

各種スポーツウェア着用時における 運動中の体温調節

横浜国立大学 保健管理センター 内 野 欽 司

I. はじめに

これまでヒトの体温調節に及ぼす衣服の影響についての研究で、体温調節中枢である視床下部との関係を追求した文献は見当たらない。この点に着目し、著者らは、視床下部温の良き指標となる鼓膜温を、激運動時でも測定できる装置を開発したので、これを用い、環境温変化時および走運動時の体温調節に及ぼす sportswear の影響を、視床下部の中枢性体温調節機能の面から検討してみた。とくに、Cabanac, Caputa, McCaffey たち^{1~3)} が述べているように、視床下部の動脈血温は頭部皮膚面に接する外気温に影響されることが多いので、hood 付き sportswear についても検討を加えた。

また、視床下部の中枢性体温調節機構を知る前に、末梢性体温調節機構の一端を知る目的で、環境温にもっとも影響されやすい皮膚温と皮静脈血温に対する sportswear の機能を検討した。

II. 実験方法

(1) 高感度鼓膜温測定装置：

図1aに示すように、先端に、滑らかな dome 型のガラスにおおわれた高感度 bead 型 thermistor があり、その底面（直径 0.5mm^2 ）に thermistor を接続する lead 線を取り巻いて、長さ 15mm の極めて柔らかい spring がある。spring の上端はガラスの底面と、下端は外耳道に probe を固定するための管と接続している。

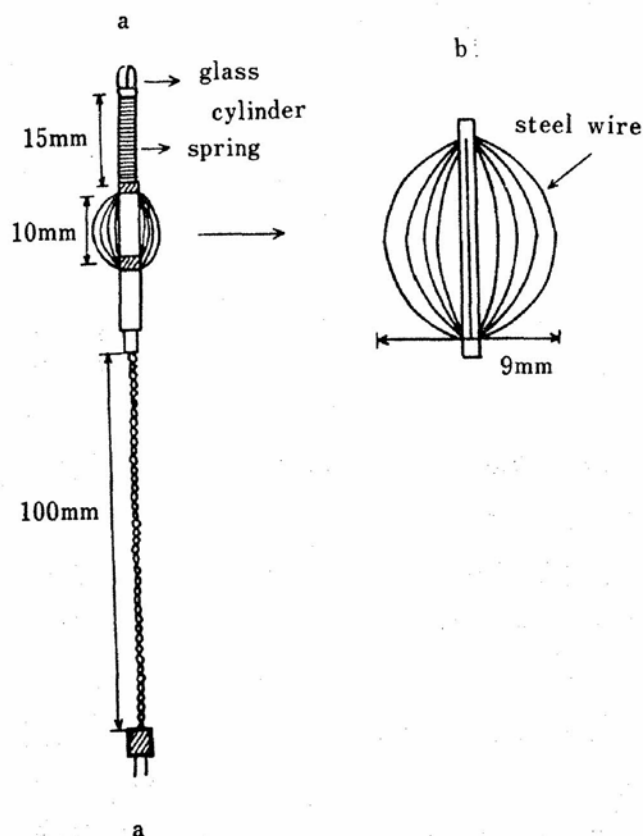


図1 Assembly of a spring-type ear thermometer to measure human tympanic membrane temperature.

図1a および b で示すように、この管の外側には直径 300μ の steel 線が 8 本、弓状に両端で溶接されていて、その弾性により、外耳道を軽く圧迫するようになっている。

鼓膜に thermistor が接触し、外耳道にこの probe が固定されると、spring は約 5mm に短縮し、鼓膜に thermistor による極めて軽度な恒常の圧が加わる。この状態の thermistor は、激運動時でも鼓膜から離れることはない。細心の注意を払って probe を外耳道に挿入し、thermistor

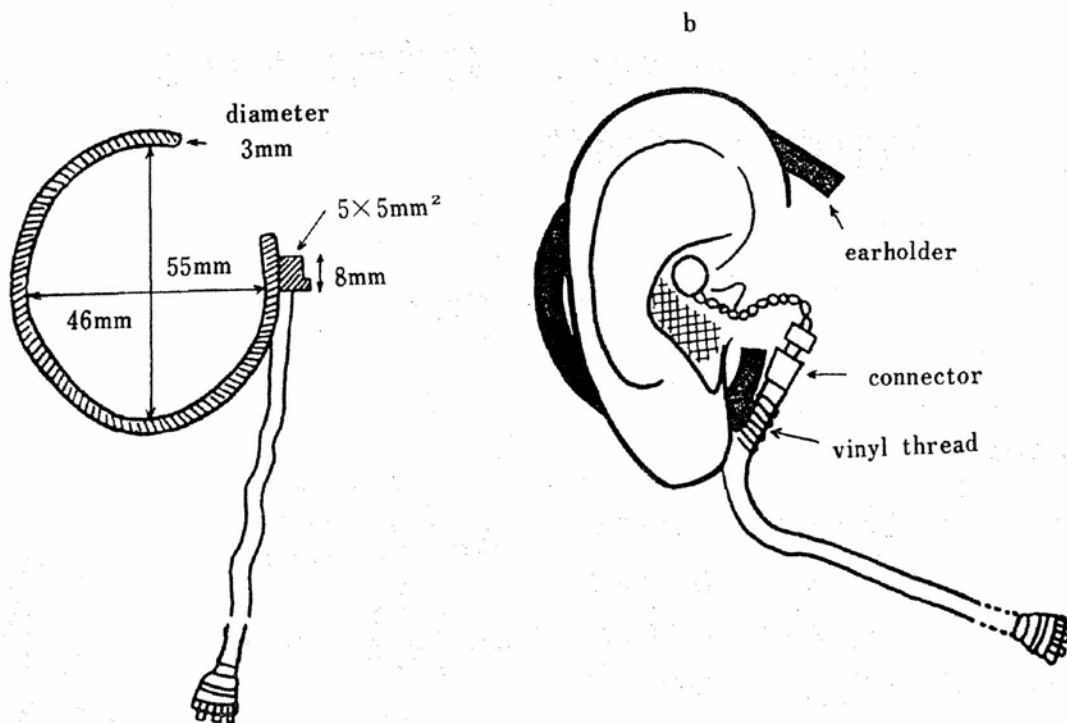


図2 a. Design of earholder.
b. Fixation of earholder to the pinna.

を鼓膜に接触させると、瞬間被検者は痛みを感じるがすぐ消失する。

図2 a は probe の earholder を示し、直径 3mm の ebonite 製で、だ円形であり、静電気の発生を防ぐために薄いゴムでおおっている。

図2 b は、earholder に probe を接続した状態を示している。激運動時には、earholder を絆創膏で耳翼後部に固定した。鼓膜温は、激運動時でもその変化が極めて小さいので、その微小変化分を増幅して記録した。

(2) 実験：

実験は、1980年12月、翌年1月に主として行った。被検者は体育科男子学生3名で、耳科疾患の既往症がなく、鼓膜に異常のない者を選んだ。直腸温は、probe を直腸に約 12cm 挿入して測定し、皮静脈血温は、肘静脈に静注針の先端に熱電対を封入したものを刺入して測定した。皮膚温は、前額部、上腕部、前腕部、大腿部など、そのときに応じて thermistor により測定した。心拍数は、心電図により測定した。運動負荷には、

treadmill あるいは bicycle ergometer を用いた。基礎実験として、室温の上昇、下降の繰返しを行ったときの各部位の温度測定を行った。

III. 実験成績ならびに考察

図3は、環境温 (T_a) 25°C、湿度 (RH) 50% を、15分間で T_a 30.4°C まで上昇させた (II) 後、15分で 23°C まで下降させ (III)、再び20分間で 34.4°C まで上昇させた (IV) 後、10分間で 24.5°C まで下降させた (V) ときの直腸温 (T_{re})、鼓膜温 (T_{ty})、皮膚温 (T_s)、(T_{s1} は前額部、 T_{s2} は上腕部) をあらわしている。

もっとも温度変化の大きかったのは T_{s2} で、約 4°C の変化であったが、 T_{s1} の最大変化は約 2.5°C であった。 T_{re} は約 0.8°C の変化を示し、室温上昇時 (IV) で initial fall が著明に観察された。それに反し、 T_{ty} の変化は極めて小さく、 T_a を 23.5°C (III) から (IV) の状態、あるいは (IV) から (V) に変化させたとき、それぞれ約 0.4°C の上昇あるいは下降を示したに過ぎ

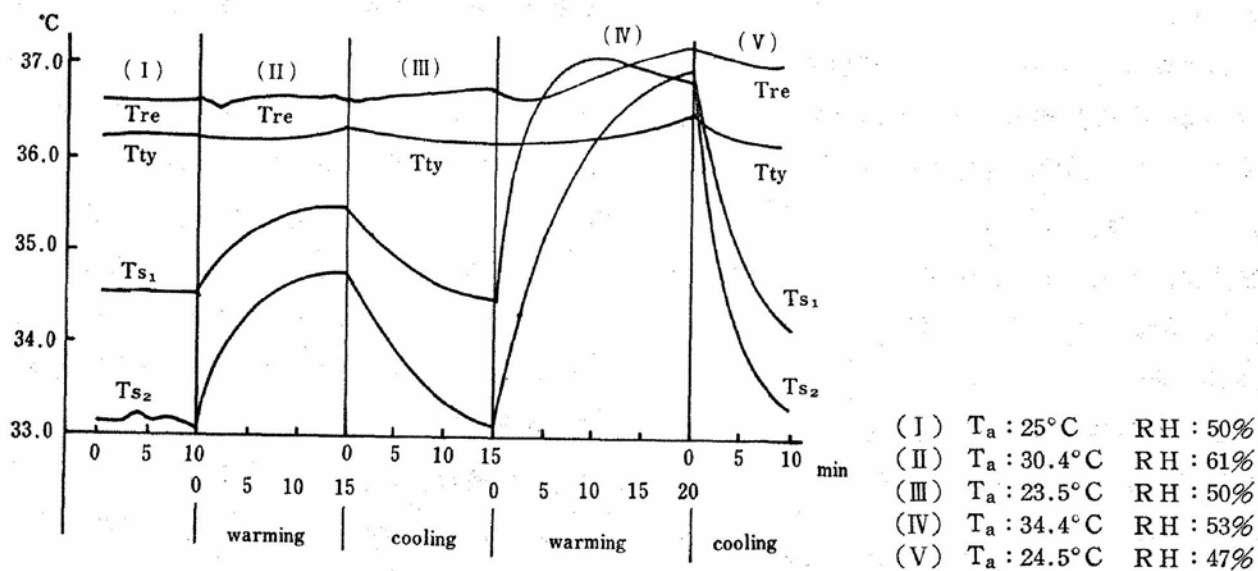


图3 Changes of rectal temperature (T_{re}), tympanic membrane temperature (T_{ty}) and skin temperature (T_{s1}) at the external warming and cooling.
 T_{s1} : forehead, T_{s2} : upper arm.

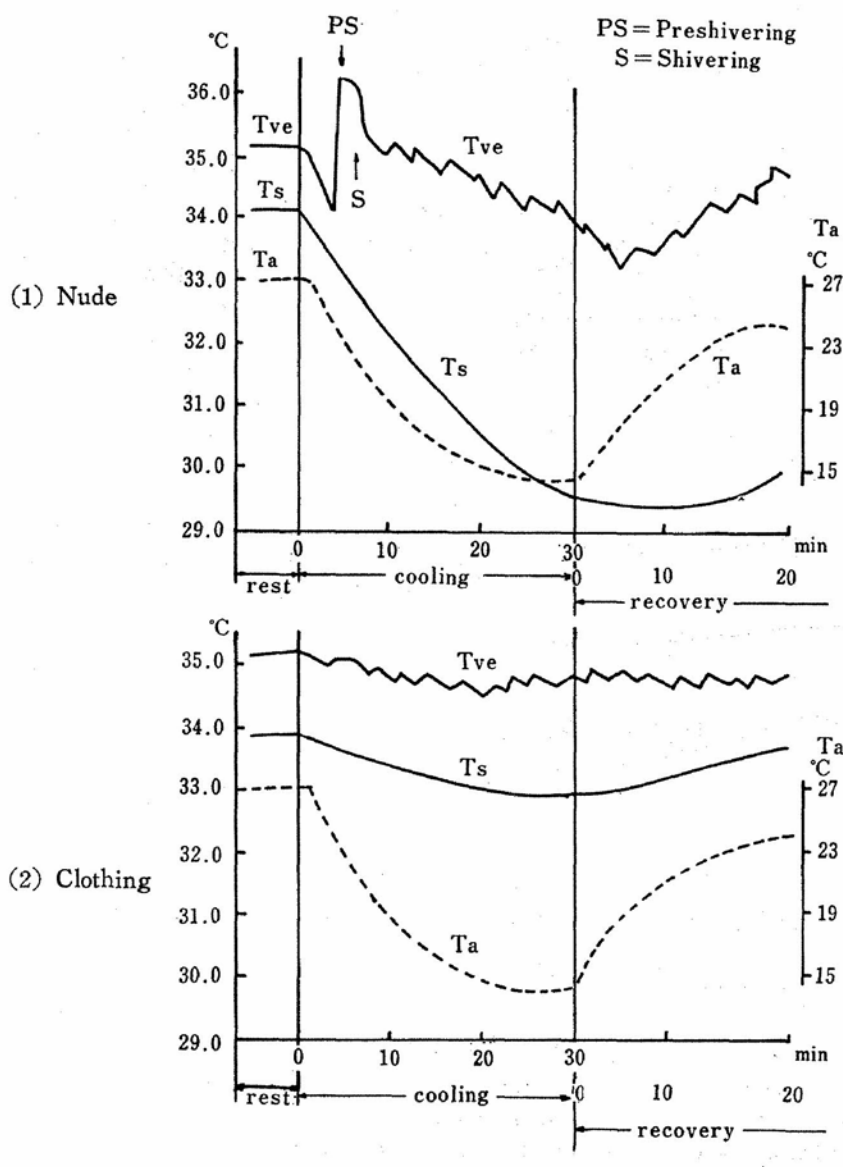


图4 Changes of cubital vein and arm skin temperatures at the cooling in ambient temperature.
 PS: preshivering.,
 S: shivering.,
 Tve: cubital vein temp.,
 Ts: arm skin temp.,
 Ta: ambient temp.

なかった。

この成績は、Nadel ら⁴⁾ が、安静時の鼓膜温が 22~44°C の環境温下では、環境温が 1°C 変化すると 0.04°C 変化すると報告しているが、これと一致した。

図 4 は、1 例の定型的な成績を示し、33°C の Ta を 30 分間で 14°C まで下降させたとき、(1) athletic shorts のみのとき、(2) training suit DST 15 F 着用時、の肘静脈血温度 (Tve)、Ts (前腕部) 変化をあらわしている。

(1) Nude の場合は Ts が急速に下降し、Ta

を再び上昇させた後もなお下降を続けて、10 分後に 12°C となってからやっと上昇した。安静時 35.2°C の Tve は、Ts と同様に初期に下降して 34°C になったが、約 3 分間で急速に上昇して 36.2°C となって、preshivering の状態を示した。続いて、shivering 発生とともに急速に下降し、以後 fluctuation を示しながら下降して、Ta を再び上昇させたあともなお約 3 分間下降して、最低 33.2°C となった。

他の被検者の実験例と比較するとき、preshivering, shivering 時点の Tve 上昇・下降は、Ta

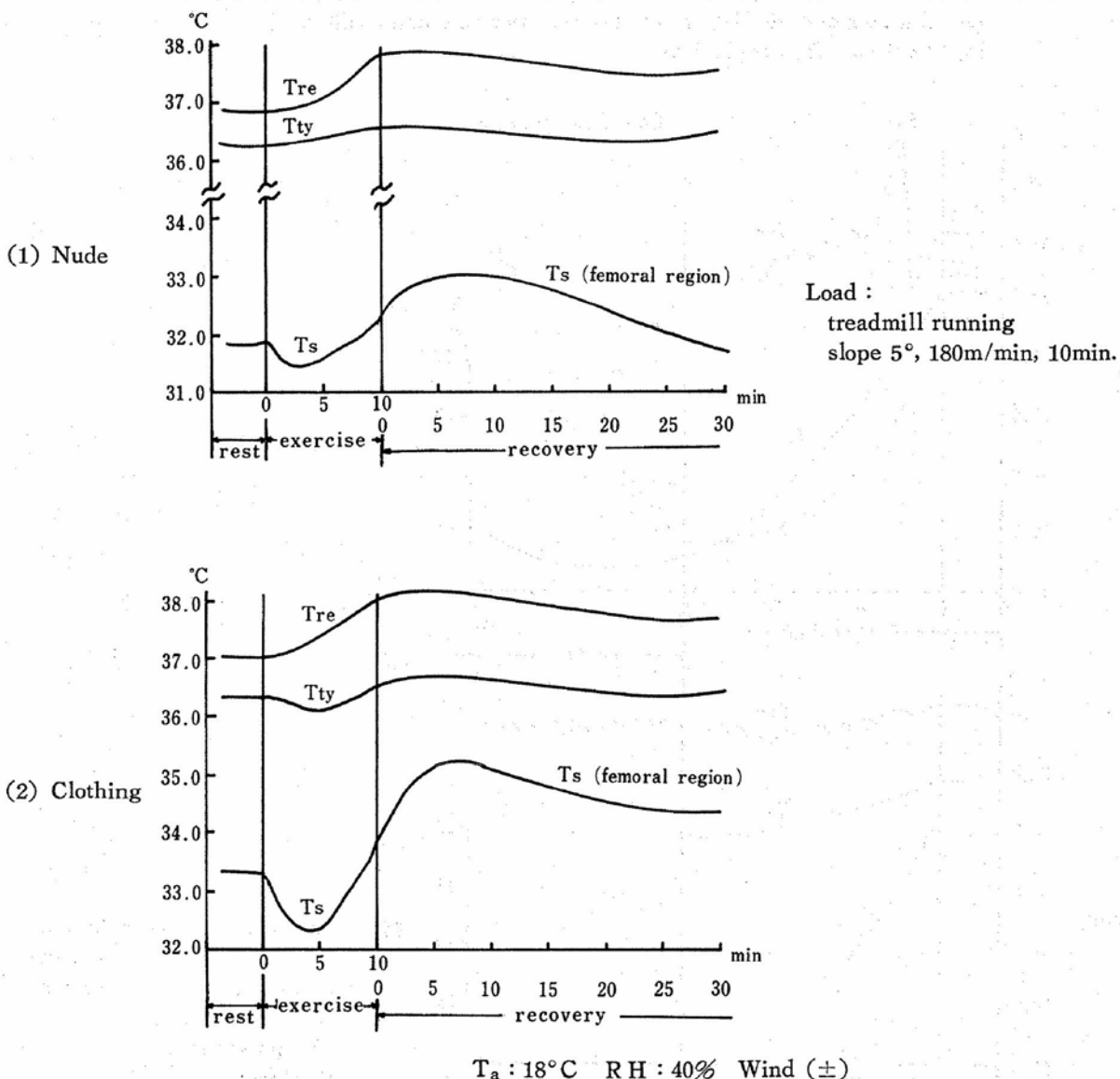


図 5 Changes of rectal, tympanic membrane and skin (femoral region) temperatures at the treadmill running in the nude and clothing.

Tre : rectal temp., Tty : tympanic membrane temp., Ts : skin temp.

下降の勾配によって異なり、勾配が緩やかである場合は preshivering 点が遅く生じ、Tve の上昇程度および下降程度も小さかった。

しかし (2) Clothing の場合は、1 側の前腕肘静脈部を露出していたが、全例で shivering はみられず、Tve は軽度の fluctuation が観察されたが、ほとんど下降しなかった。Ts の下降程度も約 1°C に過ぎず、Ta を再び上昇させたときも直ちに上昇した。

図 5 は、Ta 18°C 、RH 40%、無風時に、treadmill の傾斜 5°C で、180m/min、10分間の負荷を与えたときの成績の 1 例である。

(1) Nude (athletic shorts のみ)、(2) Clothing (training suit) 時の変化を比較すると、Tre は、安静時に (1) のとき (2) より 0.2°C 低かったが、運動による Tre 上昇程度は、(2) の場合に (1) より 0.3°C 高かった。Tty は、(1) でほとんど initial fall がみられなかったが、(2) の場合では 0.15°C の initial fall が観察された。

このことは、運動初期に (2) の場合のほうが (1) より、Tre と Tty の差が大きくなったことを示し、視床下部の set point が低下して、深部温が上昇するため load error が大となって放熱機構を強めているものと推定できる。

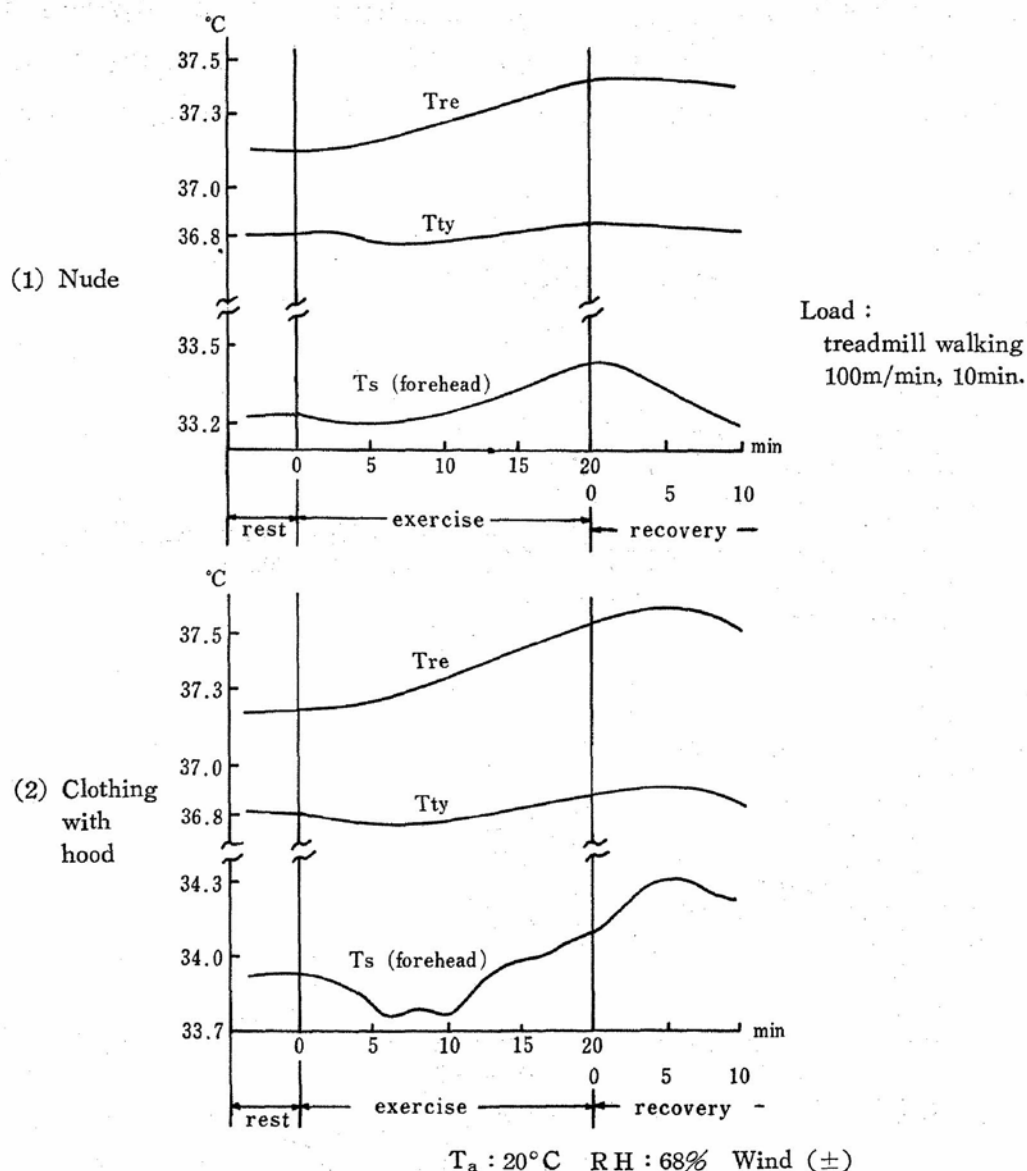


図 6 Changes of rectal, tympanic membrane and skin (forehead) temperatures at the treadmill walking in the nude and clothing with hood.

すなわち(2)のときは、激運動による急変な大きい産熱を放熱させる機構が運動初期に生じうことを示している。また、安静時、 T_s は(2)の場合が(1)より 0.5°C 高く、運動開始時の下降程度、その後の上昇程度も(1)より大であった。

このことは、運動開始時皮膚血液の静脈還流が、(2)の場合に(1)より大きいとも考えられ、運動後期、回復期の皮膚血管拡張による放熱が大であることが理解できる。

図6は、 $T_a 20^{\circ}\text{C}$, RH 68%, 無風時 treadmill で 100m/min, 10分間歩行させたときの成績の1例である。このとき、(2)の場合は hood つき training suit DST 170, 170P を用いた。

(2)のときは(1)より、歩行による T_{re} 上昇程度が 0.1°C 高く、 T_{ty} の initial fall の程度が

0.05°C 大きかった。また、前額部 T_s の運動初期下降程度および運動後期と回復期の上昇程度も大きかった。しかし、他の被検者で行った hood なしの suit と hood つきの training suit の場合の、同一負荷による実験成績では、hood による差は認められなかった。この程度の環境温とこの程度の運動負荷時では、hood の影響は認められないのかも知れない。

図7は、 $T_a 17^{\circ}\text{C}$, RH 50%, 無風条件下で、bicycle ergometer による 150W, 60分間負荷時の成績の1例である。(2)では hood つき training suit を用いた。

(2)のときは(1)より、 T_{re} の上昇程度が約 0.2°C 大きく、 T_{ty} の initial fall の程度が 0.1°C 大きかった。(2)の場合、 T_s (前額部) は運動中にむ

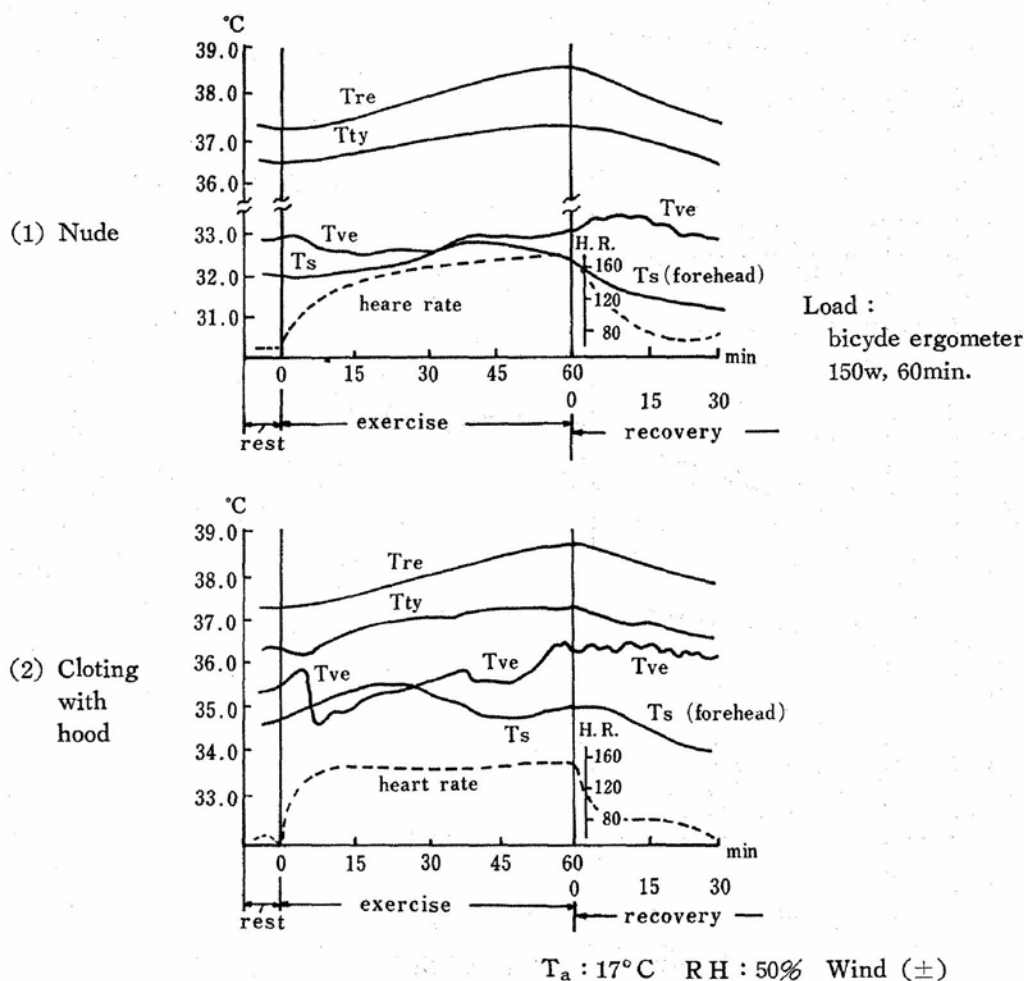


図7 Changes of rectal, tympanic membrane, skin (forehead), cubital vein temperatures and heart rate at the bicycle ergometer exercise.

しる上昇を示した。しかし他の実験例では、運動初期に 0.1°C 以上下降した。Tve は(2)の場合、運動初期 0.6°C 上昇した後急激に 1°C 以上下降した後、再び上昇し、56分後に 36.2°C となり、fluctuation (venomotor response をあらわすものと考えられる)を示しながら、運動終了後30分間以上も下降せず推移した。(1)の場合は大きい変動を示さなかった。心拍数は(1)のほうが(2)の場合より約10拍増加していた。

以上の成績は、(2)のほうが運動中の体温調節を合理的に行っていることを示している。とくに(2)の Tve 変化は、前腕深部の温い静脈血が無弁の深部静脈と肘静脈との交通枝を経て肘静脈に流入することにより、運動と同時に上昇し、その後、静脈還流により下降し、運動後期には放熱のため筋の静脈系から温い血液が皮静脈に入るため上昇し、筋ポンプ作用によるリズムに従って fluctuation が生じたものと解される。

図5, 7のように、 T_a が 17°C , 18°C であったとき、(1)の状態では shivering は生じなかったが、寒さと不快さを被検者は感じた。恐らく、視床下部 set point と深部温に差があり、深部温が低かった場合 (hypothermic) であったと思われる。このとき、図5のように hood なしの training suit より、図7のように hood 付き training suit を着たときに、より大きく快適さを被検者は感じている。このことは、 18°C 以下の T_a 時では、hood 付き training suit を着用して運動にそなえるほうが合理的である、と結論づけられる。

IV. 結 論

(1) 安静時および運動時の体温調節に及ぼす sportswear の影響を知るために実験を行った。

(2) 末梢性体温調節に大きい役割をもつ皮静脈血液は、 17°C 以下の環境温下で sportswear を着用したとき、運動時体温調節の効率を高めた。

(3) 20°C 以下の環境温下で locomotive exercise を行うとき、sportswear 着用時のほうが中枢性体温調節の効率を高め、set point と深部温との差を運動初期に大きくして、放熱機構を促進した(ただし運動負荷は $100\text{m}/\text{min}$, 10分間の歩行, treadmill 傾斜 5°C , $180\text{m}/\text{min}$, 10分間, bicycle ergometer 150W , 60分間の場合である)。

(4) 18°C 以下の環境温下で安静しているときには、hood 付き training suit 着用時が快適さを感じた。

文 献

- 1) Cabanac, M., M. Caputa ; Natural selective cooling of the human brain evidence of its occurrence and magnitude, *J. Physiol.*, **286**, 255—264 (1979)
- 2) Caputa, M., M. Cabanac ; Muscular work as thermal behavior in humans, *J. Appl. Physiol.*, **48** (6), 1020—1023 (1980)
- 3) McCaffrey, T.V., G.S. Geis, J.M. Chang, R.D. Wurster ; Effect of isolated head heating and cooling on sweating in man, *Aviat. Space and Environ. Med.*, **46**, 1353—1357 (1975)
- 4) Nadel, E.R., S.M. Horvath ; Comparison of tympanic membrane and deep body temperature in man, *Life Science*, **9** (1), 869—875 (1970)