

# 運動時の作業能力と快適性に 関する温熱生理学的研究

中京女子大学 朝山正巳

(共同研究者) 京都産業大学 長谷川豪志

山形大学 大貫義人

兵庫医科大学 辻田純三

神戸女子大学 平田耕造

## Thermal Physiological Studies on Comfort and Thermal Sensations and Physiological Responses during Exercise

by

Masami Asayama

*Chukyo Women's University*

Hideshi Hasegawa

*Kyoto Sangyo University*

Yoshito Ohnuki

*Yamagata University*

Junzo Tsujita

*Hyogo College of Medicine*

Kozo Hirata

*Kobe Women's University*

### ABSTRACT

In the present work, we made some experiments in an attempt to elucidate the significance of relationships between physiological responses and comfort and thermal sensations during exercise.

Changes in preferred comfortable temperature ( $T_{pref}$ ) were examined during exercise in 10 male subjects. The rate of change in

$T_{pref}$  was highly related to body core temperature. From these results, it is conceivable that the increase of core temperature during exercise is not due to change in the set point for thermoregulation.

In order to clarify the influence of clothing on comfort and thermal sensations during and after exercise, the survey with questionnaire was made in 42 male students and 49 female students in a physical education class.  $\dot{V}_{O_2}$  was estimated by measuring changes in heart rate after exercise.

The results were compared between two groups one wearing of clothes with long sleeves and the other with half sleeves. More students with long-sleeved clothes felt hot and uncomfortable than students with half-sleeves.  $\dot{V}_{O_2}$  did not differ between the two groups.

It was found that sensations had better correlations with the clothing microclimate. Discomfort during exercise does not seem to be related to temperature regulation disorder. The relationship between core temperature and skin temperature influences comfort sensation during exercise.

## 要 約

運動時の作業能力と快適性との関連を検討するために、2, 3の実験を行った。

10名の成人男子を被検者として、運動時に被検者自らが最も快適となる室温 ( $T_{pref}$ ) を、人工気象室の室温制御装置を使って調節させ (オペラント行動)、運動時の快適温の動態について観察した結果では、直腸温 ( $T_{re}$ ) や鼓膜温の上昇に伴って、低い  $T_{pref}$  を快適として選択した。また、運動強度が強いほど低い  $T_{pref}$  を選択し、さらに  $43^{\circ}\text{C}$  の温水に下肢を浸して暑熱を負荷した時の  $T_{pref}$  は、運動時とほぼ同様な傾向を示した。また、定温下運動時の  $T_{re}$  の変化は  $T_{pref}$  下の運動と同じ上昇を示した。このような運動時のオペラント行動や体温反応様式から、運動時の体温上昇はセット・ポイントの移動によるものではない

と推論した。

正課時の体育の授業時に、男女 81 名の学生を対象として、踏み台運動を行った時の温冷感ならびに快適感を、着衣の状態で長そで群と半そで群にわけて比較した。また、ステップテスト時の心拍数 (HR) の変動から max METS との関係を求めて、 $\dot{V}_{O_2}$  の推定を行い、両者の比較を行った。運動終了後、長そで群で「暑い」、また「不快」と答える割合が増すが、 $\dot{V}_{O_2}$  などには両群の差は認められなかった。

3名の成人男子を対象として30分間のトレッドミル走行時の体温調節反応も裸体と着衣時と比較して、顕著な違いは認められなかった。

以上のことから、運動時の体温上昇に伴って「冷」をより快適とするが、不快感の増大は必ずしも深部体温や代謝系の不全を反映したのものとは言えず、中核温と皮膚温との温度勾配が重要なもの

になると思われるが、さらに今後、系統的な検討が必要と思われる。

## 緒言

ヒトの中核温は 37°C 前後でほぼ一定に保たれている。これは視床下部に存在する体温調節中枢の働きによって、熱放散と熱産生のバランスが調節されていることによる。ところが、身体運動時には末梢血管の拡張や発汗による熱放散の増大にもかかわらず、体温はほぼ運動強度に比例して増大する<sup>1)</sup>。

また、暑熱環境下の運動では、著しい発汗によって体液量が減少し、血漿浸透圧が上昇するなど、循環、体液調節系の働きにも多くの影響を及ぼす。

これらのことから、体温調節機能の良否が、運動時の作業能力に重要な関わりを有することがわかる。また、この調節は、気温、湿度、気流などの自然環境因子はもとより、運動鍛錬や暑熱馴化の程度などによっても修飾される。

著者らは、かってさまざまな角度から体温調節の温熱生理学的研究を試みてきたが、今回は、次に示す 3 つの実験から、運動時の作業能力と快適性について温熱生理学的考察を試みた。

実験 1 運動時の行動性体温調節反応

実験 2 着衣の違いが Warming-Up およびステップテスト後の生理的反応および温冷感ならびに快適性に及ぼす影響

実験 3 運動時の生理的反応に及ぼす衣服の影響

## 1. 実験方法

### 実験 1

10 名の成人男子を被検者として実験を実施した。実験手順は、ショートパンツのみ着用した被検者を、あらかじめ室温 (Ta) 28°C, 相対湿度 (r. h.) 40% に設定した人工気象室に入室させ、20 分

間の椅座位の状態では安静をとらせたのち、30 分間の運動、ひき続いて 40 分間の回復期の測定を行った。その間、被検者には手元に設置した室温制御装置によって被検者自らが最も快適とする温度を選択 (オペラント行動) させ、その快適温度で、それぞれ日を変えて、2 つの運動強度の異なる 30 分間の自転車エルゴメーター運動 (450 KPM および 900 KPM) を負荷した。また、一部の被検者については、Ta 28°C, r. h. 40% の環境下の定温下で 900 KPM の運動を負荷した。さらに、対照実験として Ta 28°C, r. h. 40% の人工気象室内で、43°C の温水に下腿を 30 分間浸し、運動時と同様に快適温度を選択させる実験を行った。

実験の間、8 ヶ所の皮膚温 (Ts), 直腸温 (Tre), 鼓膜温 (Tty) および被検者が最も快適な温度として選択した室温 (Tpref) を、サーミスター温度計により連続記録した。

## 実験 2

被検者は健康な大学生、男子 42 名、女子 49 名である (表 1)。

測定は、正課授業時 (1 限-9:00~10:30, 2 限-10:40~12:10) に総合グラウンドで実施した。

測定時の気象条件は、晴天、気温 24~27°C, 湿度 63~69%, 気圧 1015 mb であった。測定手順は、まず対象学生が総合グラウンドに集合した際に、測定記録用紙を配布、実施方法や内容等を説明し、続いて安静時の測定を行った。その後、30 分間のウォーミングアップ (W-UP) 終了後に 2

表 1 被検者の年齢と体格

	males (n=42)	females (n=49)
age (year)	18.78±0.60	18.73±0.83
height (cm)	170.52±4.83	158.26±4.64
weight (kg)	61.09±6.41	51.08±5.86
chest (cm)	87.11±5.28	80.28±3.02

mean±S. D.

回目の測定, さらに第3回目の測定をステップテスト終了後に実施した. 測定項目は, 口腔温 ( $T_{or}$ ), 脈拍数 (HR) ならびに温冷感ならびに快適感の調査である.

HRは触診法により行い,  $T_{or}$ は水銀体温計を用いて測定した. 30分間のW-UPの内容は, まずグラウンドを軽く800~1200m走, そして準備体操, ストレッチ体操および補強運動である. ステップテストは, 35cm, 40cmと高さの異なる2台の踏台を用いて行い, 昇降運動による心拍数の変動を, 心拍数-Metsの関係式<sup>2)</sup>に挿入し, Mets maxと酸素摂取量 ( $\dot{V}_{O_2}$ )を推定した. その手順は, 昇降回数22回/分のリズムで, まず高さ35cmの台の昇降運動を4分間行い (7.5 Mets), 続いて高さ40cmの台を3分間昇降させ (8.2 Mets), その直後のHRを測定した. 温冷感申告 (8カテゴリー) および快適感申告 (4カテゴリー) は, Gaggeら<sup>3)</sup>の方法によった.

以上の結果を, 受講生の着衣の違いによって半そで群, 長そで群にわけて比較を行った.

### 実験3

被検者は健康な成人男子3名を対象とした.  $T_a$  15°C, r.h. 50%の人工気象室内で分速160mのスピードで30分間, 水平位にてトレッドミル走を行わせ, 安静時, 運動時および運動終了後20分間の回復時の生理反応を測定した. 被検者は上半身裸体でショートパンツとソックスおよび運動靴のみを着用した状態, 綿85%, ポリウレタン15%の混紡のズボン下と長そでシャツを着用した状態および綿85%, 遠赤外線放射繊維加工ポリウレタン15%混紡のズボン下と長そでシャツ (スワニー社製PF90) を着用した状態の3条件にて, 測定日を変えて実験を行った.

実験前後の体重測定値から総発汗量 ( $S_w$ ) を求めた.  $T_{re}$  及び前額部, 胸部, 腹部, 前腕部, 大腿部, 下腿部の  $T_s$  をサーミスター温度計により経時的に測定した. 各皮膚温と加重平均係数より平

均皮膚温 ( $\bar{T}_s$ ) を算出した<sup>4)</sup>. また, 平均体温 ( $\bar{T}_b$ ) は  $T_{re}$  と  $\bar{T}_s$  より以下の比率より求めた<sup>5)</sup>.

$$\bar{T}_b = 0.6 T_{re} + 0.4 \bar{T}_s$$

心電図を胸部双極誘導により記録し, HRを経時的に測定した. 呼気ガス分析装置 (ミナト社製RM-300) により換気量 ( $\dot{V}_E$ ) および酸素摂取量 ( $\dot{V}_{O_2}$ ) を求めた. 安静時および運動終了直後に耳朶より採血し, 血中乳酸濃度 (LA) を測定した (オムロン社製ラクテートアナライザー).

## 2. 実験結果

### 実験1

図1は, 運動時の  $T_{re}$ ,  $T_{ty}$ ,  $\bar{T}_s$ ,  $\bar{T}_b$ , および被検者が快適として選択した  $T_{pref}$  の経時変化を1例として示した.

この例でも明らかのように,  $T_{re}$  の上昇に伴ってより低い  $T_a$  を快適とし,  $\bar{T}_s$ ,  $\bar{T}_b$  は  $T_a$  を反映して低下を示した.

図2は900KPMの運動時の  $T_{re}$  と  $T_{pref}$  の10名の被検者の平均値とその標準誤差の経時変化である. 運動や下肢温浴によって  $T_{re}$  は上昇するが, それに伴って, 低い  $T_{pref}$  を快適として, おおむね5~6°Cの低下を示した. 図3は一例として, 運動および下肢温浴による  $T_{ty}$  と  $T_{pref}$  の関係を同一図にプロットしたもので, いずれの実験とも0.8以上の高い相関を示し, また回帰直線も同じところに位置している.

図4は, 450KPMと900KPMの運動をおのおの3回にわたって実施した際の,  $T_{re}$  と  $T_{pref}$  との関係を示したもので, 回帰式の傾きはほぼ同様であり, 運動強度の相違による影響は認められなかった. また, 定温下の運動による  $T_{re}$  の上昇も, 快適温下の運動とほぼ同じ上昇を示した.

### 実験2

図5 (男子) および図6 (女子) は半そで群, 長そで群別の安静時, W-UP, およびステップテスト終了時の  $T_{or}$  ならびにHRである.  $T_{or}$  な

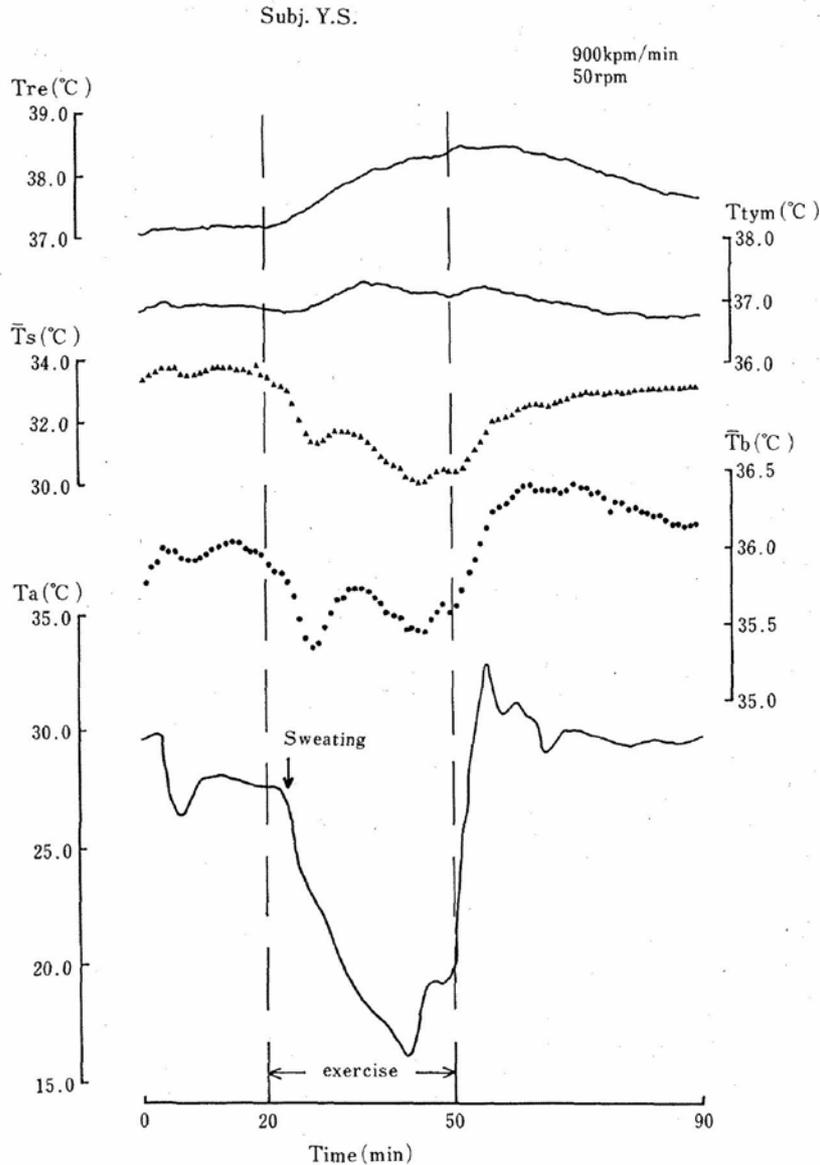


図1 直腸温 (Tre), 鼓膜温 (Tty), 平均皮膚温 ( $\bar{T}_s$ ), 平均体温 ( $\bar{T}_b$ ) および快適温 (Ta) の変化

らびに HR の変化は男女いずれとも両群の間に有意な差は認められなかった。

図7はステップテストによるHRの変動から推定して求めた $\dot{V}O_2$ を、両群で比較したものである。男子学生は長そで群が、また女子学生は半そで群で高い値を示したが、いずれも両群の間に有意な差は認められなかった。

表2は対象学生の安静時、W-UPならびにステップテスト後の温冷感の申告の結果を示したものである。男子学生の半そで群では安静時に「涼

しい」と申告した割合は全体の34.3%、以下、同様に「普通」37.1%、W-UP終了後では「普通」31.4%、「暖かい」28.6%、またステップテスト直後では「暑い」42.8%であった。長そで群では安静時に「普通」28.4%、「暖かい」28.4%がW-UP後では「少し暖かく感じる」43.0%に、ステップテスト後では「暑いと感じる」57.1%の割合を示した。

一方、女子学生の半そで群では安静時に、「少し暖かい」34.3%、「暑いと感じる」34.3%が、W-

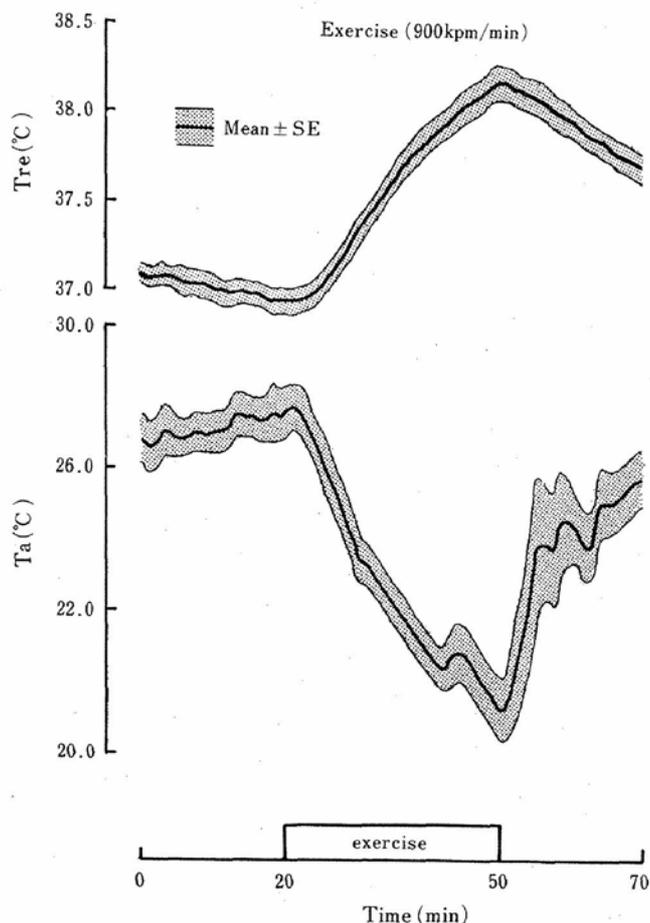


図2 直腸温 (Tre) と快適温 (Ta) の平均値ならびに標準誤差の変動

UP後では「暑いと感じる」53.1%，そしてステップテスト直後では「暑い」53.1%，「非常に暑い」34.3%で，全体の90%弱が「暑い」，「非常に暑い」と申告をした。また長そで群で安静時に「暑い」と申告した者は58.8%と高い割合を示した。W-UP後では「暑い」が64.7%とわずかに減少し，ステップテスト後では「暑い」(52.9%)と「非常に暑い」(41.2%)で全体の約94%を示した。

表3は，半そで群と長そで群別に快適感を比較した結果である。男子学生の場合で比較すると，半そで群では安静時に「快適」と回答した割合は82.8%であったのに対し，W-UP後では51.4%に低下，逆にステップテスト後では「少し不快」が51.4%となった。また長そで群では安静時に「快適」85.7%がW-UP後では「快適」42.8%，

「少し不快」42.8%，そしてステップテスト後では「少し不快」42.8%，「不快」28.5%となり半そで群と比較して，長そで群で運動による不快感の増大を示す割合が高く，このことは女子学生についても同様であった。

### 実験3

表4におおのこの条件下でのSw，運動前後のLAを示した。Swは着衣時において若干高い値を示した。LAはいずれもほぼ同様の値を示した。

図8は $\dot{V}O_2$ ならびにHRの経時変化である。運動時には $\dot{V}O_2$ ，HRいずれも着衣時と裸体時の間に若干の差異が観察されたが，被検者の数が少なく，その差は有意とは言えなかった。

図9にTre， $\bar{T}_b$ および $\bar{T}_s$ の経時変化を示した。 $\bar{T}_b$ はいずれの着衣状態においても裸体時と比較して，高い傾向を示し，また $\bar{T}_s$ は遠赤外線放射衣類，対象着衣時および裸体時の順で高い傾向を示した。Treは3条件による差は認められなかった。

### 3. 考 察

運動は筋の熱産生を著しく増大させ，体熱量が増加して体温は上昇する。しかし，発汗の発現などで熱放散が行われるようになっても，体温は下降することなく，運動強度に比例して体温は上昇する<sup>1)</sup>。これは体温のセットポイントが高温側に移動したためであるとする説がある<sup>6)</sup>。体温のセットポイント理論によれば，体温調節反応を惹起するためには，体温と設定温度(セット・ポイント)との間にロード・エラーが生ずる必要がある。運動時には発汗などの熱放散反応が促進するが，この熱放散反応を持続するには，セット・ポイントの低下が条件となる。このように，運動時の体温の調節とセットポイントとの関係については諸家の報告は一致していない。

体温は発汗，末梢血管あるいは代謝などの自律性体温調節反応に加えて，何らかの行動で自らが

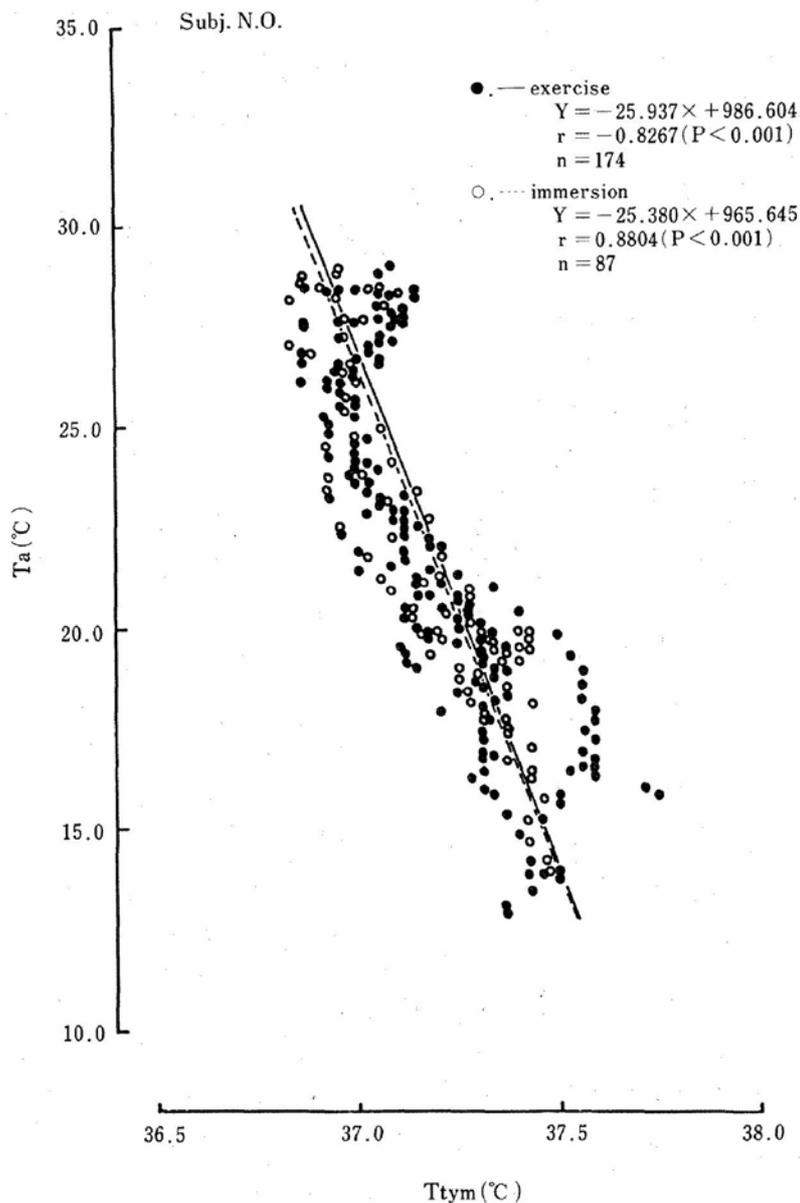


図3 運動および下肢温浴時の鼓膜温 (Tty) と快適温 (Ta) の比較

温熱環境を変えることによって、体温のバランスを維持しようとする行動性体温調節反応によって、一定に維持されている。行動性による体温の調節様式はさまざまであるが、オペラント行動観察法は、この調節様式を定量的に評価する上で有効な方法のひとつであり、この方法を用いて得られた報告は幾つか見られるが、ヒトを対象とした研究は、それほど多くはない<sup>8,9)</sup>。

Cabanac<sup>8)</sup>らは運動時に前腕部を水槽に浸し、水槽の温度が、最も快適に感じるように被検者に

調節させ、その快適温の変動から運動時の体温のセット・ポイントは移動しないとした。

今回の著者らの実験では、定温下ならびに、選択室温下のいずれの環境下においても、TreやTtyの増大には差がなく、運動強度に比例して上昇し、450 KPM 運動時の直腸温は、0.35 ~ 0.65°C、900 KPM の運動では0.85 ~ 1.12°Cの上昇を示した。運動時の選択室温は、深部体温の上昇に比例して下降し、運動開始前に比較して450 KPM の運動では平均5.2°C、900 KPM では6.

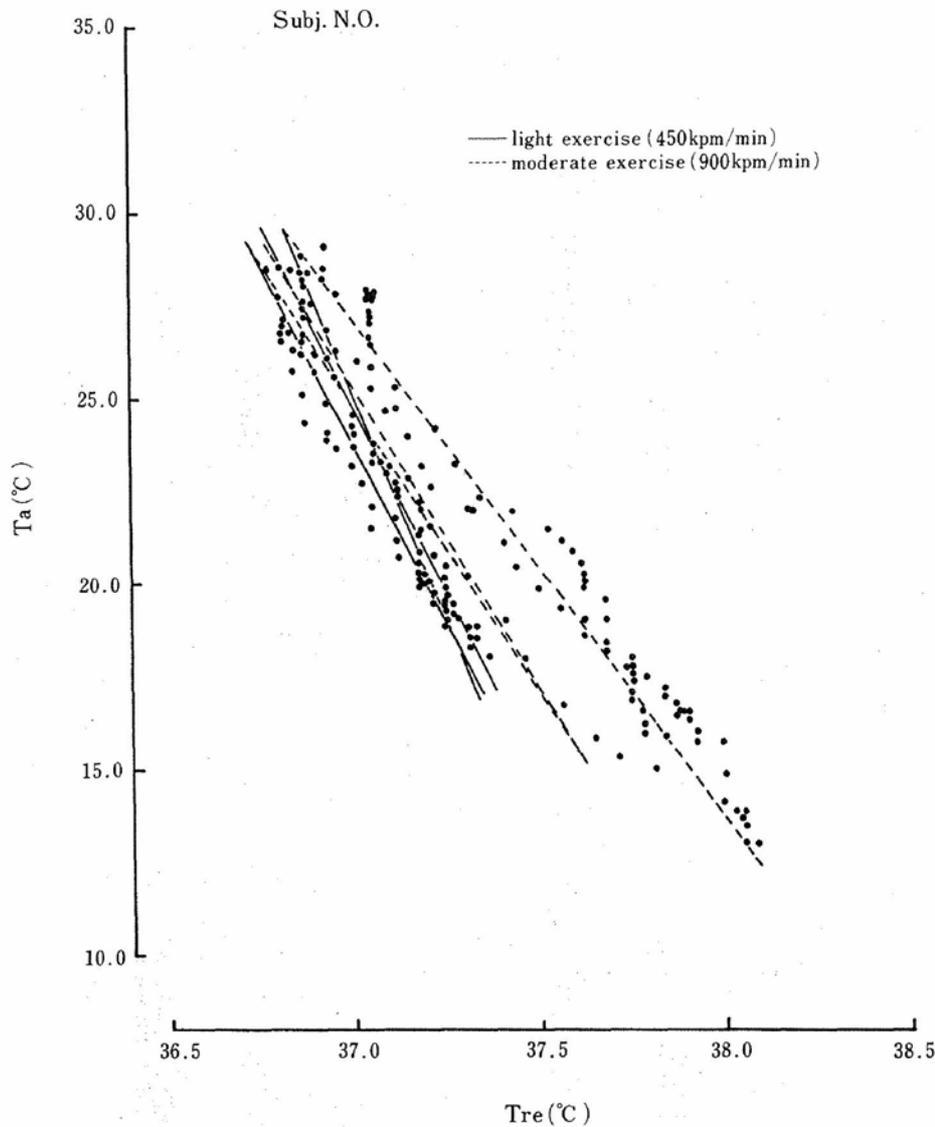


図4 運動時の直腸温 (Tre) と快適温 (Ta) の関係

4℃ 下降し、深部体温と選択室温は、 $-0.8$  前後の高い負の相関を示した。

また、下肢温浴時も  $-0.8$  前後の相関係数を示し、運動時のそれと同様な関係であった。従来から運動時の体温はある一定環境温の範囲であれば影響されないと言われているが、今回の実験のような室温の動的変化に対しても、運動時の体温は運動強度に依存して増加した。これらのことから、運動時の体温の上昇がセット・ポイントの移動によるとする説を支持するには矛盾が生ずる。

なお、運動時の体温上昇は、熱放散能力の不全によるものではなく、運動強度に比例した能動的

な上昇であり、 $5 \sim 30^{\circ}\text{C}$  内では環境温に関係しない<sup>1)</sup>。 $30^{\circ}\text{C}$  以上の気温では運動強度がある程度越えると、体温は環境温の影響を受けて上昇を示す<sup>10)</sup>。すなわち、運動強度が大であるほど、直腸温の急激な上昇が起こる閾値気温が低いことを示す。また気温以外の環境因子、例えば湿度を横軸にとって運動強度と直腸温の関係を調べても同様である<sup>11)</sup>。

さらに、運動時の体温上昇は運動強度の絶対値よりも個人の最大酸素摂取量の相対値に強く関係する<sup>12)</sup>ことや、暑熱順化によって汗の熱放散能力が増大しても運動による体温上昇は同様に起こ

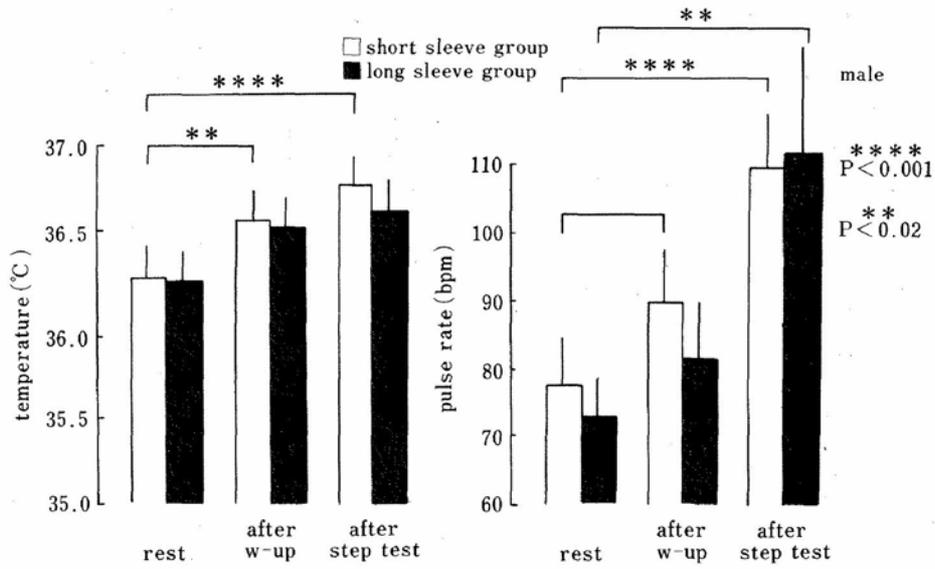


図5 半そで、長そで群別の心拍数 (HR) と口腔温 (Tor) の比較 (男子)

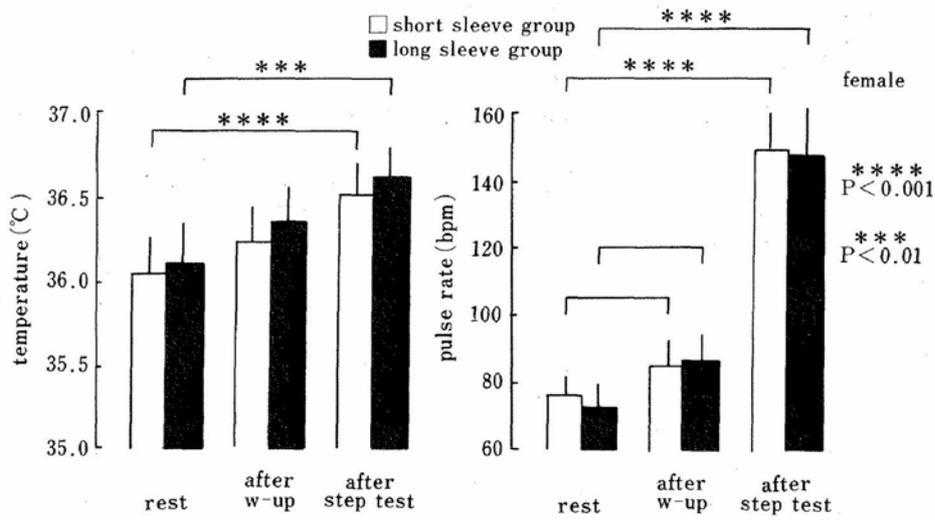


図6 半そで、長そで群よりの心拍数 (HR) と口腔温 (Tor) の比較 (女子)

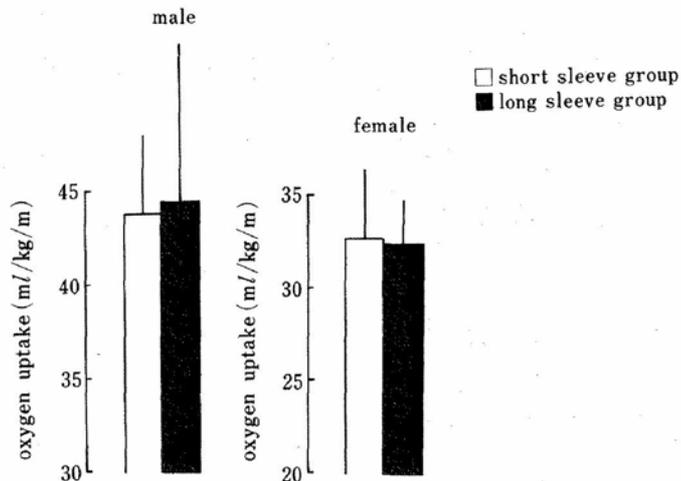


図7 半そで、長そで群別の酸素消費量 ( $\dot{V}O_2$ ) の比較

表2 温冷感の比較

			cold	cool	wamer	normal	warm	very warm	hot	very hot
males	short sleeve group (n=35)	rest	—	34.3%	8.6%	37.1%	8.6%	8.6%	2.8%	—
		after w-up	—	2.8%	2.8%	31.4%	28.6%	20.0%	14.4%	—
		after step test	—	2.8%	—	2.8%	22.9%	17.1%	42.8%	11.6%
	long sleeve group (n=7)	rest	—	14.4%	—	28.4%	28.4%	14.4%	14.4%	—
		after w-up	—	—	—	28.5%	—	43.0%	28.5%	—
		after step test	—	—	—	—	—	28.5%	57.1%	14.4%
females	short sleeve group (n=32)	rest	—	3.4%	—	9.3%	18.7%	34.3%	34.3%	—
		after w-up	—	—	3.2%	3.2%	18.7%	21.8%	53.1%	—
		after step test	—	—	—	—	6.3%	6.3%	53.1%	34.3%
	long sleeve group (n=17)	rest	—	—	11.8%	11.8%	11.8%	5.8%	58.8%	—
		after w-up	—	—	—	5.8%	—	17.7%	64.7%	11.8%
		after step test	—	—	—	—	5.9%	—	52.9%	41.2%

表3 快適感の比較

			agreeable	some discomfort	uncomfortable	very uncomfortable
males	short sleeve group (n=35)	rest	82.8%	11.4%	5.8%	—
		after w-up	51.4%	42.8%	5.8%	—
		after step test	17.1%	51.4%	25.7%	5.8%
	long sleeve group (n=7)	rest	85.7%	—	14.3%	—
		after w-up	42.8%	42.8%	—	14.4%
		after step test	14.4%	42.8%	28.5%	14.3%
females	short sleeve group (n=32)	rest	75.0%	25.0%	—	—
		after w-up	50.0%	50.0%	—	—
		after step test	3.2%	46.8%	46.8%	3.2%
	long sleeve group (n=17)	rest	58.8%	41.2%	—	—
		after w-up	41.2%	41.2%	17.6%	—
		after step test	17.6%	23.6%	41.2%	17.6%

表4 総発汗量と血中乳酸濃度の変動

	$\Delta Wt$ (kg)	Blood Lactate(mg/dl)	
		before	after
NC	$0.375 \pm 0.035$	$4.8 \pm 1.2$	$23.7 \pm 7.7$
C	$0.412 \pm 0.030$	$7.4 \pm 4.1$	$20.4 \pm 11.5$
FIC	$0.397 \pm 0.040$	$7.2 \pm 1.2$	$22.2 \pm 5.1$

NC : No cloth, C : Cloth, mean  $\pm$  S. D.  
FIC : Far infrared radiating cloth,

る<sup>13)</sup>.

以上のことにより、運動時の深部体温上昇の根本原因は、熱放散能力の一時的改善だけでは説明できない。そこで、共同研究者の大貫は、現在、もう一方の要因である代謝性熱産生量の面から、運動時の深部体温の上昇の機序の解明を試みている。

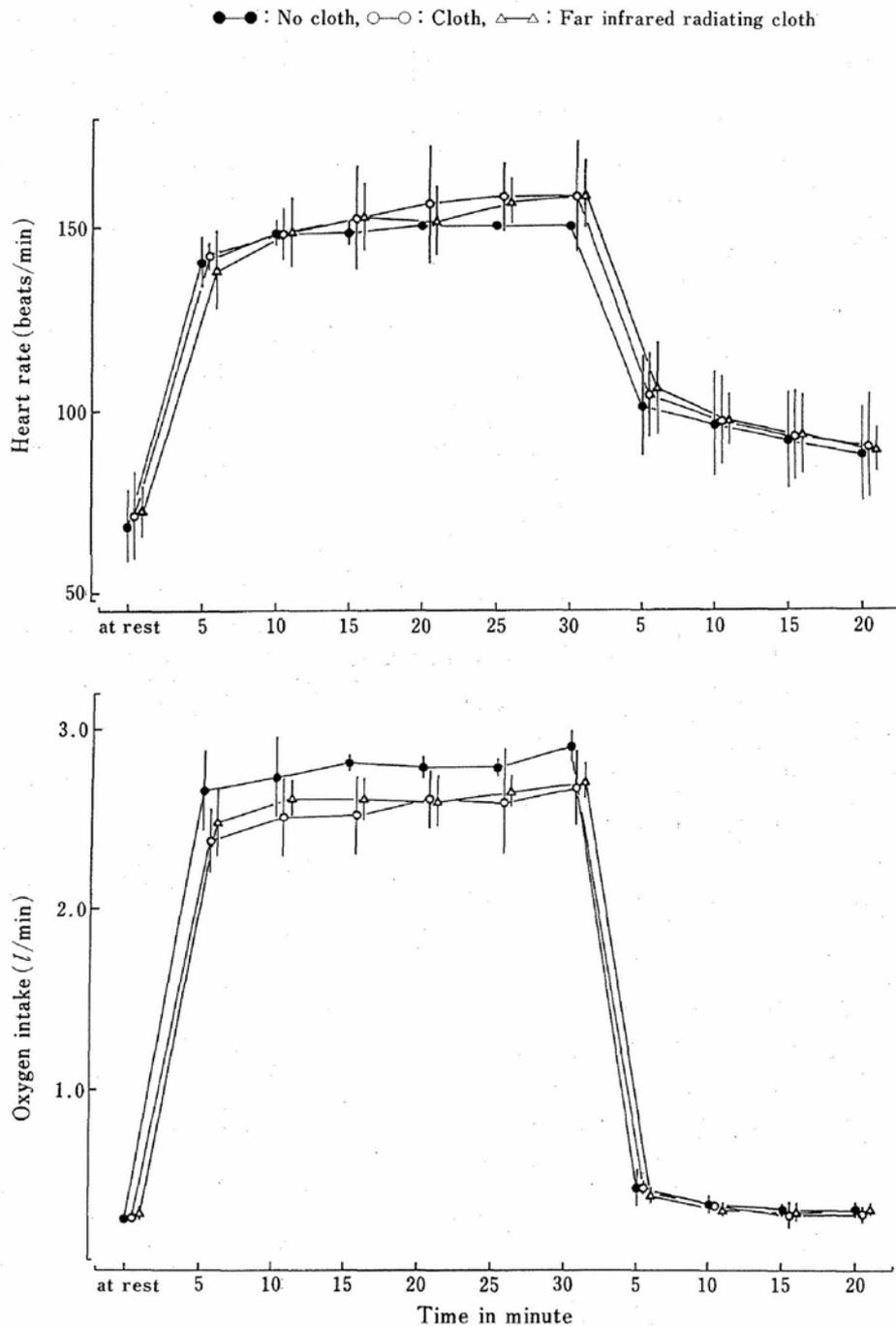


図8 心拍数 (HR) および酸素消費量 ( $\dot{V}_{O_2}$ ) の変動

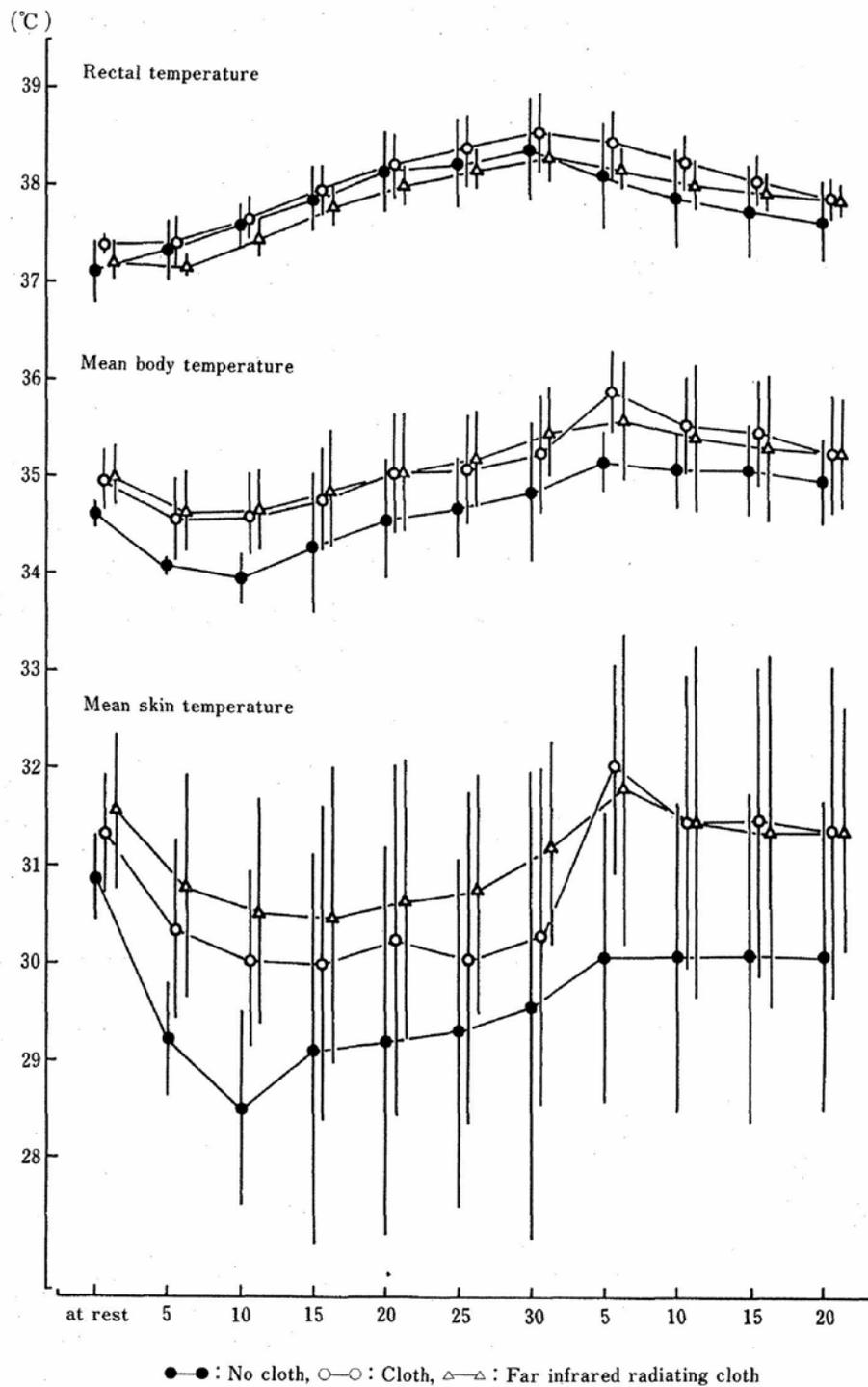


図9 直腸温 ( $T_{re}$ ), 平均体温 ( $\bar{T}_b$ ) および平均皮膚温 ( $\bar{T}_s$ ) の変動

環境や身体活動の変化に応じて、体温調節が円滑に行われるように適正に衣服を着用しようとする場合、被服材料、衣服型および衣服構成の3つの見地から考えると都合が良いといわれる。

運動時には著しく熱産生が増大するので熱放散  
デサントスポーツ科学 Vol.12

性のすぐれた衣服が適正となる。また、熱放散は皮膚から伝導、対流、輻射あるいは蒸発による熱量に規定されるが、身体各部位の熱放散の生理的な特性についても考慮する必要がある。例えば、各季節に相当した洋服を着用した男女について、

衣服表面温と外気温との温度勾配から、身体各部位の衣服表面からの熱放散を測定した結果によると、衣服表面からの熱放散量は、男女ともに四季を通じて、肩および肩甲骨から腋下、側腹部にかけて大きいという。さらに、女子では夏においてのみ下腹部が、冬では上腹部で熱放散量が高いという<sup>14)</sup>。

Hirata ら<sup>15)</sup>は、上肢末端の手指部に存在する動静脈吻合 (AVA) を通過したあとの、表在性皮静脈を通り、前腕を灌流する静脈の熱放散に果たす関与の重要性について報告している。

このように、衣服が運動時の体温の変動に影響すると想定されるが、半そでと長そで (実験2) あるいは、裸体と着衣時 (実験3) の比較でも明らかかなように、着衣の相違が運動時の体温、あるいは代謝機能に影響を与えるまでに到らない。但し、実験2で明らかにしたように、運動による体温の増加によって着衣の相違が温冷感や快適感に及ぼす影響は大となる。これらのことは、実験1の結果で明らかかなように、皮膚温の変動を反映した運動時の快適感や温冷感は、運動時の中核温や代謝性の反応に影響を及ぼすものではないといえる。

ヒトの温冷感や快適感に基づいて至適温度条件を求めた研究によると、裸体で安静時に快適な条件は平均皮膚温がほぼ33°Cで<sup>16,17)</sup>、これには性別、季節、着衣による差は認められない<sup>18)</sup>。また、作業や運動によって快適温度と平均皮膚温は低下する<sup>19~22)</sup>。但し、これら運動と至適温度に関する研究の多くは、比較的軽運動に関しての研究が多く、今後さらに運動強度と至適温度に関して系統的な研究が必要と思われる。

## まとめ

運動時の作業能力と快適性との関連について (1) オペラント行動観察、(2) 問診による温冷

ならびに快適感 (3) は裸体と着衣時の体温調節などを比較した。

運動による体温の上昇は、より「冷」の温度環境を快適とするが、それによって中核温の変動に影響しないし、着衣の影響についても同様である。今後、さらに運動強度と快適温との系統的な検討が望まれる。

## 謝辞

本研究は下記の方々のご協力を頂いた。稿を終えるにあたって、深謝致します。

愛知医科大学 小川徳雄, 大西範和

兵庫医科大学 堀 清記, 石指宏道, 田中信雄

## 文 献

- 1) Nielsen, M.; Die Regulation der Korper temperatur bei Muskelarbeit, *Skand, Arch, Physiol.*, **79**, 193-230 (1938)
- 2) 小林康孝ほか; 運動処方で行われることなく運動習慣へと発展させる具体策, *デサントスポーツ科学*, **10**, 140-173 (1989)
- 3) Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J & Hardy, J. D.; Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, *Environmental Research*, **1**, 1 (1967)
- 4) 緒方維弘; 日本人の耐寒性とその測定法, 日本人の適応能, 講談社, 18-31 (1970)
- 5) 中山昭雄; 体温とその調節, *中外医学社*, 15-18 (1970)
- 6) Nielsen, B.; Thermoregulation in rest and exercise, *Acta Physiol, Scand., Supp.* **323** (1969)
- 7) Jequier, E.; Reduced hypothalamic set point temperature during exercise in man, *Experientia*, **26**, 681 (1970)
- 8) Cabanac, M., Cunningham, D. J., Stolwijk J. A. J.; Therm, oregulatory set point during exercise; a behavioral approach, *J. Comp, Psychol.*, **76**, 94-102 (1971)
- 9) Terai, Y., Asayama, M., Ogawa, T., Sugeno, J., Miyagawa, T.; Circadian variation of preferred environmental temperature and body temperature, *J. therm, Biol.*, **10** (3), 151-156 (1985)

- 10) Lind, A. R. ; A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work, *J. Appl. Physiol.*, **18**, 61-66 (1963)
- 11) 丹羽健市, 中山昭雄, 大貫義人; 運動時の体温上昇と環境湿度, 山形大学紀要(教育科学)第9巻, 第20号, 265-273 (1987)
- 12) Saltin, B., L. Hermansen ; Esophageal, rectal and muscle temperature during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **21**, 1757-1762 (1966)
- 13) Eichna, L. W., C. R. Park, N. Nelson, S. M. Horvath, E. D. Palmes ; *Thermal Physiol.*, **163**, 585-597 (1950)
- 14) 青山光子; 温度勾配より観たる季節より衣服型態に関する研究, 名市大医誌, **6**, 70-80 (1955)
- 15) Hirata, K. et al. ; Peripheral vascular tone during neat load is modified by exercise intensity, *Eur. J. Appl.*, **51**, 7-15 (1983)
- 16) Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J Hardy, J. D. ; Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, *Environ. Res.*, **1**, 1-20 (1967)
- 17) 磯田憲生, 小林陽太郎, 堀越哲美, 池田信己; 風洞内気流と人体皮膚温との関係に関する実験的研究(着衣) —中間期, 暖房期および冷房期の場合—, 日本建築学会論文報告集, **229**, 121-128 (1975)
- 18) 小川庄吉, 長田泰公, 久野由基一, 吉田敬一; 至適温度条件の季節差について, 公衛院研報, **24**, 221-231 (1975)
- 19) 三浦豊彦, 木村菊二, 富永洋志夫, 石川孝夫, 阿久津綾子, 鈴木泰子; 外気温考慮した夏季の冷房の至適温度に関する実験的研究(第4報) 軽作業の至適温度, 労働科学, **40**, 295-324 (1967)
- 20) 三浦豊彦, 木村菊二, 富永洋志夫, 肝付邦憲, 鈴木泰子, 沼尻幸吉, 野村秀子; 夏季における筋労作と精神作業の至適温度について—冷房の至適温度に関する実験的研究(第6報)—, 労働科学, **43**, 495-519 (1967)
- 21) 小川庄吉, 長田泰公, 栃原 祐, 久野由基一, 吉田敬一, 浅見雅子; 座位軽作業における至適温度条件, 公衛院研報, **25**, 145-154 (1976)
- 22) Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J & Saltin, B. ; Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperatures, *Environ. Res.*, **2**, 209-229 (1969)