

昭和51年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IX 運動時における体温の動的様相

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会



# 昭和51年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No. IX 運動時における体温の動的様相

—運動開始時の深部体温の変化について—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

研究員 黒田善雄 伊藤静夫 塚越克己  
雨宮輝也 北嶋久雄 松井美智子

### I はじめに

運動時の体温上昇に関して、古くはM. Nielsen<sup>14)</sup>の研究が知られている。彼は、運動時の深部体温(直腸温)はその運動強度に比例し、外気温(5~30℃)に独立であることを明らかにした。この実験成績は、その後多くの研究者によって確められており<sup>7)14)</sup>、運動時の体温調節機構を研究する上での基礎を成すものとなった。

一方、Benzinger<sup>1)</sup>は勾配層カロリメーターを用いた実験から、発汗量は皮膚温が33℃以上のとき深部体温(鼓膜温)の上昇度と比例関係にあることをみている。このとき、被検者は安静状態であってもまた運動中であっても、深部体温と発汗量の関係は同一直線上にプロットされる。

先のNielsenに始まる一連の見解とBenzingerの主張は、次の点で基本的に対立するものと言えよう。すなわち、運動時の深部体温上昇を、前者は運動による刺激そのものが体温調節反応に影響しているとするものであり、後者では安静状態であれ運動時であれ深部体温の偏移が体温調節反応に直接作用しているとするものである<sup>10)</sup>。

今日、運動時の体温上昇は、体温調節の失調によるものではなく生理的調節機構が積極的に働き、新たな設定温度(set-point)に調節されるものと、一般に解釈されている。しかし、その作用機序は上述の如く論議の分れるところで、一定の見解が得られていない。

ところで、NielsenやBenzingerらの実験成績は定常状態で得られたデータ、すなわち条件の変化による過渡状態が終わり一定水準に落ちついたものに基づくものである。しかしながら、運動時の体温上昇が如何なる過渡的な動的特性を示し調節されているか、と言った問題を系統的に解析した研究は不足している。我々はこの問題に注目し、外的ストレス(環境温度)と内的ストレス(運動による産熱)との複合されたストレスに対し、体温調節反応が如何なる動的様相を示すかを観察し、そこから運動時の体温上昇の特性を検討するものである。

### II 方法

#### 1. 被検者と実験条件

被検者には26歳と28歳の健康な青年男子2名を選んだ。両被検者の身体特性は表1に示す通りである。被検者HKはやや太った体型であり、被検者SIはやせたタイプである。有酸素性作業能では、被検者SIが優れている。

実験は温湿度調節室において、7月に実施した。温湿度調節室の設定条件は、室温を10, 20, 30℃の3条件に設定し、湿度、気流はそれぞれ60(±5)%, 0.5(±0.1)m/secに保持した。運動はトレッドミル走を用い、運動時間を60分間とした。運動強度は、それぞれの被検者の40%並びに60% $\dot{V}O_2$ maxの2種類を設定した。各被検者のそれぞれの走行スピードは表1に示す通りである。

表 1 被検者の身体特性及びトレッドミル走行条件

| Subject               |                | H K   | S I   |
|-----------------------|----------------|-------|-------|
| Age                   | years          | 26    | 28    |
| Height                | cm             | 169.5 | 167.0 |
| Weight                | kg             | 74.3  | 55.0  |
| B.S.A.                | m <sup>2</sup> | 1.86  | 1.63  |
| Body fat              | %              | 17.2  | 8.8   |
| V̇O <sub>2</sub> max. | l/min.         | 3.33  | 3.59  |
|                       | ml/kg·min.     | 44.8  | 65.3  |
| Run Speed             | 40% V̇O max    | 80    | 120   |
|                       | 60% V̇O max    | 140   | 200   |

### 3. 測定項目

測定項目は心拍数、酸素摂取量、皮膚温、直腸温、食道温である。

心拍数は胸部双極誘導による心電図から求め、酸素摂取量はダグラスバッグ法にて採気し、ショランダー微量ガス分析器で分析し、求めた。

皮膚温、直腸温及び食道温は熱電対温度計（デンマーク・エラブ社）を用い、打点式自動温度記録計（デンマーク・エラブ社、Z94-B）によって連続記録した。皮膚温の測定部位は胸部・上腕・下腿の3カ所である（皮膚温測定法に関しては、巻末「資料」を参照されたい）。平均皮膚温の算出では、Burton<sup>3)</sup>の次式を採用している。

$$\bar{T}_s = 0.5 \times (\text{胸部}) + 0.14 \times (\text{上胸部}) + 0.36 \times (\text{下腿部})$$

食道温は、食道温用熱電対温度計（エラブ社製）を鼻腔より約50cmの横隔膜直上の深部食道まで挿入し、測定した。実験に先立ち、胸部X線により、挿入した感温部の位置を確認している（図1）。

直腸温の測定では、直腸温用熱電対温度計を肛門部約8cmの深さに挿入した。

### 4. 実験手順

被検者はショートパンツとシューズのみ着用し、電極、温度計等を装着して室温23(±1)℃で坐位安静状態をおよそ30分間保つ。次に、各条件に設定された温湿度調節室に入室し30分間の坐位安静を保ち、その後同じ室温条件で60分間のトレッドミル運動を行なった。

この間、心電図及び各種体温は連続的に記録し

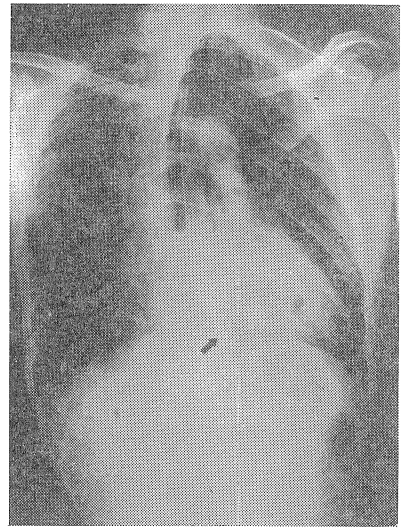


図 1 胸部X線写真による食道温用温度計の位置

た。採気は、温湿度調節室入室前に5分間、入室後は20～25分の5分間、運動時は開始後5分まで毎分連続採気し以後15分ごとに1分間採気した。

実験は、各被検者とも1日1回とした。

## III 結果

### 1. 心拍数、酸素摂取量

図2は、安静時並びに運動時の酸素摂取量、運動時の心拍数の変化を示したものである。

安静時の酸素摂取量について温湿度調節室入室前と入室後20～25分の値を比較すると、室温30℃ではほとんど変化は認められないが、20℃、10℃と室温が低くなるほど安静酸素摂取量は大きくなる傾向にある。特に、やせた体型の被検者S Iではこの傾向は著しく、室温10℃で酸素摂取量は約2倍に増加している。

運動中の酸素摂取量については、両被検者とも、室温の相違による著明な影響はみられず、走行スピードに見合っただけの値を示す。

運動中の心拍数の変化では、40% V̇O<sub>2</sub> max 負荷時には特に著しい室温による差はみられない。一方60% V̇O<sub>2</sub> max 負荷時の走行では、室温の影響が伺われる。すなわち、室温が高い場合ほど心拍数は高くなり、特に被検者H Kの室温30℃における走行時の心拍数は、他の室温条件に比べて著明な増加を示し定常状態がみられない。最終心拍

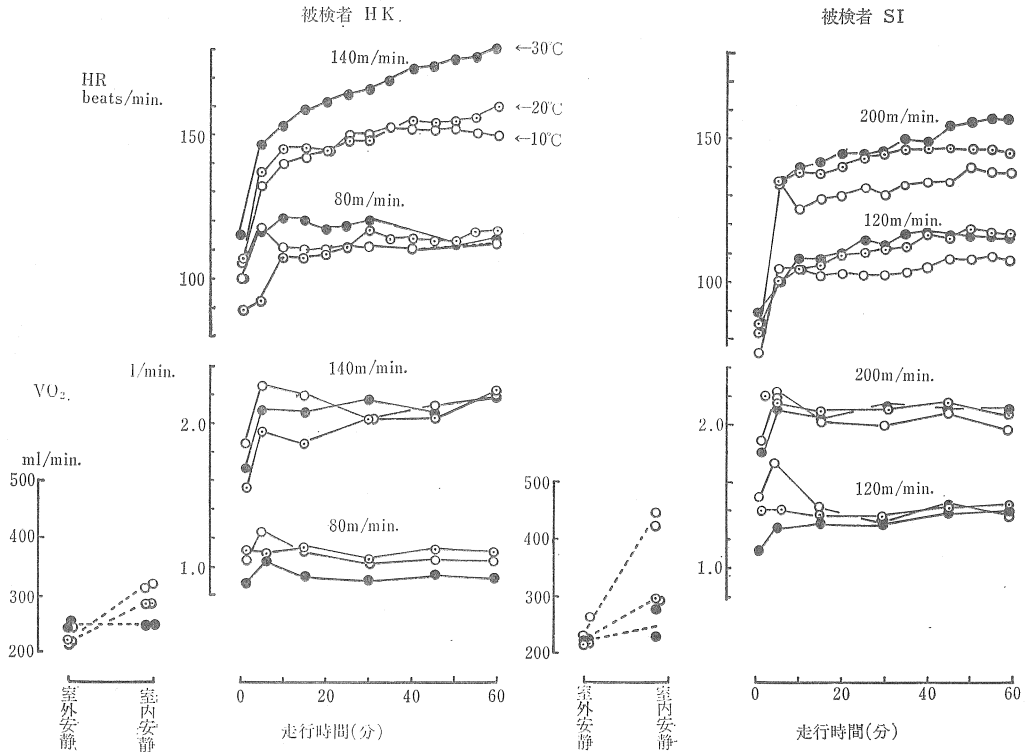


図 2 心拍数，酸素摂取量の変化

数は，室温10℃で145拍/分であったものが，室温30℃では180拍/分にも達している（被検者HKの最高心拍数は215拍/分）。

## 2. 皮膚温

図3は，本実験条件における胸部，上腕・下腿の各皮膚温の変化を表わしたものである。

室温10℃の温・湿度調節室へ入室後，30分間の安静で3カ所の皮膚温はすべて低下する。その低下度は，胸部・上腕・下腿の順で，末端部になるほど大きくなる。室温20℃では下腿・上腕がわずかに低下し，胸部はほとんど変わらない。室温30℃になると，各部の皮膚温は入室後10分まで増加し，その後胸部皮膚温は30分までゆるやかな増加を示し，上腕・下腿皮膚温はほぼ定常状態を示す。

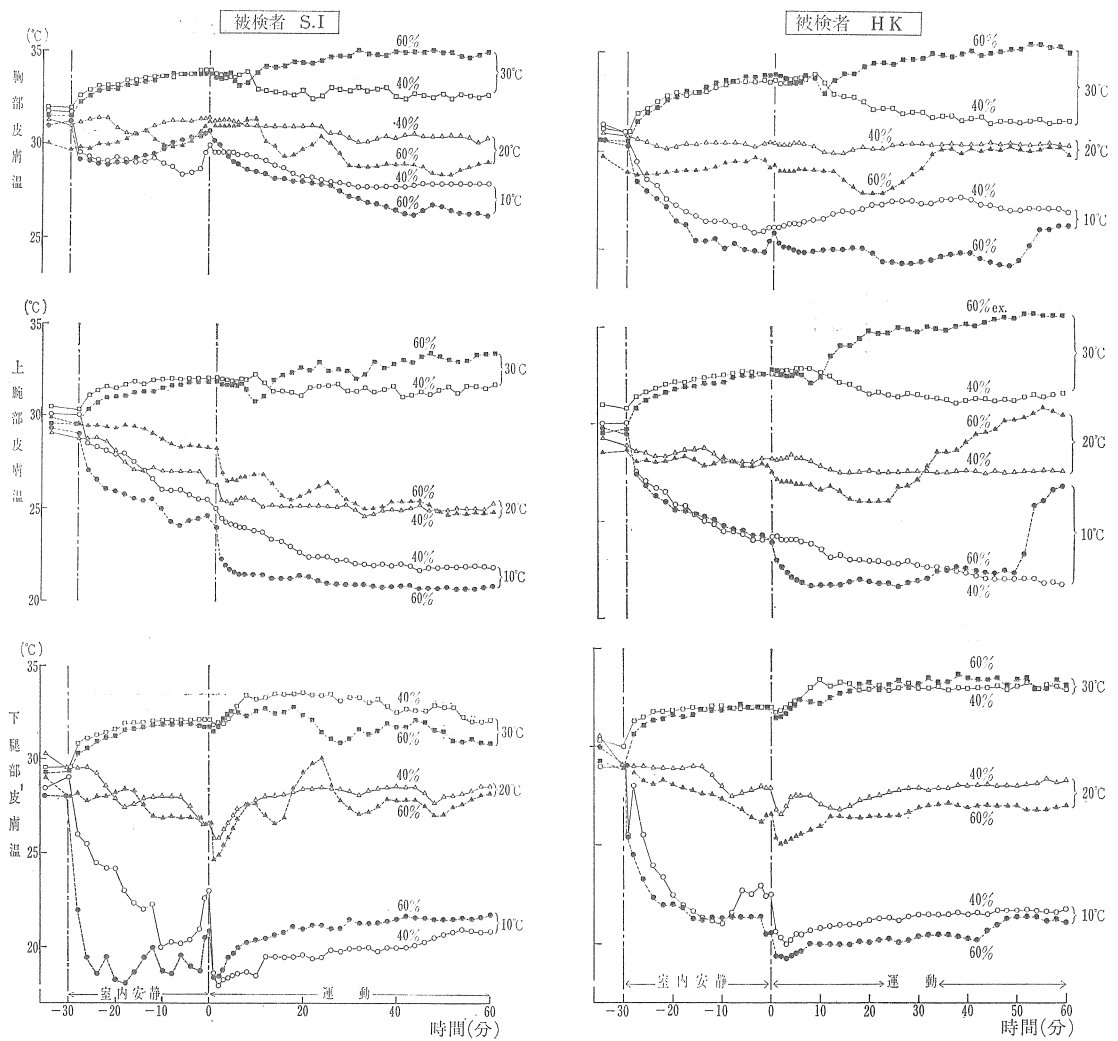
2名の被検者を比較すると，10℃入室後の皮膚温低下度に差がみられる。下腿のような末端部の皮膚温は被検者SIにおいて低下度が大きく，体幹部の胸部皮膚温では逆に被検者HKの低下度が

大きくなっている。この時，図2に示されたようにやせた被検者SIの酸素摂取量は太った被検者HKに比して著明に大きくなっており，明らかにふるえによる産熱が増大している。

運動時の皮膚温は，部位によって多少異なる変化を示す。

主な活動筋である下腿の皮膚温では，両被検者とも運動開始後一過性に低下し，その低下度は低室温条件ほど大きい。2～3分後，下腿皮膚温は上昇に転じ，6～10分まで漸次増加し以後比較的安定する。

一方，上腕部及び胸部皮膚温では下腿皮膚温の如き一定の変化パターンはみられない。室温10℃では比較的緩慢な低下を続け20分以後安定する。しかし被検者HKで60%  $\dot{V}O_2$  max 負荷時に走行終了10分間で急速な増加がみられ，特に上腕部において著しい。室温20℃では，被検者HKの60%  $\dot{V}O_2$  max 負荷時において20分後に著明な増加がみられるが，それ以外は波状の変動があるものの



| 運動強度                    | 室温°C |    |    |
|-------------------------|------|----|----|
|                         | 10   | 20 | 30 |
| 60% VO <sub>2</sub> max | ●    | ▲  | ■  |
| 40% "                   | ○    | △  | □  |

図 3 胸部・上腕・下腿部皮膚温の変化

大きな変化はみられない。室温 30°C では、40% VO<sub>2</sub> max 負荷時にはおよそ 8 分よりわずかに下り低下しているのに対し、60% VO<sub>2</sub> max 負荷時では 8~10 分後から漸次緩慢な上昇を示す。

### 3. 平均皮膚温と深部体温

図 4 は平均皮膚温・直腸温・食道温について示したものである。

平均皮膚温は、図 2 の各部位の皮膚温にもみら

れるように、室温条件によって決定され、運動強度による影響はみられない。しかし、室温 30°C における被検者 H.K. の平均皮膚温では、高運動負荷時での運動後半の漸増が低運動負荷時に比べ著しい。運動時の各部位の皮膚温はそれぞれ多少異なる動的変化を示したが、平均皮膚温にすると運動開始後 1~2 分でわずかに低下し以後大きな変動はない。運動開始直後の平均皮膚温低下は室温

が低いほど大きい。

温湿度調節入室後30分間の坐位安静中において、室温10℃では深部体温とりわけ食道温は入室後漸次増加する傾向にある。室温30℃では逆に深部体温は漸次低下する傾向がみられ、やはり食道温により著明にみられる。

運動開始後の深部体温は、数分の潜伏時間あるいは一過性の低下を示した後、上昇する。上昇速度は食道温がより速く、20～30分でほぼプラトーに達する。直腸温の上昇はそれより遅く、プラトーに達するのは50～60分である。深部体温の最終値は、40%  $\dot{V}O_2$  max 負荷時においては、室温の違いによる影響はみられない。60%  $\dot{V}O_2$  max 負荷時では、両被検者とも室温30℃で直腸温は定常状態に達することなく走行終了まで漸次増加し、食道温はプラトー形成が遅れおよそ50分になる。深部体温の最終値を比較すると、直腸温が食道温よりおよそ0.2℃高い値を示す。

#### 4. 深部体温の初期下降

図5にみられた運動開始後の深部体温の上昇における一過性の低下あるいは数分の潜伏時間について、運動開始後20分までを更に詳細に示したのが図5である。図中のY軸は運動開始時点の値を0とし、以後の変化量を表わしている。ここで、運動開始時の深部体温は、図4にみられた如く、低室温において高く、高室温で低い。

走行開始後の深部体温の一過性の低下量あるいは上昇前の潜伏時間は、室温条件では低室温ほど、また運動強度については低運動負荷時ほど、その低下量は大きく、あるいは潜伏時間が長くなっている。その後深部体温は上昇に転ずるが、低室温及び低運動負荷時ほど上昇速度が遅くなる傾向にある。また、直腸温と食道温を比較すると、食道温はいずれの条件においても一過性の低下を示し、その度合は直腸温より大きい、上昇に転ずる時間及びその速度はより速い。

## IV 考 察

本実験結果の内、通常室温(23℃)から低温室(10℃)の入室、あるいは高温室(30℃)へ入室したとき、30分間の安静状態において被検者の直腸温及び食道温は、前者において漸次上昇し、後

者において漸次下降した。緒方<sup>16)</sup>は、この一見矛盾した現象を体中心部及び体表面の体熱の再配分の結果として説明している。また、Crosbie<sup>4)</sup>はこの現象を血管運動神経支配の機能に微分感度効果を考慮したモデルから予測している。つまり、急激な温度変化に対して血管運動神経に過度のインパルス頻度が生じるものと解釈している。

本実験は、低温暴露時あるいは高温暴露時における安静被検者の上記のような体温調節の動的反応に対し、新たに運動を負荷したとき、体温調節反応は如何なる動的特性を示すかをみるのが目的の一つであった。

結果は図4並びに図5にみられるように、運動開始時の深部体温は数分の潜伏時間あるいは一過性の低下を示した後上昇した。

運動開始時の深部体温の一過性の低下は、他の実験結果にもしばしばみられる<sup>9)15)18)</sup>。また、Crosbieら<sup>4)</sup>は体温調節のモデルから、運動開始時の直腸温上昇の遅れを予測している。同様に、Wissler<sup>21)</sup>もモデルより直腸温の一過性の低下を予測している。しかしながら、この現象の発現機序については特に論議されていない。

一方、増田<sup>9)</sup>はトレッドミル運動開始時に鼓膜温の一過性低下をみている。増田はこれを、「運動開始時の皮膚血流は一過性に減少し、その冷却した静脈血は表在性静脈から中心静脈へと、静脈血管運動を増し、急速に静脈還流する。その結果大動脈血液温度は下降する。これが、向流熱交換をふくめ一過性に脳温(鼓膜温)が低下する原因である。」と説明している。

本実験結果では、運動開始時の深部体温の一過性の低下(あるいは数分の潜伏時間の後の上昇)は外気温、あるいは運動開始前の被検者の体内温度分布の状態によって左右される。すなわち、低温室であるほど、あるいは体深部と体表面の温度勾配が大きいほど、運動開始時の深部体温の低下度は大きくなる。

運動開始時、交感神経支配により内臓血管は収縮しているであろうが<sup>18)</sup>、筋活動による筋ポンプ作用が急速に静脈環境を増大させ、冷却されていた表在静脈血が身体内部へ流入することにより、内臓血流量は減少しているにもかかわらず、体深

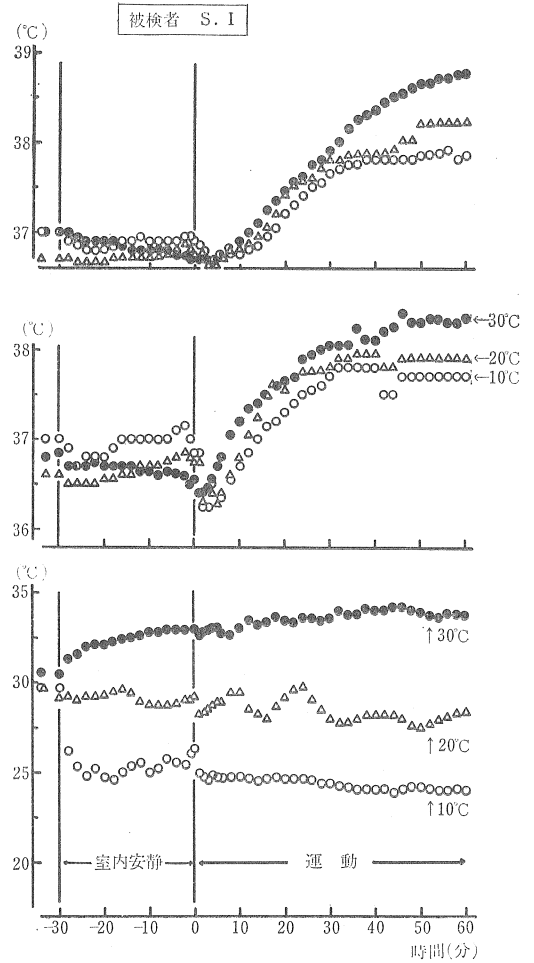
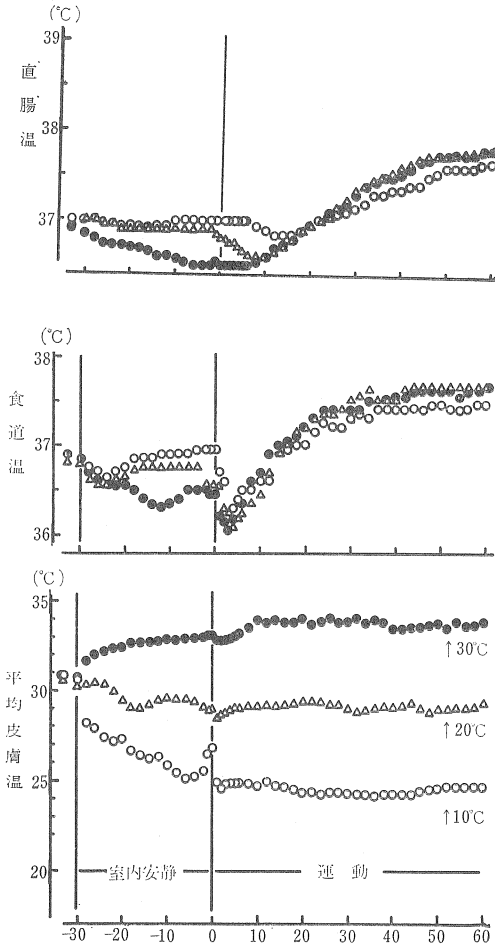


図 4 直腸温・食道温・平均皮膚温の変化

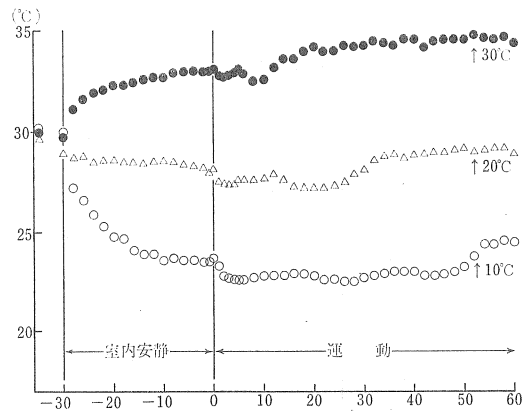
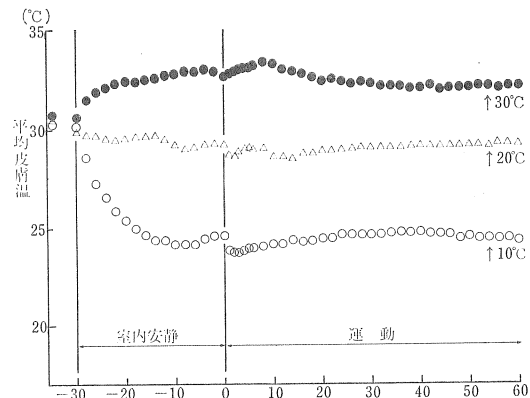
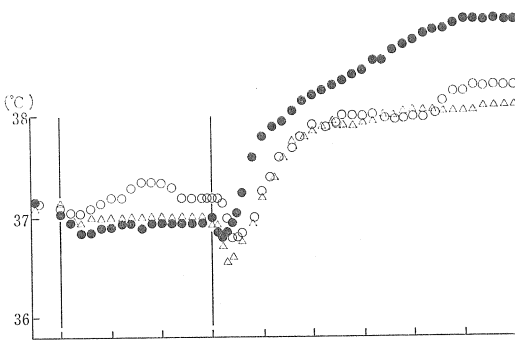
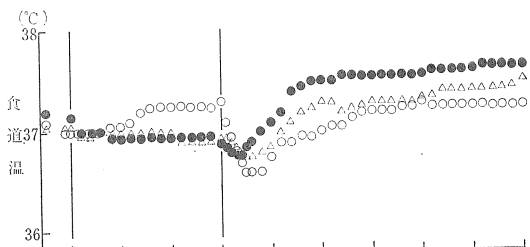
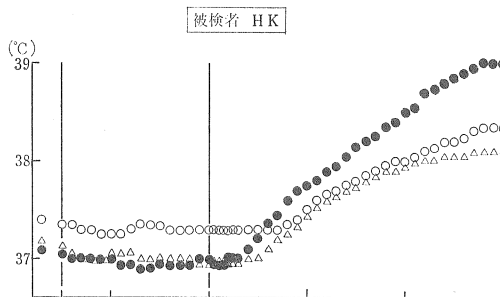
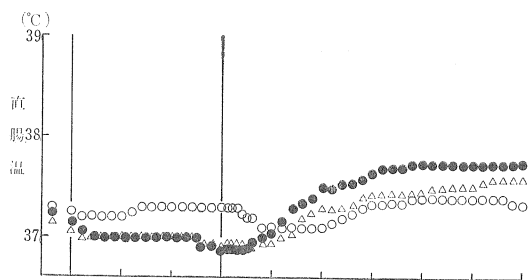
部を冷却することになる。運動開始前の温度勾配が大であるほど深部温低下が大きいという事実は、血液冷却の原因となる表層部の低温層が厚いことを意味する。また、直腸温に比べ食道温により大きな低下がみられたことは、食道部が静脈血混入による冷却の影響を受けやすい部位にあることを意味する<sup>20)</sup>。以上の事実は、増田の指摘するように、冷却された表在静脈血の身体内部への流入を示唆するものである。

一過性の低下(あるいは数分の潜伏時間)を示した深部体温は、その後上昇に転ずる。これに関して、高温環境であるほど、また運動強度が高い場合ほど、上昇に転ずる時間が早く、より急速な上昇をみる。この現象の原因は、おそらく内臓血流量に起因しているものと考えられる。すなわち、

Rowell<sup>17)</sup>によれば前述の如く身体運動による交感神経緊張は内臓血流量を減少させるが、その減少量は高温環境あるいは高運動負荷であるほど大きい。体内深部温は血液によって加温されているのではなく、むしろ冷却されているものと考えられ<sup>12)</sup>、内臓血流減少は深部体温上昇につながる。以上のことから、高温環境で高負荷運動ほど、内臓血流は減少し心拍出量の配分比は作業筋へ回り、深部体温は早期に上昇するものと解釈される。

運動時の深部体温上昇は、体温調節の失調によるものではなく、新たな設定温度 (set-point) に調節されるものと古くから考えられてきた。しかしながら、近年この説を否定する報告がみられる<sup>27)13)19)</sup>。Nakayama<sup>13)</sup>らは、非温熱性刺激に





よる皮膚血管収縮と温熱性刺激による皮膚血管拡張との相反作用の結果、産熱量が放熱量を上回り体内温度の上昇を招く、と指摘している。Jonshonら<sup>7)</sup>も皮膚温、皮膚血流量、食道温の測定から、同様の実験成績を示している。また、Snellen<sup>19)</sup>は、運動時の体温上昇は局所的な血流の再配分の結果であることを強調している。

本研究の結果は、深部体温の上昇が、少なくとも定常状態に達するまでの動的特性をみる限り、室温・運動強度・運動開始前の体内温度分布の影響を受け、局所的な血流の再配分によって決定されることを示している。すなわち、運動時の体温は

運動強度に比例して上昇するが、高運動負荷時ほど運動開始時の深部体温の一過性の低下度が小さく、また上昇に転ずる時間が速い。この深部体温の変化特性は、肝臓などの内臓における熱産生が運動によって影響されないと仮定するならば、内臓血流量の減少の結果生ずるものと考えられる<sup>19)</sup>。結局その動的特性から判断すると、深部体温の上昇は積極的に新たな set-point に調節されると積積するよりも、むしろ局所的な血流の再配分という、いわば受動的な熱バランスの結果であると考えられる。

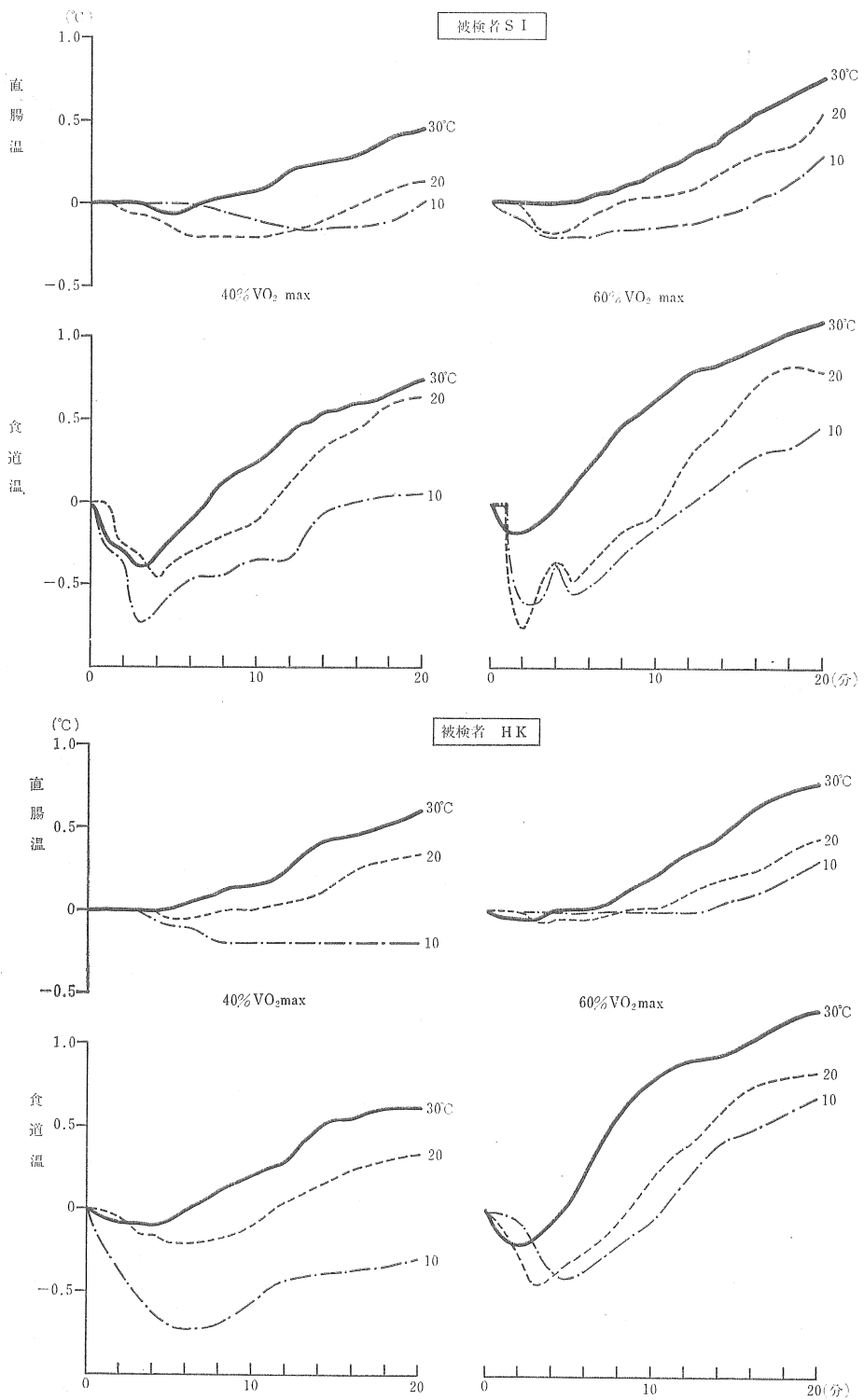


図 5 運動開始時の直腸温及び食道温の変化  
 運動開始時の値を基準に、以後の温度変化を示す

## V まとめ

(1) 本研究は、低温あるいは高温暴露による体温調節反応を示した安静被検者に対し、さらに運動を負荷したとき、運動時の体温は如何なる動的特性を示すかを明らかにしようとした。

(2) 実験は、室温10, 20, 30℃の条件のもとに30分間の室内安静後、運動強度40%及び60%  $\dot{V}O_2$  maxによる60分間のトレッドミル走を行なった。

(3) 低室温での30分間安静において、深部体温は漸次上昇し、高室温において漸次下降した。

(4) 安静時並びに運動時の平均皮膚温は外気温によって決まり、運動強度の影響を受けない。

(5) 運動開始時の深部体温は一過性の低下、あるいは数分の潜伏時間を示した後、上昇に転ずる。この傾向は低温条件であるほど、また低運動負荷時ほど大きい。一方、上昇に転ずる時間及びその速度は、高温条件ほどまた強運動負荷時ほど速い。

(6) 深部体温の上昇は、局所的な血流の再配分による受動的な熱バランスの結果であると考えられる。

## 文献

- 1) Benzinger, J. H., Heat regulation: Homeostasis of control temperature in man. *Physiol. rev.* 49, 671—759, 1969.
- 2) Bradburg, P. A., R. H. Fox, R. Goldsmith and I. F. G. Hampton, The effect of exercise on temperature regulation. *J. Physiol.* 171, 384—396, 1964.
- 3) Burton, A. C. New technique for the measurement of average skin temperature over surface of the body, and the change of skin temperature during exercise. *J. Nutr.* 7: 481—496, 1934.
- 4) Crosbi, R. J., J. D. Hardy, and E. Fessenden, Electrical analog simulation of temperature in man. In "Temperature: It/s measurement and industry" ed. J. D. Hardy, Reinhold, New York, Vol. 3, 627—635, 1963.
- 5) Hammel, H. T., The set-point in temperature regulation: analogy or reality. In "Essays on temperature regulation." ed. J. Bligh and R. Moore, North-Holland Amsterdam. 121—137, 1972.
- 6) Hardy, J. D., Models of temperature regulation—a review. In "Essays on temperature regulation." ed. J. Bligh and R. Moore, North-Holland Amsterdam. 163—186, 1972.
- 7) Johnson, J. H., L. B. Rowell, and G. L. Brengelman, Modification of skin blood flow-body temperature relationship by upright exercise. *J. appl. physiol.* 37, 880—886, 1974.
- 8) Lind, A. R., A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. *J. appl. physiol.* 18, 51—56, 1963.
- 9) 増田 允: 運動と体温, 東京慈恵会医科大学雑誌, 90, 1—5, 1975.
- 10) Minard, D. and L. Copman, Elevation of body temperature in health. In "Temperature: It/s measurement and control in science and industry". ed. J. D. Hardy, Reinhold, New York, Vol. 3. 627—635, 1963.
- 11) Mithell, D., Mathematical and physical models of thermoregulation. In "Essays on temperature regulation." ed. J. Bligh and R. Moore, North-Holland Amsterdam. 1972.
- 12) 中山昭雄: 体温とその調節, 中外医学双書, 1970.
- 13) Nakayama, T., Y. Ohnuki and K. Niwa, Fall in skin temperature during exercise, *Jap. J. Physiol.* 27: 193—230, 1977.
- 14) Nielsen, M., Die Regulation der Körper temperature bei Muskelarbeit. *Skand. Arch. Physiol.* 79, 193—230. 1938.
- 15) Nielsen, B. and M. Nielsen, Body temperature during work at different environmental temperature. *acta. physiol. scand.* 56, 120—129, 1962.
- 16) 緒方維弘: 体温とその調節, 「生理学大系IV—1」吉村寿人, 緒方維弘編, 医学書院, 579—780, 1975.
- 17) Rowell, L. B., Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *physiol. rev.* 54, 75—159, 1974.
- 18) Saltin, B., A. P. Gagge, and J. A. J. Stolwijk, Body temperature and sweating during thermal transients caused by exercise. *J. appl. physiol.* 28(3) 318—327, 1970.
- 19) Snellen, J. W., Set point and exercise, In "Essays

- on temperature regulation, ed. J. Bligh and R. E. Moore, North-Holland, Amsterdam, 139—148, 1972.
- 20) 田村康二：ヒトの心・血管腔内の温度変化について, 心臓, 4(2) 129—135, 1972.
- 21) Wissler, E. An analysis of affecting temperature levels in the nude human. In "Temperature : It's measurement and control in science and industry." ed. J. D. Hardy, Reinhold, New York, vol. 3. 603—611, 1963.

## 皮膚温測定のための熱電対温度計の固定方法についての予備実験

### はじめに

皮膚温の測定法については(1)水銀温度計、(2)サーミスター計、(3)輻射温度計、(4)熱電対温度計等を用いる方法がある。このうち、サーミスター計及び熱電対計は、運動時の皮膚温の変化をとらえるのに適しており、この分野の研究において現在最も多く用いられている方法である。

ところで、サーミスター計あるいは熱電対計による皮膚温測定に当って、大原<sup>1)</sup>はその測定誤差を最小にするための注意点として次の項目を上げている。

- 1) 熱容量を減らすため感温部をできるだけ小さくする。
- 2) 感温部の接触前の温度をできるだけ皮膚温に近づけ、接触による皮膚温の擾乱を避ける。
- 3) 感温部に連なるリード線を伝わる伝導性熱損失を少なくする。
- 4) 感温部の皮膚面への接触圧および固定方法を適切にする。

さて、当研究所においては、デンマーク・エラブ社製の熱電対アプリケーションを用いて、皮膚温を測定している。測定は主に運動時の温度変化を継続的にとらえることを目的としているため、特に皮膚面への固定装着方法が問題となる。

感温部の固定方法については、吉村式皮膚温測定装置のような裸熱電対による方法と、絆創膏等によって皮膚面上に貼付固定する方法がみられる。後者の方法は、特に運動を负荷した際の実験に多くみられるものである。激しい身体運動を長時間継続するような実験においては、ともすれば感温部が皮膚面よりはずれやすくなり、その点で絆創膏等による固定は利点があると言える。しかしながら、絆創膏等が皮膚表面をおおうことによって、自然状態の熱平衡を乱すことになる。

そこで、本実験に先立ち、皮膚温測定時の感温部の固定方法について各種方法を比較検討し、最良と思われる方法を本実験において使用した。

### 方 法

#### 1. 熱電対温度計

皮膚温測定用の温度計として、図6に示したHI型とAPI型を用いた。HI型は皮膚温測定用として作製され

たものであり、感温部の熱容量が小さく、熱伝導誤差を小さくするように配慮されている。API型は、腋窩温度測定用に作製されたものであり上記HI型に比べ感温部の熱容量が大きくなるが、皮膚表面への固定が容易であることから、本実験において皮膚温測定用としての使用の適性を検討した。

温度計の固定方法は次の4種類である。

- ① 露出方式：感温部は露出したままとし、その周辺を両面接着テープ及びバンドエード(ジョンソン製)等で固定する。なお、感温部が運動によって皮膚表面からはずれないように、リード線の弾性を利用し皮膚表面に軽く圧着するように固定した。
- ② テープ固定方式：上記のテープを用いて感温部を貼付固定する。
- ③ 断熱固定方式：感温部を発泡スチロールの小片(20×20mm、厚さ5mm)で覆い、その上から上記のテープで固定する。
- ④ 皮膚温測定用熱電対温度計方式：皮膚温測定用熱電対温度計HI型による測定方法。

上記の内、④皮膚温測定用熱電対温度計方式では、皮膚面への固定が困難であり連続測定には不適である。そこで、実験中5分間ごとに検者が温度計の感温部を皮膚面へ当てて測定した。感温部を皮膚表面へ当てる際、検者はその接触圧をできる限り一定に保つよう心掛けた。また、皮膚面へ当てる前に検者の指によってあらかじめ暖め、接触前の感温部をより皮膚温に近づける操作をした。運動時の測定は不可能であり、運動を5分ごとに約10秒間停止させ、感温部を皮膚面へ接触させ、その間の最終値を運動時の皮膚温とした。

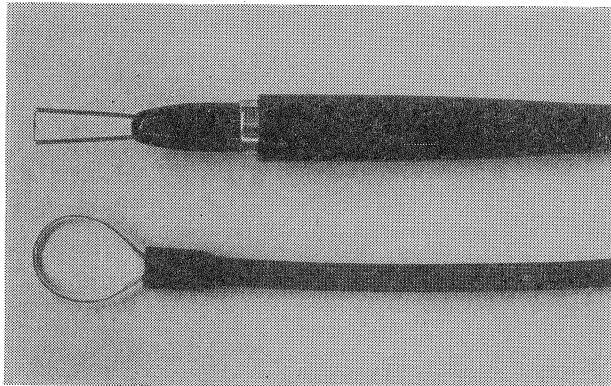
以上のように、4条件の測定を同一箇所で行なう必要があり、できるだけ皮膚温の部位差を最小にするため、四肢のような円筒形をなす部位は避け、広い面積を持ち平坦な体部である胸部を測定部位とした。

#### 3. 環境条件及び運動

環境条件は室温を25°Cと15°Cの2条件に設定した。湿度条件は、いずれも相対湿度60%に調節した。

被検者は温湿度調節室に入室し20分間の安静を保ち、その後トレッドミルにて毎分140mのスピードでのランニング(40% $\dot{V}O_2$ max)を室温15°Cで30分間、室温25°Cで20分間行なった。

皮膚温測定に用いられた2種の温度計



HI 型  
(皮膚温測定用)

API 型  
(腋窩温度測定用)

API 型の固定方法

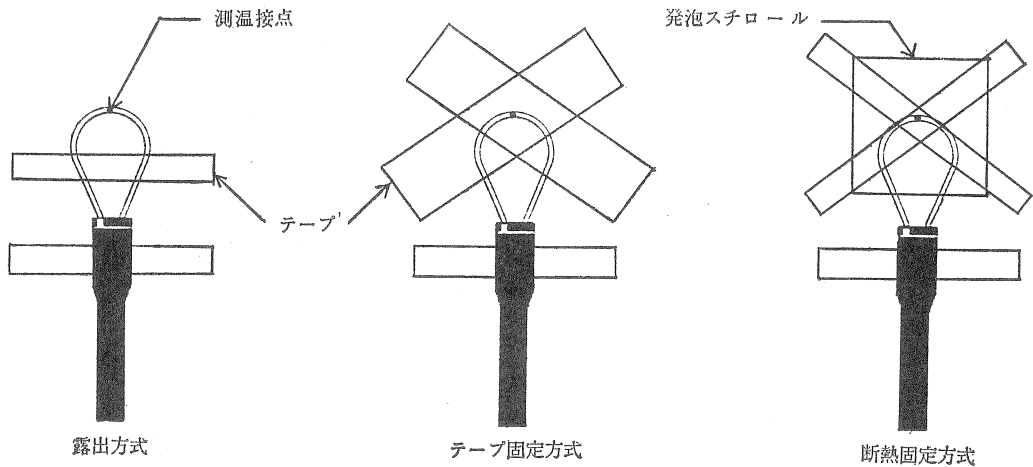


図 6 皮膚温測定に用いられた温度計とその固定方法

結果と考察

図 7 は室温 25°C, 図 8 は室温 15°C における 4 種の温度計固定方法による測定値の違いを示したものである。

安静時の測定値では, 室温 25°C で 10 分間の坐位安静を保つ間, 断熱方式の測定値は漸次上昇するが, 他の 3 方式の測定値は入室後 5 分まで上昇しその後一定の値を保つ。室温 15°C では, 室温 25°C の場合と逆の現象がみられる。すなわち, 4 種の測定値とも入室後漸次低下するが, 低下速度は断熱方式が最も遅く, 次いでテープ固定方式である。露出方式と皮膚温用温度計による測定値とはほぼ類似した値を示すが, その低下は他の 2 種のものに比し, 大きい。

運動時においては, 温度計の固定方法の違いにより, 測定値もかなり異なる変化を示す。

室温 25°C では, 断熱方式の測定値は運動開始後漸次

上昇を続ける。これに対し, 他の 3 方式による測定値は運動開始後 6~10 分まで 0.1~0.2°C 低下し, その後上昇に転ずる。この内, テープ固定によるものが最も早く上昇し, その度合も最も大きい。次に露出方式によるものが 8 分より緩慢な上昇を示し, 皮膚温用温度計によるものの上昇が最も小さい。一方運動終了後の変化は, 逆に露出方式及び皮膚温測定用温度計によるものが, 大きな一過性の上昇を示し, 他の 2 測定値の変化はより小さい。

室温 25°C での運動時では, 運動開始後すべての測定値とも低下し, 10 分以後上昇する傾向を示しているが, 露出方式によるものと皮膚温用温度計によるものがほぼ類似した変化を示し, その低下の度合が最も大きい。

以上の結果から皮膚温用温度計による測定値と露出方式による測定値は, その絶対値及び変化パターンとも極めて類似していることが分る。一方, 断熱方式によるも

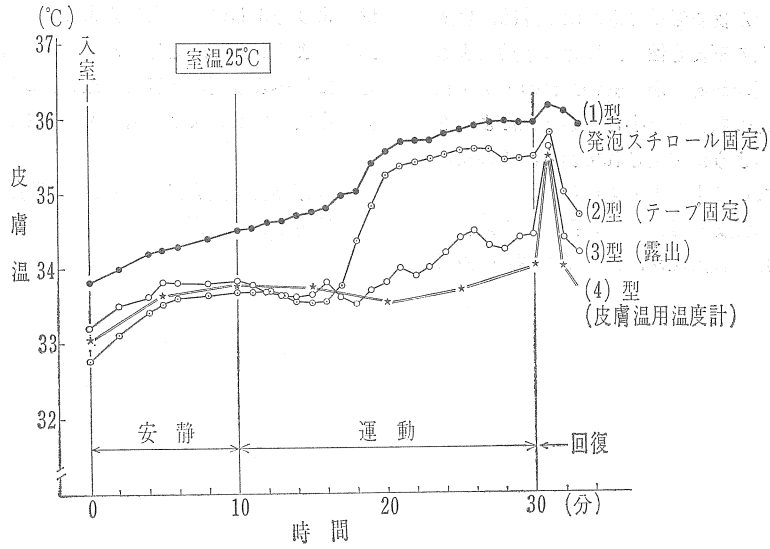


図 7 室温25°Cにおける実験結果

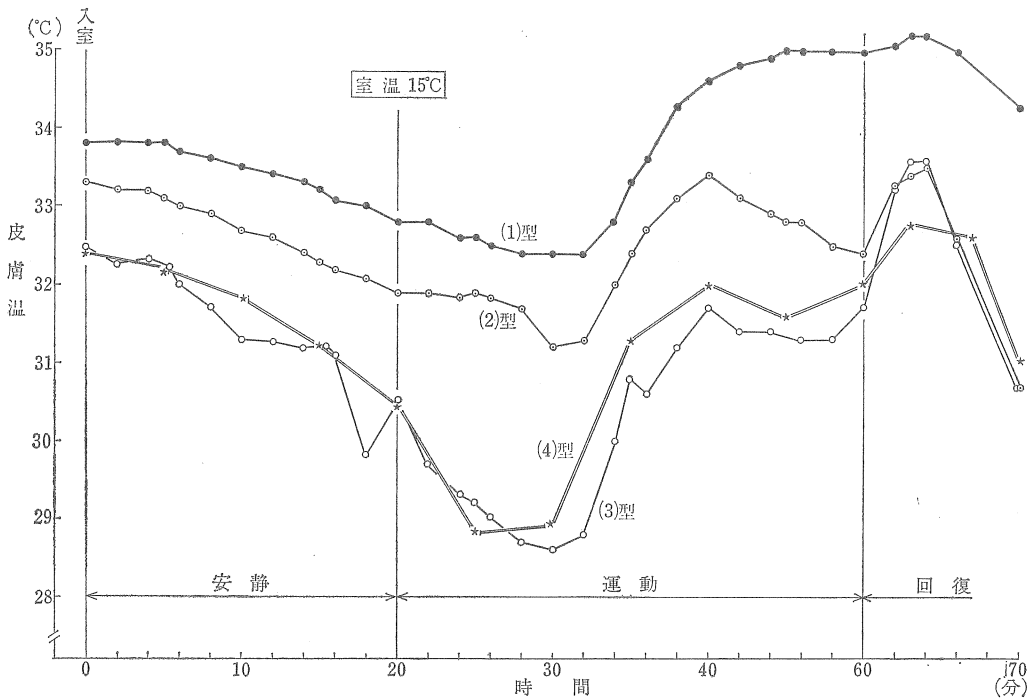


図 8 室温15°Cにおける実験結果

のは、上記の測定値に比して、安静・運動・回復時のどの局面においても明らかに高い値を示している。テープで固定した方式による測定値は、頂度両者の中間に相当する。

断熱方式及びテープ固定方式による測定値が高値を示

し、また特に運動開始時の低下が小さいのに比しその後の上昇が大きいことは、これらの固定方式では皮膚面での放熱が妨げられていることを示唆するものである。これは、皮膚表面の温度と言うよりむしろ皮下温に近い値を反映しているものと想像される。

さて、本実験で用いた皮膚温用熱電対温度計は、皮膚温測定において接触圧の不安定性、温度計の接触による皮膚温への影響等の問題があるが、細い素線のリボン状熱電対を用いて感温部の熱容量を小さくし素線による熱伝導誤差を小さくするように工夫されており、真の皮膚温に近い値が得られているものと考えられる。

露出固定による皮膚温測定は、上記の測定値と近似の値が得られてる。また、接触圧がほぼ一定である点で

は、より好ましい状態と言えよう。以上の点から、露出固定による温度計固定方法が、テープ固定あるいは断熱方式に比べより真の皮膚温に近い値が期待されると考え、本実験においてこの方式を採用した。

- 1) 大原孝吉：皮膚温，「生理学大系Ⅳ—1」吉村寿人，緒方維弘編，医学書院，624—652.





