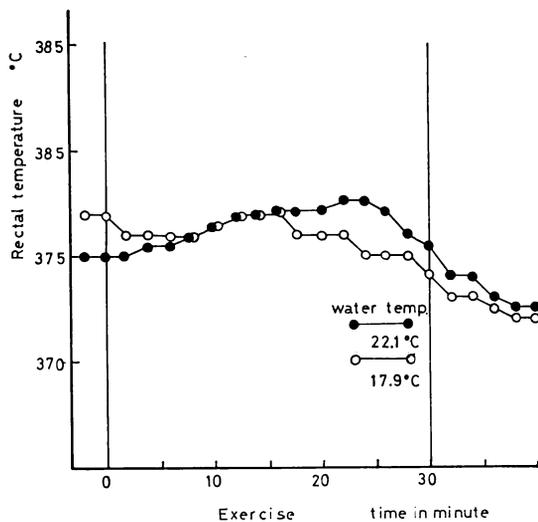


Fig. 3. Changes of rectal temperature during swimming at 17.9, 22.1°C in water temperature

られた。17.9°Cから29.5°Cの範囲における泳運動で、運動開始後、全例において直腸温は上昇するが、その後定常状態を続けるものと、下降を始めるものとが見られ、水温が低くなるほど下降が始まる時間が早くなる。定常状態は38.1°Cあたりで保れた。また、回復時において、定常状態を続けたものは安静時の水準に戻る傾向を示したが、下降したのものについては安静時以下の水準へ下降した。

Fig. 4. は水温と運動終了時の直腸温の関係を示したものである。安静時の直腸温は全例において近似した値 (\bar{X} , 37.55°C, $sd \pm 0.12^\circ\text{C}$) を示し顕著な差はみられなかった。水温24°Cあたりを中心にして、24°C以上では38.1°Cのところ定常状態を示し顕著な差を示さないが、24°C以上では低い値を示し、水温が17.9°Cのときは、安静時の値以下に下降していた。

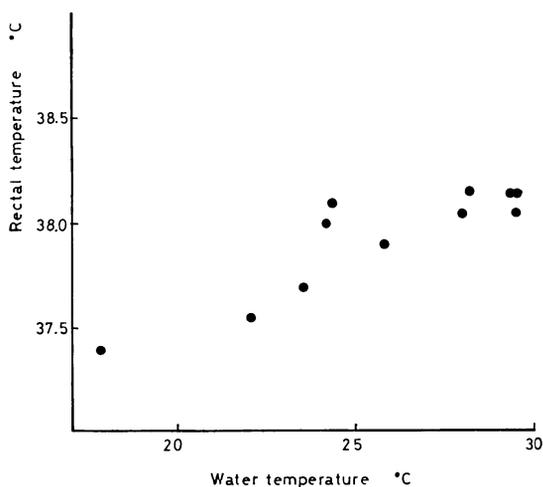


Fig. 4. Relationship between water temperature and rectal temperature after 30 min. of swimming

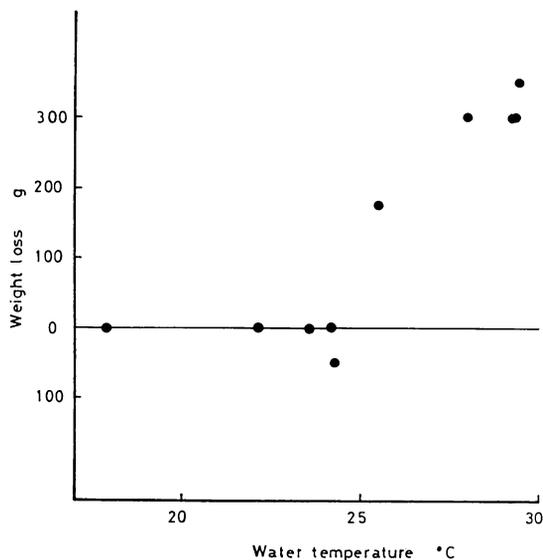


Fig. 5. Relationship between water temperature and weight loss after swimming

Fig. 5. は体重減少量と水温の関係を示したものであるが、直腸温と同様に、24°C以上では体重の減少がみられ、29°Cでは300~350 gの減少を示した。24°C以下では減少はみられなかった。24.2°Cでは、50 gの増加があったのは、運動中、被検者が水を飲んだためであった。

Fig. 6. は各水温下における運動時の皮膚温を示したものである。安静時32~35°Cであった皮膚温は、入水直後急激な低下を示した。

低下の度合は水温によって異なり、水温が低いほど、大きく低下した。運動中はほとんど変化を示さず、水温と同じような値を示した。運動終了後は急速に安静水準へ回復する傾向が示された。運動時の皮膚温は、身体部位の違いによる差がみられないことも予備実験から観察されたし、運動の影響による変化はほとんどなかった。

Fig. 7. は水中で直立姿勢で30分間安静状態にしているときの直腸温の変化を示した。水中暴露以前の高いときは低下し、低いときは大きな低下を示さず、終了時に同一の値(37.4°C)になった。

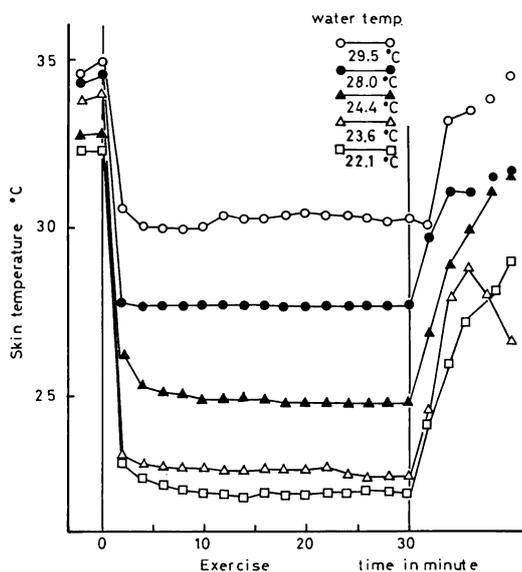


Fig. 6. Changes of skin temperature during swimming at different water temperature

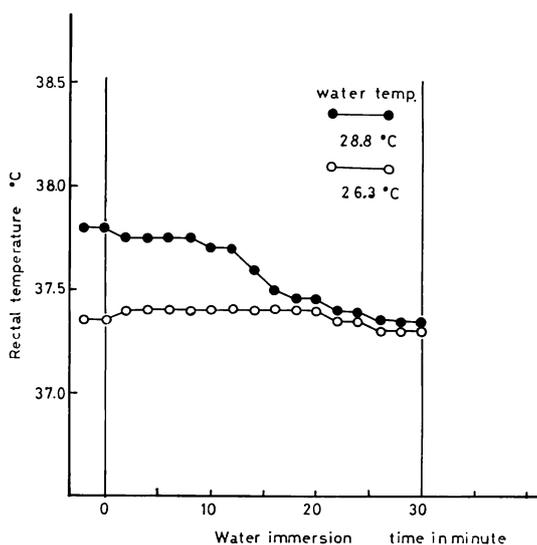


Fig. 7. Changes of rectal temperature in water immersion

考 察

運動時に体温が上昇することは知られており、この上昇が産熱と放熱の不均衡によるものではなく、気温などの外部環境に影響されず、運動強度に従って上昇し、定常状態を示す⁷⁾。また、Saltinら⁸⁾は有酸素作業能力に大きな差のある被検者を使い、運動強度—直腸温関係を調べ、最大酸素摂取量(\dot{V}_{O_2max})に対する相対負荷強度と直腸温とがこれらの被検者間でよく一致したことを報告した。鈴木⁹⁾はこの関係が低い負荷強度のときは成立するが、高い負荷強度のときは直腸温が定常状態に達することなく、被検者は疲労困憊となり、測定が不可能となったことを報告した。また、Lind⁵⁾は修正有効温度(Corrected Effective Temperature, CET)と直腸温の関係を明らかにし、CETが高くなると、運動時の体温調節に不均衡が生じ、運動強度が高くなるほど、CETの臨界温が低くなることを報告した。

今回の実験が温熱環境からみて、特殊な条件といえる水中での運動時の体温調節は、陸上において、巾広い気温の変化のなかで、直腸温は運動強度に従った変化を示したものが、泳運動においては、水温の狭い範囲のなかで示されることが考えられる。11例の実験から、水温24°Cあたりが臨界温になって

いるらしく、これ以上の水温では直腸温は上昇したレベルで定常状態を続け、以下では、下降を示すことが観察された。低水温（22.1°C, 17.9°C）の条件では、直腸温は運動が終了し、プールから上がり、回復に入った後も下がり続けた。これは身体の表層部が運動時に冷やされており、運動後もここから環流する血液が体内温（直腸温）に影響を与えたためであり、反対に、体内から体表への血流により、皮膚温は運動終了後、直ちに上昇を始めている。

水温が高いとき、運動開始後、直腸温は上昇し約15分後ぐらいから定常状態が見られる。今回の泳運動の負荷強度は被検者の48% $\dot{V}O_2\max$ に相当する負荷であった。Saltin⁸³らは50% $\dot{V}O_2\max$ での負荷のとき、運動終了時の直腸温は38.1°Cであったことを報告したが、本研究において、38.0°Cでたいへんよく一致した。また、泳運動では直腸温の定常状態の出現が早く見られ、陸上における運動よりも、身体の産熱と放熱がより促進された形で体温調節が行なわれていることが示唆された。しかしながら、Lind⁵¹の示した、運動時の体温調節に気温が影響を与える際の臨界温の上限について、泳運動ではどこにあるか興味あるところだが、本研究の最高水温が29.5°Cであり、上限はこれよりももう少し高いところにあるようだ。

水泳時の発汗は経験的によく聞くことであり、本研究でも水温によって発汗量が違い、水温が高いほど発汗量も多く、29.5°Cのとき30分間の運動が終了すると、350gの発汗があった。水中における発汗は蒸発による熱放散としての意味をもたないが、発汗作用が体内温の上昇に関連する現象であり³¹身体が水中にあっても発現するものであることを確認した。しかし、蒸発による熱放散ができなくても、直腸温が定常状態に保たれるのは、空気と比べ水の熱伝導度が大きいことから、この範囲の水温では、水中で身体を動かすことからくる、対流による熱放散だけでも、十分に体温調節が可能であると考えられる。

皮膚温については、水温とほとんど一致した値を示し、水中での皮膚温は水温の影響を最も強く受け、他の要因からはほとんど影響されないことが示された。しかし、水温が低いときは、皮膚血管の収縮により、水温と一致するだろうが、発汗が行なわれている水温の条件下では、血管の拡張が起こり皮膚温は上昇することも考えられることであり、測定の方法上に問題があるのかもしれない。

水中に静止させた状態にいると、水温（26°C, 28°C）が高くても直腸温が低下した。また、低下の度合は浸水前に高いときの方が大きかった。しかし、水浸終了時の値は同じであり、安静時における水温と直腸温には有意な関係があることを示唆している。これらとは別に、泳運動が体温に与える影響は個人によって違いがあることが考えられ、これらの要因に、皮下脂肪の厚さ、水泳経験の差からくる水に対する慣れの度合などがある。Cannon¹¹らも身体を低水温に浸水したとき、皮下脂肪の厚い人の方が薄い人よりも直腸温の低下の度合が低いことを報告しており、個人差の問題については今後の研究によって明らかにしていきたい。

引用文献

1. Cannon, P., and W.R. Keatinge. The metabolic rate and heat loss of fat and thin man in heat balance in cold and warm water. *J. Physiol* 154: 329-344, 1960.
2. Craig, A. B., and M. Dvork. Thermal regulation of man exercising during water immersion. *J. Appl. Physiol.* 25: 28-35, 1968.
3. Ethan, R., W. Robert, and A. R. Stolwijk. Importance of skin temperature in the regulation of sweating. *J. Appl. Physiol.* 31: 80-86, 1971.
4. Givoni, B., and R. F. Goldman. Predicting rectal temperature response to work, environmental and clothing. *J. Appl. Physiol.* 32: 812-822, 1972.
5. Lind, A. R. Physiological criterion for sweating thermal environmental limits for everyday work. *J. Appl. Physiol.* 18: 51-56, 1963.

6. Muido, L. The influence of body temperature on performance in swimming. *Acta Physiol. Scand.* 12: 102-109, 1946.
7. Nielsen, M. Die Regulation der Körpertemperature bei Muskelarbeit. *Skand. Arch, Physiol.* 79:193-230, 1938.
8. Saltin, B., and L.Hermansen. Esophagial, rectal and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol.* • 21: 1757-1762, 1966.
9. 鈴木邦雄, 運動をした際の直腸温の変化について, 大阪産業大学産業研究所報 創刊号:106-109, 1978.