

頭部の熱的被覆がスポーツ時の 体温調節に与える影響

大阪市立大学 綿貫茂喜

Effects of Head Heating on Body Temperature Regulation during Submaximal Exercise

by

Shigeki Watanuki
*Osaka City University, Faculty
of Science of Living*

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of head heating on physiological responses, especially the cardiac output and tympanic membrane temperature at rest and during submaximal exercise ($25\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ and $50\% \dot{V}_{O_{2\max}}$). The cap to supply the heat load to the head was prepared. The tube sewn onto the inner surface of the cap was connected to the thermostated bath. The supplied inlet water temperatures were 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50°C with a flow of 1.2 l/min. The skin temperature of the dorsal side of the hand showed the positive correlation with the tympanic membrane temperature at rest and the work intensity of $25\% \dot{V}_{O_{2\max}}$.

The cardiac output showed the positive correlation with the tympanic membrane temperature. It was supposed that the measure of tympanic membrane temperature might be useful to evaluate the efficiency of heat protection from the heat stress like a solar heat radiation by wearing the hat and cap.

要 旨

炎天下で運動すると運動による体温上昇ばかりでなく、太陽からの輻射熱によっても体温が上昇する。頭部は血液循環量が多いことから、生理負担を軽くするためには頭部は輻射熱から遮断されることが望ましい。本研究はどの程度の熱が頭部に加えられると生理反応、とくに鼓膜温と心拍出量に影響があらわれるのかを安静時、25% $\dot{V}_{O_{2max}}$ および 50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時において検討した。

手背の皮膚温は安静時および 25% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時において鼓膜温と正の相関を示した。同様に 25% $\dot{V}_{O_{2max}}$ および 50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時の心拍出量は鼓膜温と正の相関を示した。頭部を加温した時の主な生理的变化は鼓膜温の変化と密接な関係があることがわかった。したがって、輻射熱などから頭部を防護するための帽子の性能を評価する上で、鼓膜温の変化を指標とすることが有用であることが示唆された。

緒 言

頭部は体表面積の約 9% の面積を占めるだけでありながら、循環血液量の約 15% が身体の活動レベルにかかわらず流れており、しかも一部の血管収縮神経支配が欠如している。これらの事実は頭部が体熱の放散機構として重要な部位であることを示す。したがって寒冷下では安静時のように産熱量が小さい時には体温の低下を防ぐ上で頭部の熱的被覆が必要となる。しかし運動時には放熱量が大きくなるため、頭部を被覆することは放熱を抑制することになり体温が上昇し、不快感の増加、運動成績の低下などの原因となることが考えられる。

このように頭部は体温調節上重要な部位でありながら、頭部の被覆に関する被服生理学的研究は、躯幹部や四肢を覆うスポーツウェアに関する研究ほどなされていないのが現状である。ただ軍

用衣服や防護服については体熱放散手段として頭部の冷却に関する研究がなされているに過ぎない¹⁻⁵⁾。そこで本研究では頭部被覆の役割を考察するための第一段階として、頭部に熱を加えらるゝ程度の生理的变化が生じるのか、もし生じるのであればどのような指標から生理的負担を軽減する方法を考察できるかを検討した。

1. 方 法

頭部を被覆して熱負荷を与えるために特殊なキャップを作製した。キャップの被覆面積は約 0.06 m²であった。キャップの内側には渦状にチューブを巻き、チューブ内に温水あるいは冷水を毎分約 1,200 ml で循環させた。水温は 25, 30, 35, 40, 45, 50°C の 6 種類とした。

被験者は鼓膜温および皮膚温測定用センサーを装着した後に自転車エルゴメータ上で 30 分間安静にした。つぎに被験者はキャップをかぶり、30 分間同様に安静（加温安静時）にした後、最大酸素摂取量の 25% に相当する負荷で 20 分間作業をして、さらに 50% に相当する負荷で 20 分間作業を連続して行った。この間、酸素摂取量、心拍数、CO₂ 再呼吸法による心拍出量、鼓膜温、および 12 ヶ所の皮膚温を測定した。被験者は 5 名の健康な女子大学生とした。得られた測定値は加温安静時、作業時および回復時の各値について加温前最後の値を減じた変化量であらわした。

2. 結 果

図 1 は安静から回復までの心拍数の変化量の平均値を温度別に示した。心拍数の変化量とは加温安静時、作業時および回復時の心拍数から加温前最後の心拍数を減じた値である。加温安静、25% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 、50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業のいずれの条件においても頭部を加温することによって心拍数は変化した。とくに 50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時では頭部に加えた温度によって心拍数は大きく変化し、水温が 50°C

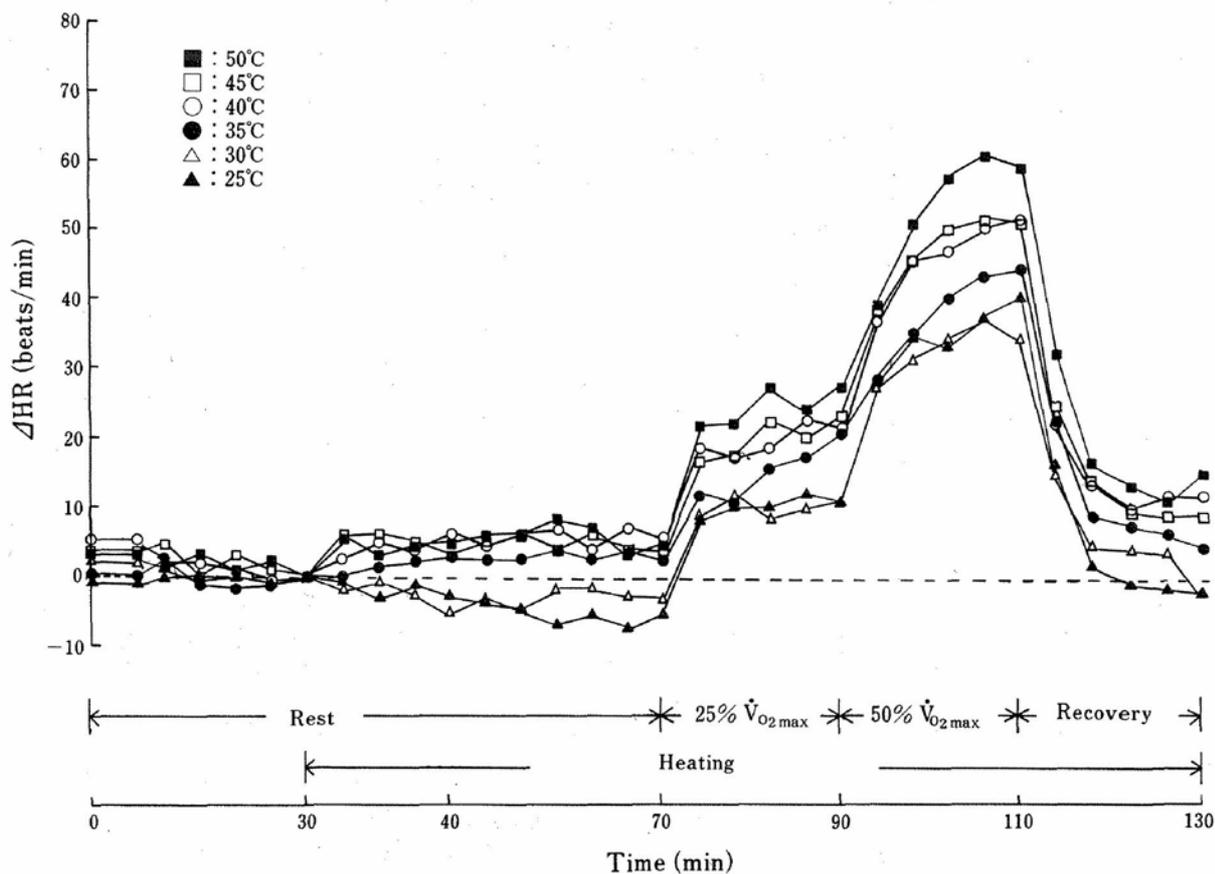


図1 The change in heart rate during four periods (control, heated rest, 25% \dot{V}_{O_2max} and 50% \dot{V}_{O_2max}) by head heating at each water inlet temperature.

では水温 25°C の時よりも約 20 拍/分ほど大きくなった。

同様な頭部加温の影響が皮膚温や鼓膜温でもみられた。図2は加温安静時でのそれらの変化を示す。鼓膜温は頭部に与える温度が高い程上昇した。50°Cで頭部を加温すると鼓膜温は約0.7°C上昇した。また頭部加温によって手背や足背などの末梢部位の皮膚温は上昇した。以上のように本研究で用いた頭部加温の方法は十分に生理的变化を引き起こすことが示された。

図2に示した手背の皮膚温は加温安静時と25% \dot{V}_{O_2max} 作業時において鼓膜温と正の相関を示した(図3)。つまり、頭部を加温して鼓膜温を上昇させるとその上昇にともなって手背の皮膚温

も上昇した。この関係は手背においてのみ見られた。なお50% \dot{V}_{O_2max} 作業時では両者に相関関係はなかった。これは産熱の増加によって手背に発汗が生じたためと思われる。

作業をすると、酸素摂取量や心拍出量は頭部に与える温度が高いほど増加する傾向を示した。図4は安静時と50% \dot{V}_{O_2max} 作業時での一回換気量(ΔV_T)、呼吸数(ΔF_R)、毎分換気量(ΔV_E)、酸素摂取量($\Delta \dot{V}_{O_2}$)を水温別に示したものである。各値において安静時では水温による違いはないが、作業時には水温50°Cで加温した時の毎分換気量と酸素摂取量は水温25°Cの時より有意に増加した。

図5は心拍数(ΔHR)、一回拍出量(ΔSV)、心

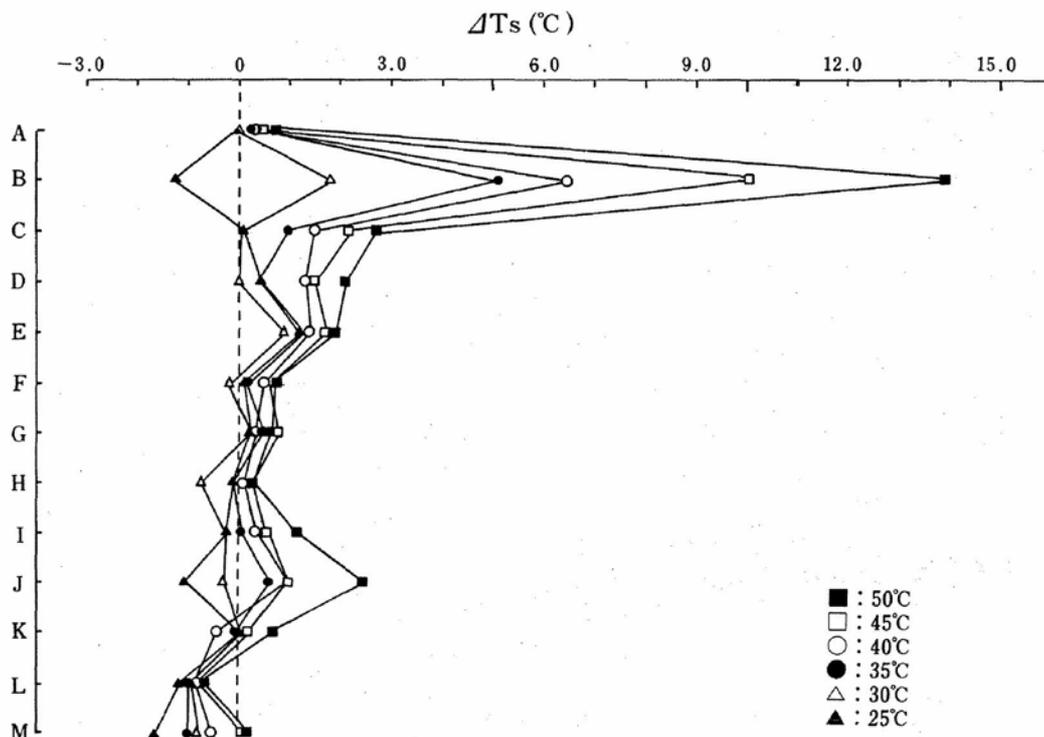


図2 The change of the skin temperature and tympanic membrane temperature at heated rest by head heating. A : tympanic membrane, B : vertex, C : forehead, D : cheek, E : larynx, F : chest, G : abdomen, H : upperarm, I : forearm, J : dorsal side of the hand, K : thigh, L : leg, M : dorsal side of the foot.

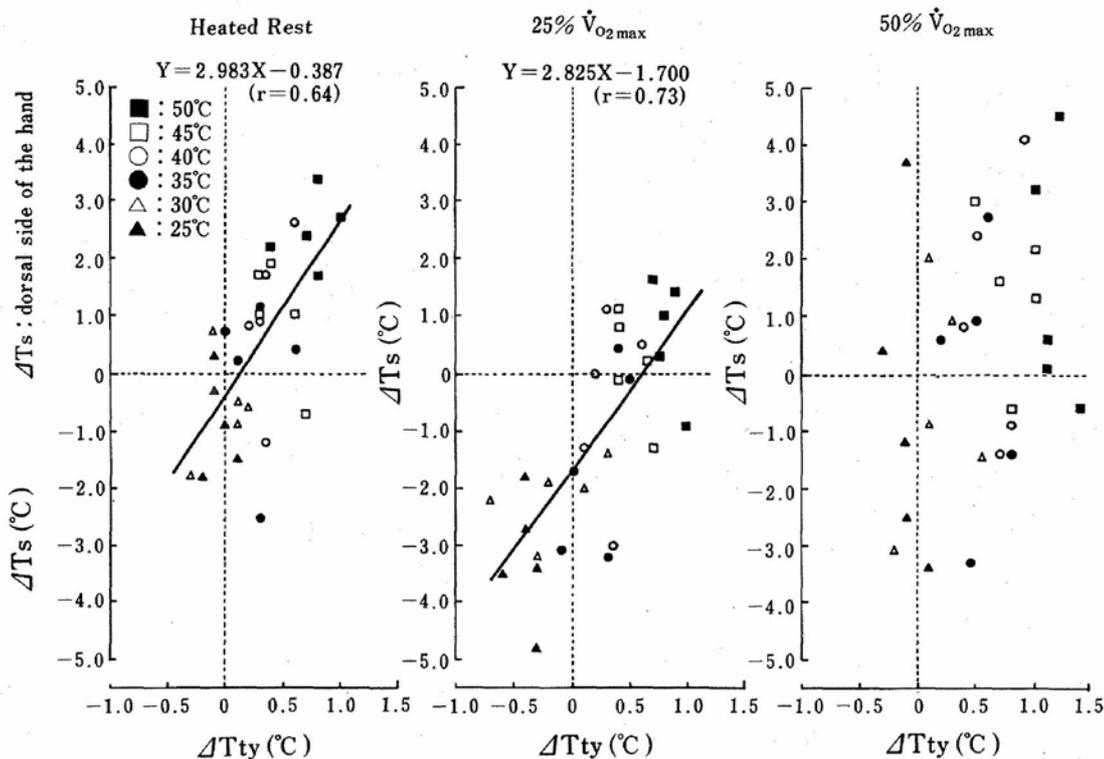


図3 The relationship between the skin temperature of dorsal side of hand and tympanic membrane temperature by head heating.

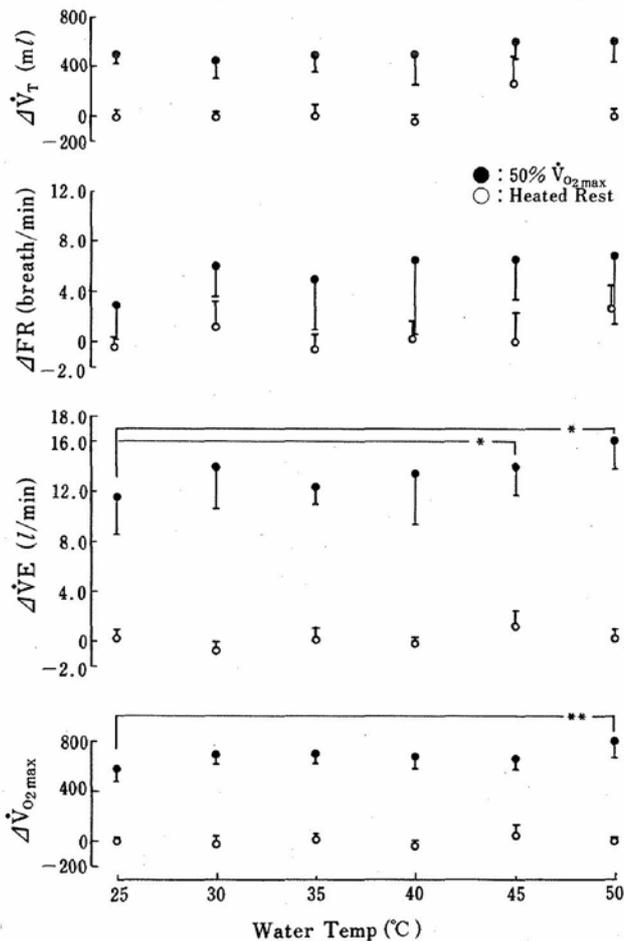


図4 The change of tidal volume (ΔV_T), respiratory frequency (ΔF_R), ventilation (ΔV_E) and cardiac output (ΔQ) at each water inlet temperature by head heating.

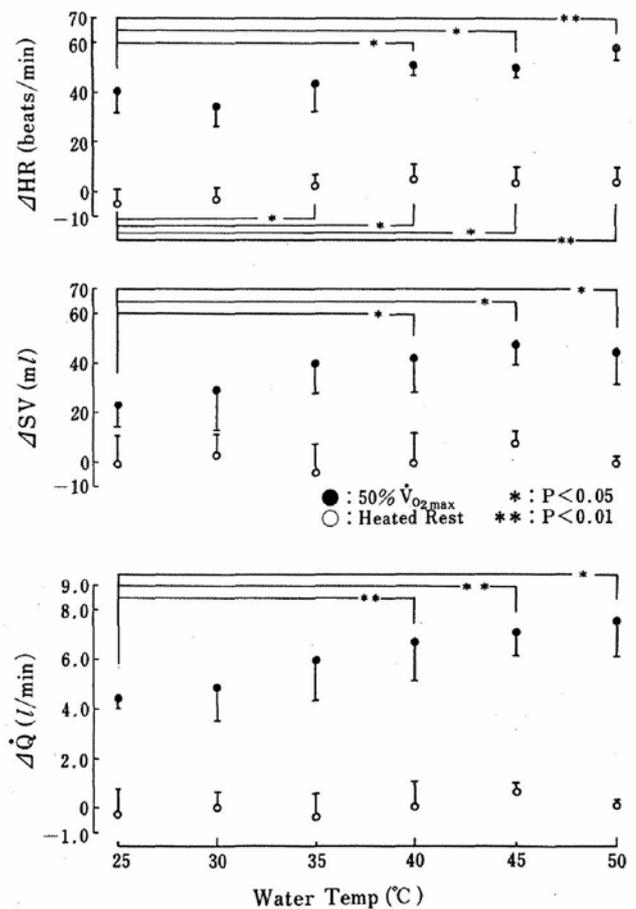


図5 The change of heart rate (ΔHR), stroke volume (ΔSV) cardiac output (ΔQ) at each water inlet temperature by head heating.

拍出量 (ΔQ) を図4と同様に示したものである。50°Cで頭部を加温して50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業を行った時の心拍数、一回拍出量および心拍出量は水温が25°Cの時の値より有意に増加した。つまり同一作業強度であっても頭部に加えた熱量が大きいと心拍出量など循環系の負担は増加する。頭部加温による心拍出量の増加は鼓膜温の上昇と正の相関があった(図6)。つまり熱が頭部に与えられることによって鼓膜温が上昇するが、その上昇は心拍出量の増加と密接に関係していた。

3. 考 察

頭部を加温すると、安静時においては酸素摂取

量や心拍出量は変化しなかったが、心拍数、鼓膜温、手背や足背の皮膚温は頭部に加える熱量が大きい程上昇した。作業時には作業強度が50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 作業程度では酸素摂取量や心拍出量が頭部を加温することによって増加した。とくに血液の循環量を示す心拍出量は酸素摂取量よりも低い熱量で増加した。以上のように頭部を加温すると、体温や呼吸循環系の負担が増加した。

頭部加温によって大きな変化を示した手背の皮膚温と心拍出量は図3と図5に示すように、鼓膜温と傾きが正の一次回帰関係を示した。つまり鼓膜温の上昇にともなって皮膚温は上昇し、心拍出量も増加した。

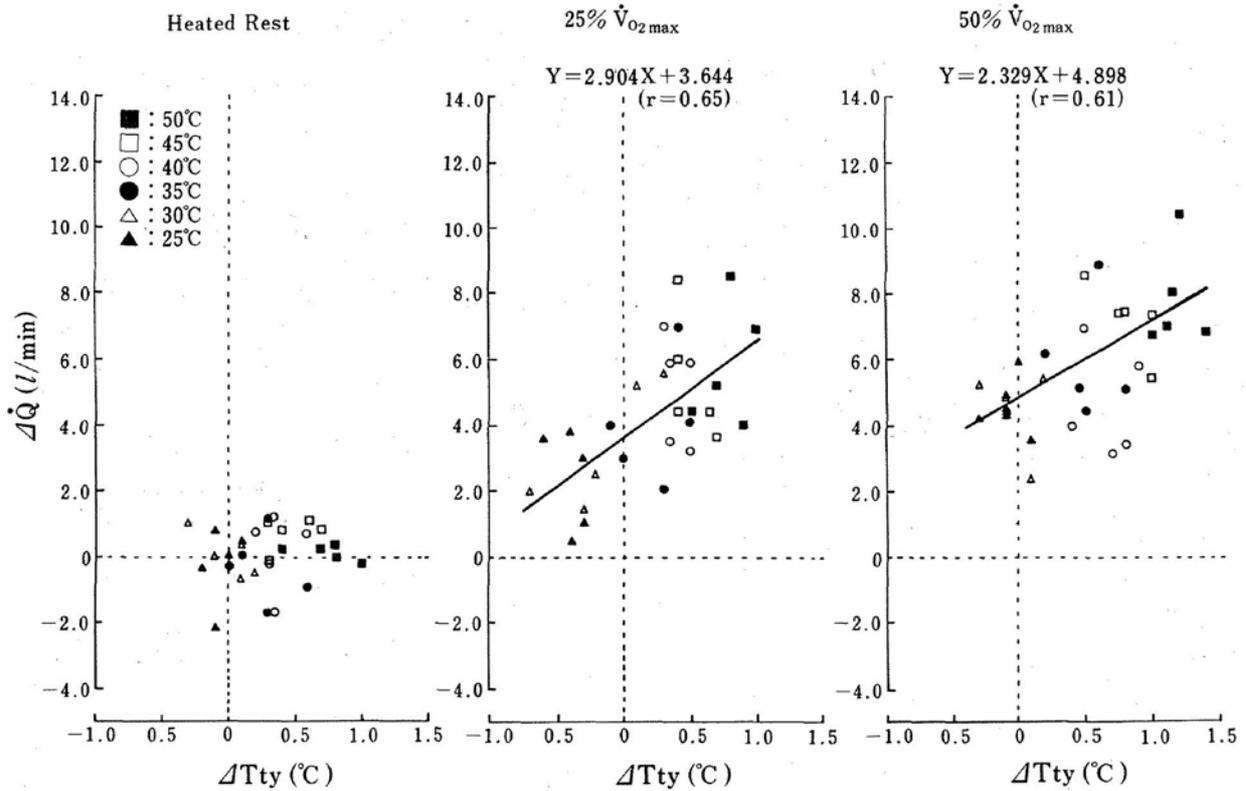


図6 The relationship between cardiac output and the tympanic membrane temperature.

鼓膜温は深部体温を示す指標のひとつである。本研究は頭部を直接加温したため、本研究での鼓膜温の値は深部体温を示すわけではないが、種々の中枢のある頭部内の温度を反映していると思われる。

一般に四肢の皮膚温は躯幹部の皮膚温より低い。この事実は放熱に都合がよい。なぜならば放熱のために皮膚血流量を増して、すなわち心拍出量を増加させて皮膚温を上昇させるにしても、四肢の皮膚温はもともと低いために皮膚血流量を増せば容易に皮膚温が上昇し、外環境との温度勾配を拡大しやすいためである。これらの体温調節反応は視床下部への種々の信号が統合された結果として行われると推測されている。

本研究において手背の皮膚温が大きく変化したことは頭部の加温が信号のひとつとして体温調節

中枢を刺激したためと推察される。その刺激信号の程度を鼓膜温はあらわしている可能性があるように思われる。

頭部への熱負荷は上述のような生理的負担を引き起こすが、その生理負担の程度を鼓膜温によってある程度予測することは本研究結果から可能であると思われる。逆にいえば頭部に熱負荷が加わるような状況下、例えば太陽からの輻射熱が大きい場合などは熱負荷を軽減あるいは遮断する工夫が必要となるが、その工夫の熱遮断効率を評価する上で鼓膜温を測定することは有用であろう。

一方、運動によって産熱が増加し、その結果鼓膜温が上昇するような運動条件では頭部を積極的に冷却する装置を開発すれば回復を容易にするのかもしれない。

ま と め

頭部に熱を加えた時の生理反応, とくに鼓膜温と心拍出量の変化を安静時, $25\% \dot{V}_{O_{2max}}$ および $50\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時において検討した. 手背の皮膚温は安静時および $25\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時において鼓膜温と正の相関を示した. 同様に $25\% \dot{V}_{O_{2max}}$ および $50\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 作業時の心拍出量は鼓膜温と正の相関を示した. 頭部を加温した時の主な生理的变化は鼓膜温の変化と密接な関係があることがわかった. したがって, 輻射熱などから頭部を防護するための帽子の性能を評価する上で, 鼓膜温の変化を指標とすることが有用であることが示唆された.

文 献

- 1) Nunneley, S. A., S. J. Troutman, Jr., P. Webb ; Head cooling in work and heat stress, *Aerospace Med.*, **42**, 64-68 (1971)
- 2) Shvartz, E. ; Efficiency and effectiveness of different water cooled suits-A review, *Aerospace Med.*, **43**, 488-491 (1972)
- 3) Williams, B. A., A. Shitzer ; Modular liquid-cooled helmet liner for thermal comfort, *Aerospace Med.*, **45**, 1030-1036 (1974)
- 4) Nunnely, S. A., R. J. Maldonado ; Head and / or Torso cooling during simulated cockpit heat stress, *Aviat. Space Environ. Med.*, **54** (6) 496-499 (1983)
- 5) Kissen, A. T., J. F. Hall, Jr. F. K. Klemm ; Physiological responses to cooling the head and neck versus the trunk and leg areas in severe hyperthermic exposure, *Aerospace Med.* **42** (8) 882-888 (1971)