

身体活動時の快適性とスポーツウェア

神戸女子大学 平田 耕造

(共同研究者) 同 増田 茅子

同 湯谷 操

Effects of Wearing Two Different Types of Clothing on Thermal Comfort during Exercise

by

Kozo Hirata, Kayako Masuda, Misao Yutani
Faculty of Home Economics, Kobe Women's University

ABSTRACT

To investigate the effects of wearing two different forms of sportswear on physiological responses and comfort sensation during exercise, six women were volunteered. One garment covered 94% of the whole body surface area except for the head (EB), the other covered 57% of the whole body (ES). The subjects repeated 5-min moderate exercise three times with 5-min rest period in the upright position at an ambient temperature of 20°C and a relative humidity of 25% or 60%. Discomfort, thermal and humidity sensations increased with rising mean body temperature during exercise. These sensations are enhanced by exercise as a non-thermal factor through increased vasomotor and sudomotor responses.

Extremity skin temperatures, mean skin temperature, mean body temperature and microclimate humidity were significantly higher in EB than in ES sportswear. Therefore, discomfort, thermal and humidity sensation were significantly higher in EB than in ES.

It is suggested that exercise *per se* is the factor of enhancement of

discomfort wearing sportswear, and increasing covered area of the body enhances discomfort in the present experimental conditions.

要 旨

スポーツウェアを着用して、身体活動を行なった時の快適性と体温調節反応の関係を探るために、被覆面積の異なるスポーツウェア（被覆面積94%：EB、被覆面積57%：ES）を着用した成人女子6名を被験者とし、環境温20℃、湿度25%または60%のいずれかの条件で、5分間の自転車エルゴメータ運動を3回、5分間の休息をはさみ間欠的に行なった。運動中、不快感は増加したが、それは温冷感および湿潤感の上昇に依存した。これらは平均体温の上昇にともなって生じるが、皮膚血管および汗腺への非温熱性因子の影響により著しく修飾されることが判明した。着用したスポーツウェアの被覆面積の違いにより、四肢部の皮膚温、平均皮膚温、平均体温および衣内湿度はESよりEBで高い値を示し、温冷感、湿潤感、不快感はEBの方がESより有意に高くなった。

以上の結果、スポーツウェア着用時の快適性には、非温熱性因子としての運動と被覆面積の割合に関して、四肢部と体幹部の温熱生理的特性の差異が重要な因子であることが示唆された。

1. はじめに

衣服の着用は、外部温熱ストレスである外界の環境の変化に応じて調節され、皮膚表面の環境である衣内気候を快適条件に保つ役割をしている。この衣内気候を快適に保つ方法のひとつは、被覆面積を変えることである。

一般的に着衣により被覆面積が大きくなると保温性が増すと見える。つまり、被覆面積の増加に比例して熱抵抗値(clo)が大きくなるのである。

例えば、長そで、長ズボンでは全体表面積の93%覆われており熱抵抗値は約1.2 clo。ノースリーブ・半ズボンでは35%覆われており熱抵抗値は約0.2 cloである。ヒトが快適と感じる気温と着衣の熱抵抗値の関係では、着衣量が多くなると熱抵抗が上昇し、快適に感じる気温が低くなるのである。

Jeong and Tokura¹⁰⁾は、環境温が10℃の時、直腸温は被覆面積の少ない衣服の方が被覆面積の多い衣服よりも高く保たれていたこと、体幹部の皮膚温と衣内気候は被覆面積の小さい方が高く保たれていたことを報告している。

身体活動により熱産生量が亢進したときでも、熱放散量との間のバランスを保ち体温の調節を行っている。運動時の快適性とスポーツウェアの関係を追究するとき、運動時の体温調節の適応について、衣服がどのように関与しているか知ることには重要なことである。

これに関して、清水ら²⁴⁾は一定の衣服着用時に、異なる3つの運動強度で15分間運動させたときの衣内温・湿度の変化を詳細に検討し、報告している。また、Jeong and Tokura¹⁰⁾の被覆面積の異なる衣服を着用した際の、運動時の皮膚温、体温の変化についての報告がある。しかし、スポーツウェアによる被覆面積の違いが、軽度の間欠的運動時に衣内気候をどのように変化させるか、また温熱的な申告、皮膚温、皮膚血流量などにどのような影響を及ぼしているかあまり詳細には検討されていない。

本研究は被覆面積が異なるスポーツウェアを着用して身体活動をすることにより、温熱的快適感および体温調節反応がどのように影響されるか検討することを目的とした。

2. 方 法

被験者は健康な成人女子6名とした(表1)。2つの異なる被服条件と2つの異なる環境条件を組合せ、4種類24回の実験を行なった。

2.1 環境条件

本学の生活環境シミュレーター室(TBL-15 W 5 YPX, タバイエスペック, 大阪)で、室温 20°C, 気流 0.2 m/sec 一定とし、相対湿度 25 または 60% のいずれかの環境条件で行なった。

2.2 被服条件

実験に使用した被服は、市販のスウェットシャツ(レックス ADS-3273, デサント)とスウェッ

トパンツ(レックス ADS-5272, デサント)を加工して用いた。

被覆面積の異なる2種類の被服を加工して使用した。被覆面積の大きい被服(EB)は、長そで、長ズボン、手袋、靴下から成り、全体表面積の94%を覆うものである。また、被覆面積の小さい被服(ES)は、フレンチそでの上着、半ズボンから成り、全体表面積の57%を覆うものである。いずれの被服も、そでとすそにはすべてゴム編みの布、またはゴムひもで閉じて開口部をなくし、煙突効果による対流の影響を少なくした。また、下着と靴下も市販品で、同一素材のものを用了。各被服の諸元は表2に示した。

表1 被験者は身体的特徴

年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	胸囲(cm)	腰囲a(cm)	体表面積(m ²)
21.7	158.8	52.1	86.4	92.2	1,481
0.2	2.1	1.8	1.9	1.2	0.03

Mean±SE (n=6)

表2 衣服の諸元

被服名	上衣	下衣	くつ下	手袋	下着		合計	
					ブラジャー	ショーツ		
着用 および 形態	EB	長そで	長ズボン	○	○	○	○	
	ES	フレンチそで	半ズボン	—	—			
素材	EB	身頃, そで 綿85% ポリエステル15% 襟, そで口, すそ(EBのみ) 綿65% ポリエステル35%	綿85% ポリエステル15% すそ(EBのみ) 綿65% ポリエステル35%	綿 ナイロン ポリウレタ ン	綿85% ポリエステル15% そで口 綿65% ポリエステル35%	ナイロン ポリウレ タン	綿100%	
	ES			—	—			
重量 (g)	EB	426.5	442.3	56.3	69.0	48.9	16.6	994.1
	ES	274.1	311.7	—	—	48.9	16.6	651.3

—は、非着用を示す。

○は、着用を示す。

2.3 測定項目

本研究では、皮膚温（7点）、直腸温、衣服内温湿度（2点）、心拍数、血圧、皮膚血流量（2点）、温冷感、快適感、湿潤感の申告を1分ごとに測定した。

皮膚温（Tsk）はサージカルテープで皮膚に固定した7箇所の皮膚温用サーミスター（タカラサーミスター、横浜）で測定し、面積比の係数を乗じ平均皮膚温（ \bar{T}_{sk} ）を算出した。

直腸温（Tre）はサーミスター（YSI）を肛門から10 cm 直腸内に挿入し測定した。さらに、平均体温（ \bar{T}_b ）は次の式に代入して求めた。

$$\bar{T}_b = 0.4 \times \bar{T}_{sk} + 0.6 \times Tre$$

衣服内温湿度は、胸部（胸囲と胸骨との交点）と背部（第7頸椎点下20 cm）に温湿度センサー（HMP 133 YSD, VAISALA）をサージカルテープで固定し、データコレクタ（AM-7101, 安立計器）に保存して、測定後パソコン（PC-9801 LV, NEC）で処理した。

心拍数はパルスウォッチ（MRC-1200, 日本光電）を使用し、胸部に電極と送信機を取り付け、被験者から1 m 以内に置いた受信機に記録測定後、パソコン（PC-9801 LV, NEC）で処理した。

血圧は左上腕にカフを巻き、デジタル自動血圧

計（MB-650, シャープ）を使用して計測記録した。平均血圧（MBP）は、 $1/3$ 最高血圧 + $2/3$ 最低血圧の式により求めた。

皮膚血流量（SBF）は胸部（胸囲と胸骨の交点）と背部（第7頸椎点から垂直に20 cm 下）に、レーザードップラー血流計（ALF-21, アドバンス）のプロープを装着し、2ペン型記録計（SERVOCORDER, SR 6221, グラフテック）に記録した。記録した出力を1分ごとにプラニメータで積分し、1分間の平均値を求め、各時間のSBFとした。SBFをMBPで除し、皮膚血管コンダクタンス（CVC）を算出し、血管拡張の指標とした。

表3に示す申告表をもとにして、被験者の温冷感、湿潤感および快適感を1分ごとに数字で申告させた。

2.4 実験手順

被験者は実験3時間前までに、6枚切り食パン1枚とカップ一杯のコーヒーか紅茶（砂糖なし）を摂った後は何もとらないようにし、食物摂取による体温変化を最小限、かつ一定にした。

実験開始50分前までに生活環境シミュレーターに入室し、直腸温、大腿部、下腿部のサーミスター、心拍計の電極、送信機と血圧計のカフを

表3 主観的申告のためのカテゴリースケール

全身的温冷感	快適感	湿潤感
1.非常に暑い	1.快適	1.非常に湿っている
2.暑い		2.湿っている
3.暖かい	2.やや快適	3.やや湿っている
4.やや暖かい		4.どちらともいえない
5.どちらともいえない	3.不快	5.やや乾いている
6.やや涼しい		6.乾いている
7.涼しい	4.非常に不快	7.非常に乾いている
8.寒い		
9.非常に寒い		

装着した。次に、予め実験環境に3時間以上さらしておいたいずれかの実験服を着用し、自転車エルゴメータに座った。験者は残りの皮膚温サーミスターと衣服内温湿度センサー、血流計用プローブをそれぞれ取り付けた。

被験者はその後20分間安静にし、最後の5分間に安静時の計測を行なった。続いて、各被験者の最大酸素摂取量 ($V_{O_{2max}}$) の約50%に相当する5分間の自転車エルゴメータ運動を、毎回5分間の安静をはさみ3回繰り返した。3回目の運動終了後には15分間安静とし、合計45分間の測定を行なった。

以上の手順で1日4回 (AM 9:00, AM 11:00, PM 1:00, PM 3:00) 実験を行なった。なお、日内リズムによる体温変化の影響をできるだけ少なくするために、同一被験者については毎回同一時間帯に行なった。

各測定項目について、各条件間における6名の

平均値の差の検定は、paired t-test²⁷⁾ を用いて行ない、5%以下の危険率をもって有意とした。

3. 結果および考察

3.1 皮膚温と体温

発汗の無い条件でも運動開始により皮膚温が低下するのは、運動にともなう非温熱因子の作用により、皮膚血管が収縮するためであることが報告されている¹⁹⁾。この血管収縮の大きさは、運動強度に比例して大きくなることを、大貫ら²²⁾は皮膚温測定により、Zelis et al.²⁹⁾は皮膚血流量測定により、Hirata et al.⁵⁾は熱放散量と温熱コンダクタンスの測定により、それぞれ明らかにしている。さらに、この皮膚温低下域は運動強度の増大により身体末梢部から体幹部へ拡大すると報告されている²²⁾。

図1には20°C、60%条件で、ES着用時の全身7カ所の皮膚温変化を6名の平均値で示した。運

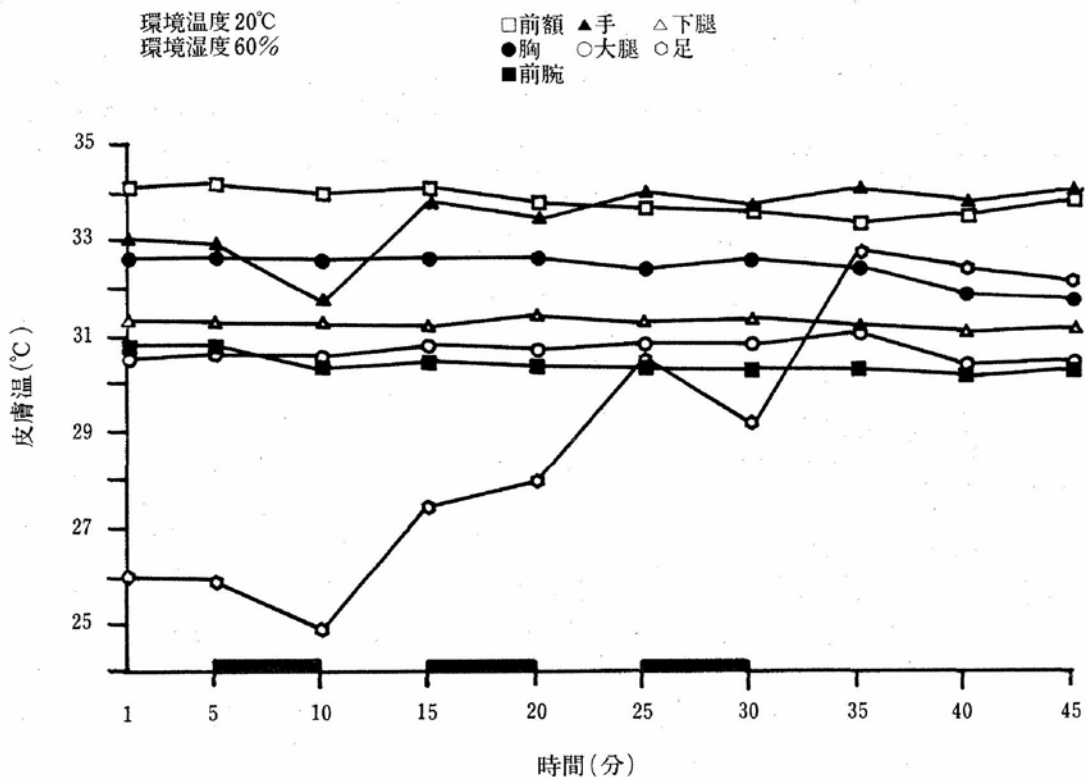


図1 全身の皮膚温変化
20°C、60%条件でES着用時の平均値 (n=6)

動開始により皮膚温が低下を示し、運動終了により上昇を示したのは胸を除く、前額、前腕、手、大腿、下腿、足の6ヵ所であった。これらの変化は他の被服および湿度条件でも同様の傾向であった。

本実験では、自転車エルゴメータによる下肢運動を行なったので、前額、腕、手は実験中全く動いていなかった。それにもかかわらず、皮膚温が低下しているのは、前述のように非温熱性因子による皮膚血管の収縮の結果である。また、運動終了後の皮膚温上昇は、運動中に収縮を引き起こしていた非温熱性因子の解除が主因であろう。

皮膚血管の温熱性調節は、深部体温、平均皮膚温、局所皮膚温の変化により行なわれている²³⁾。

1回目の運動後には、直腸温、平均皮膚温、および局所皮膚温のいずれも上昇していないにもかかわらず、手と足の皮膚温が運動前値よりも高い温度にまで上昇しているのは、Jessen¹²⁾や Heising and Werner⁴⁾が示唆しているように、作業筋内に温度受容器が存在し、筋運動により刺激されたために、体温調節性に皮膚血管の拡張が生じたとも考えられる。しかし、現段階では結論することは出来ないため、今後の研究成果に待たなければならない。

さらに、各条件での各部の皮膚温変化を表4に示した。異なる被服ESとEBの間には、前腕、手、下腿および足の皮膚温に有意な差が観察され、EBの方がESよりも高い値を示した。この傾向は下肢よりも上肢で明瞭であった。湿度条件の違いによる皮膚温の差は、ES着用時に安静5分目の手の皮膚温にのみ観察され、25%湿度条件よりも60%湿度条件の方が有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。発汗開始後の皮膚温変化は、皮膚血流による体深部からの熱移動と、汗の蒸発による皮膚冷却効果のバランスにより決定される。衣服着用の場合には、衣服の熱移動特性により修飾され、さらに複雑となるが、皮膚血流による体深

部から体表面への熱移動と、衣服を通して皮膚から環境への熱放散とのバランスの結果として変化したものである。

表5には、各条件での \bar{T}_{sk} 、 T_{re} 、 \bar{T}_b の経時変化を示した。 \bar{T}_{sk} は5分間の運動中には下降し、運動終了により上昇する変化を運動ごとに繰り返した。着用被服による差異は25%湿度条件では5分目より25分まで、また60%湿度条件では5分目より20分目まで観察され、EBの方がESより有意に高い値を示した。湿度条件の違いによる \bar{T}_{sk} の差異は観察されなかった。

丸山と田村¹⁵⁾は、20°C、50%の条件で、身体部位別に取り外しの出来る分割式密着服を用いて、全身被覆状態から身体各部の衣服を取り外す実験を行なった。その結果、被覆面積(X)と平均皮膚温の変化度(Y)の間には $Y = -0.04X + 0.18$ の関係があることを報告している。この式を用いると、本研究で用いたEBとESでは、37%の被覆面積の違いがあり、1.3°Cの差異が生じることになるが、実際には25%湿度環境では、1.1~1.4°Cの範囲にあり、式から予測される値1.3°Cに近い値であった(表5)。一方、60%湿度条件では0.4~1.1°Cであり、予測値より小さい値を示したのは、運動により四肢の皮膚温が著しく上昇したため(表4)、ESでの平均皮膚温が上昇し、EBとの差異が減少したためである。

四肢からの熱放散量増加は、四肢末端に存在する動静脈吻合血管(AVA)の拡張により生ずることを示してきた^{6,7)}。つまり、平均皮膚温の上昇によりAVAが拡張し、手や足からの熱放散量が増加すると共に、その血液が表在性の静脈を通り、前腕や下腿を通過する際に、さらに熱を放散するものである。これには発汗量の亢進をも含んでおり、蒸散性および、非蒸散性熱放散量が共に亢進し、体温上昇を防いでいるのである。

その結果、 T_{re} は運動中もほとんど変化を示さず、安静時の値を最後まで維持した(表5)。同一

表4 異なる被服：湿度条件での全身皮膚温の変化 (n=6)

条 件		時 間 (分)								
		5 R	30E	45R	5 R	30E	45R	5 R	30E	45R
湿 度	被服	Tsk : head			Tsk : chest			Tsk : forearm		
25%RH	ES	33.6±0.48	33.3±0.33	33.7±0.34	32.5±0.28	32.6±0.63	31.7±0.53	28.9±0.37	27.4±0.44*	27.2±0.48*
	EB	33.9±0.16	33.3±0.23	33.6±0.21	32.5±0.41	32.2±0.62	31.3±0.58	31.3±0.34 ⁺⁺	30.3±0.43 ⁺⁺	30.5±0.50 ⁺⁺
60%RH	ES	33.9±0.36	33.5±0.40	33.9±0.32	32.6±0.28	32.5±0.36	32.2±0.44	28.6±0.42	27.3±0.44	27.6±0.44
	EB	34.2±0.26	33.6±0.30	33.9±0.42	32.6±0.40	32.6±0.58	31.7±0.68	30.7±0.32 ⁺⁺	30.4±0.39 ⁺⁺	30.4±0.39 ⁺⁺
		Tsk : hand			Tsk : thigh			Tsk : calf		
25%RH	ES	24.7±1.20	29.7±1.03 ^{**}	30.9±1.15 ^{**}	30.7±0.31	31.0±0.48	31.2±0.47	29.5±0.12	29.1±0.29	29.6±0.26
	EB	31.1±1.07 ⁺⁺	32.9±0.67 ⁺	33.5±0.29 [‡]	31.2±0.37	31.3±0.43	31.3±0.35	31.3±0.12 ⁺⁺	31.3±0.42 ⁺	31.2±0.41
60%RH	ES	29.2±1.24 [△]	31.9±0.91	32.6±0.62 [*]	30.3±0.20	30.9±0.32	31.1±0.32 [*]	29.7±0.14	29.0±0.17	29.4±0.18
	EB	32.9±0.40 ⁺	33.6±0.72	34.2±0.61	30.6±0.20	30.8±0.32	30.5±0.32	31.1±0.20	31.2±0.49 ⁺	31.0±0.22 ⁺⁺
		Tsk : foot								
25%RH	ES	21.0±0.53	23.0±1.64	24.0±1.91						
	EB	23.2±1.24	28.1±2.76	32.4±1.26 ^{‡‡}						
60%RH	ES	23.0±1.30	26.3±1.88	29.0±1.94 [*]						
	EB	25.9±1.95	29.2±2.25	32.1±1.55 [*]						

時間に付随した記号R：安静，E：運動；*，**は5Rの値からの有意差P<0.05，P<0.01；+，++はEBとESの間の有意差P<0.05，P<0.01；△，△△は25%と60%の間の有意差P<0.05，P<0.01；Tsk：headは前額皮膚温；Tsk：chestは胸皮膚温；Tsk：forearmは前腕皮膚温；Tsk：handは手皮膚温；Tsk：thighは大腿皮膚温；Tsk：calfは下腿皮膚温；Tsk：footは足皮膚温

表5 異なる被服, 湿度条件での平均皮膚温, 直腸温, 平均体温の変化 (n=6)

条 件		時 間 (分)						
		5 R	10E	15R	20E	25R	30E	45R
湿 度	被服	\bar{T}_{sk}						
25%RH	ES	30.1±0.13	30.0±0.12	30.2±0.15	30.2±0.17	30.5±0.30	30.3±0.34	30.3±0.40
	EB	31.3±0.23 ⁺⁺	31.2±0.23 ⁺⁺	31.6±0.21 ⁺	31.5±0.24 ⁺	31.6±0.37 ⁺	31.5±0.39	31.5±0.39
60%RH	ES	30.4±0.15	30.1±0.09	30.5±0.17	30.5±0.23	30.9±0.22	30.6±0.26	30.9±0.25
	EB	31.5±0.22 ⁺⁺	31.2±0.15 ⁺⁺	31.5±0.21 ⁺⁺	31.6±0.21 ⁺⁺	31.6±0.29	31.6±0.25 ⁺	31.3±0.43
		T_{re}						
25%RH	ES	36.5±0.15	36.6±0.08	36.6±0.08	36.6±0.09	36.6±0.09	36.6±0.18	36.6±0.16
	EB	36.5±0.07	36.5±0.07	36.5±0.09	36.5±0.11	36.5±0.12	36.5±0.14	36.5±0.13
60%RH	ES	36.7±0.09	36.7±0.08	36.7±0.08	36.7±0.08	36.7±0.09	36.7±0.10	36.7±0.10
	EB	36.8±0.06 ^{△△}	36.7±0.07 ^{△△}	36.7±0.07	36.8±0.07 [△]	36.8±0.07 [△]	36.8±0.08	36.8±0.08
		\bar{T}_b						
25%RH	ES	33.9±0.13	33.9±0.09	34.0±0.11	34.0±0.10	34.2±0.15	34.1±0.20	34.1±0.19
	EB	34.3±0.08 ⁺	34.3±0.07 ⁺⁺	34.5±0.08 ⁺⁺	34.4±0.10 ⁺	34.4±0.13	34.4±0.16	34.4±0.16
60%RH	ES	34.2±0.12	34.1±0.11	34.3±0.12	34.2±0.12	34.4±0.11	34.3±0.12	34.4±0.11
	EB	34.7±0.07 ^{△△}	34.6±0.07 ^{△△}	34.6±0.09 ⁺	34.7±0.10 [△]	34.7±0.11	34.7±0.12 ⁺	34.7±0.21

時間に付随した記号R: 安静, E: 運動; \bar{T}_{sk} : 平均皮膚温, T_{re} : 直腸温, \bar{T}_b : 平均体温; +, ++はEBとESの間の有意差 $P < 0.05$, $P < 0.01$; △, △△は25%と60%の間の有意差 $P < 0.05$, $P < 0.01$

表6 異なる被服, 湿度条件での平均血圧と心拍数の変化 (n=6)

条件	時間 (分)							
	5R	10E	15R	20E	25R	30E	45R	
湿度	平均血圧 (mmHg)							
25%RH	被服							
	ES	76.6±5.7	95.3±1.9*	76.8±2.4	95.8±2.0*	83.7±5.3	92.3±5.1*	81.7±5.9
	EB	79.3±2.2	99.5±3.9*	79.2±4.1	92.4±4.7*	79.9±7.7	98.6±5.9*	79.0±4.0
60%RH	ES	78.4±5.0	96.9±6.6*	76.6±4.0	89.9±4.1	80.4±5.1	90.6±4.7	83.0±4.2
	EB	81.6±4.1	100.8±5.7*	75.7±4.7	91.9±4.4	82.1±4.2	92.6±6.8	81.4±4.9
	心拍数 (bpm)							
25%RH	ES	77.0±5.3	131.5±4.5**	90.2±9.2	139.7±5.1**	98.2±7.8	141.0±6.4**	93.7±2.7*
	EB	77.5±4.3	138.3±4.1**	86.8±3.8	144.2±4.9**	95.5±2.6**	145.5±4.8**	91.3±2.6*
60%RH	ES	74.7±3.3	130.5±3.1**	84.8±4.1	139.8±2.5**	89.3±3.8*	143.5±2.5**	88.5±3.8*
	EB	76.8±4.6	131.3±2.4**	82.0±4.3	140.0±3.4**	91.7±4.1*	145.5±2.3**	92.5±2.6*

時間に付随した記号 R: 安静, E: 運動; *, ** は5Rの値からの有意差P<0.05, P<0.01

被服着用時でも, 湿度の高い時の方がより高いTreを示す傾向が見られ, EB着用時には25%より60%湿度条件の方が5と10, 20および25分目に有意に高い値を示した (P<0.01).

TbはTskに近似した変化を示した. 運動中には低下し, 運動終了により上昇する傾向が観察されたが, 有意な変化ではなかった. 着用被服による差異は両湿度条件で見られ, 25%条件では5分目から20分目まで, 60%条件では5分目から20分と, 30分の値がEB着用時の方がES着用時よりも有意に高かった. さらに, EB着用時には環境湿度の違いによる差異が観察された. 5, 10, および15分目には25%より60%条件で有意に高いTbを示した.

3.2 血圧, 心拍数, 皮膚血流量

平均血圧の変化は, 表6に示したように3回の運動中上昇し, 終了により下降した. 25%湿度条件では, ES, EB着用時に平均血圧は安静時に比べ, 3回の運動中有意に高い値を示した. 一方, 60%条件では1回目の運動時である10分値のみ有意な上昇であったが, 2回目以後の上昇は有意な変化ではなかった.

表6に示したように, 心拍数も血圧と同様に, 3回の運動中増加し, 終了すると下降した. いずれの条件下でも運動中の心拍数は安静よりも有意に高い値を示した (P<0.01).

運動中の心拍数は1回目から3回目にかけて漸次増加傾向を示し, 60%湿度条件でES着用時には, 20分と30分の値は10分値よりも有意に高くなった. また, EB着用時には30分目の値は10分目の値よりも有意に高かった. さらに, 運動終了後の安静時25分目の心拍数は, 25%条件でEB着用時と60%でES, EB両被服条件では, 運動開始前の安静値よりも有意に高く, 45分目では全ての条件下で有意に高い値を示した.

60%湿度条件でEB着用時, 胸部と背部の皮膚血流量と皮膚血管コンダクタンスの変化を図2に

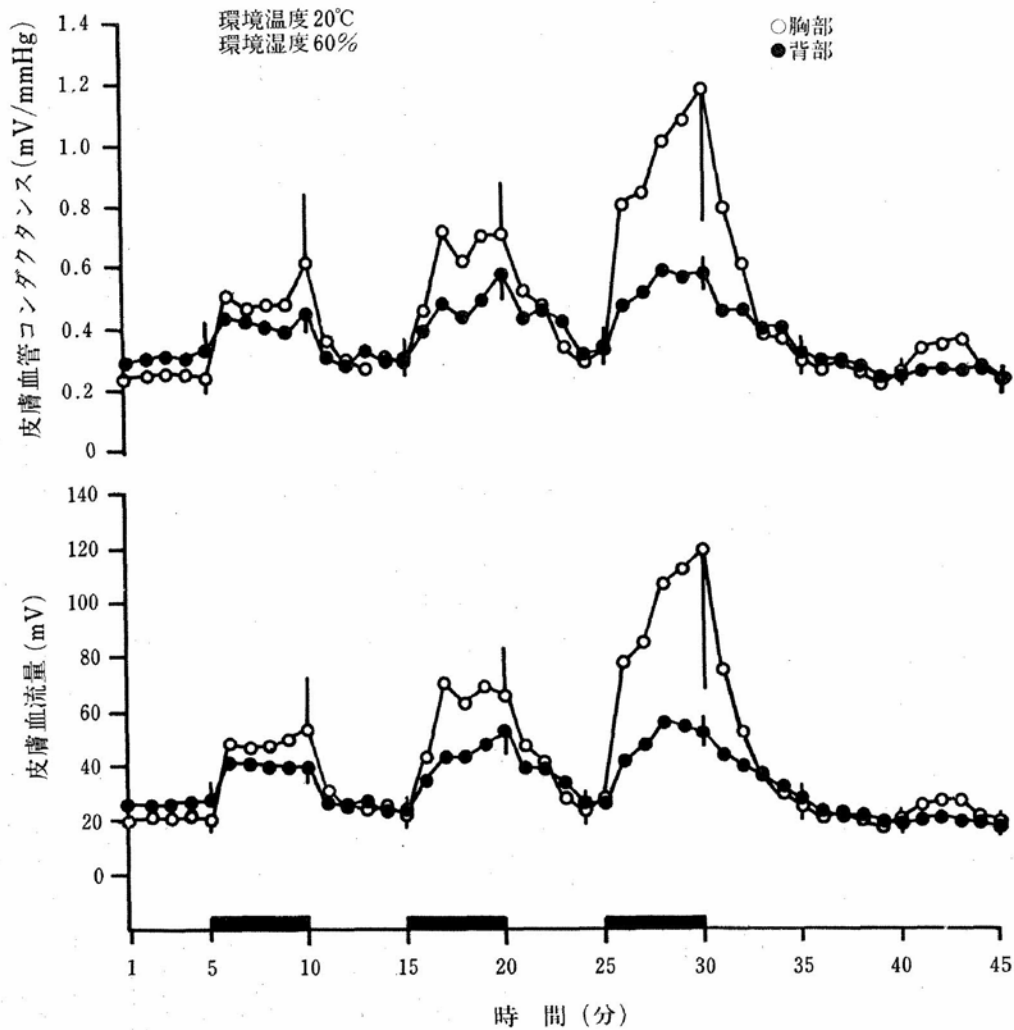


図2 胸部・背部の皮膚血流量と皮膚血管コンダクタンスの変化
20°C, 60% 条件で EB 着用時の平均値±SE (n=6)

示した。胸、背部ともに3回の運動中には増加し、運動の後、安静値まで下降する傾向を示した。これらの変化はいずれの被服および湿度条件でも同様であった(表7)。胸部皮膚血流量は60%湿度条件では、ES着用時は運動時3回の値はいずれも安静値より有意に高く、EB着用時には20分値に有意差が認められた。背部皮膚血流量は25%湿度条件ではES着用時、60%湿度条件ではEB、ES両被服着用時に20分と30分値は有意に増加した。

皮膚血管コンダクタンスは皮膚血流量とほぼ同様の傾向が認められ、3回の運動中には上昇し、運動終了により低下した。胸部では60%湿度条

件でESとEBいずれの被服条件でも20分と30分の運動時には安静値より有意に高い値を示した。また、背部では25%湿度条件でES着用時に20分値が、60%湿度条件でEB着用時には20分と30分値が有意に高い値を示した。

レーザー・ドップラー血流計はヒトの皮膚血流量の測定に適していることが、近年多数報告されている^{2,3,8,14,26)}。測定されるのは皮膚表面から1mm半球の組織血流量であるため、測定部位間の変動と個人間の変動があることはJohnson et al.¹³⁾のレーザー・ドップラー血流計と静脈閉塞プレチスモグラフィ法による検討で示されているものの、両者はよく相関することが明らかにされて

表7 異なる被服, 湿度条件での胸・背部皮膚血管コンダクタンスの変化 (n=6)

条 件		時 間 (分)						
		5 R	10E	15R	20E	25R	30E	45R
湿 度	被服	皮膚血流量 (胸部 mV)						
25%RH	ES	33±14	56±11	33±11	72±19	49±25	64±11	27± 9
	EB	32±12	90±26	39±16	103±53	65±31	128±48	38±18
60%RH	ES	27± 2	65±10**	30± 4	70±10**	31± 4	76±15**	25± 4
	EB	20± 4	53±20	22± 4	66±18*	28± 6	119±54	18± 4
		皮膚血流量 (背部 mV)						
25%RH	ES	19± 2	35± 5	19± 1	44± 8*	23± 2	44± 9*	15± 2
	EB	24±11	36±12	30±11	43±13	21± 2	48±13	22± 9
60%RH	ES	23± 4	44±13	24± 4	49±12*	25± 5	56±14*	18± 2
	EB	27± 7	39± 5	24± 3	53± 9*	27± 3	53± 6*	18± 2
		皮膚血管コンダクタンス (胸部 mV/mmHg)						
25%RH	ES	0.4±0.21	0.6±0.13	0.4±0.14	0.8±0.21	0.6±0.29	0.7±0.15	0.3±0.12
	EB	0.4±0.16	0.8±0.36	0.6±0.27	1.1±0.65	0.9±0.44	1.3±0.51	0.5±0.26
60%RH	ES	0.4±0.04	0.7±0.09	0.3±0.01	0.8±0.10*	0.4±0.06	0.8±0.15*	0.3±0.06
	EB	0.2±0.05	0.6±0.24	0.3±0.05	0.7±0.18*	0.3±0.07	1.2±0.44*	0.2±0.04
		皮膚血管コンダクタンス (背部 mV/mmHg)						
25%RH	ES	0.3±0.03	0.4±0.06	0.3±0.01	0.5±0.08*	0.3±0.03	0.5±0.10	0.2±0.03
	EB	0.3±0.14	0.3±0.07	0.4±0.19	0.5±0.17	0.3±0.08	0.5±0.11	0.3±0.13
60%RH	ES	0.3±0.06	0.4±0.11	0.3±0.09	0.6±0.15	0.3±0.09	0.6±0.17	0.2±0.03
	EB	0.3±0.09	0.4±0.06	0.3±0.05	0.6±0.09*	0.3±0.04	0.6±0.05*	0.2±0.03

皮膚血流量はレーザー・ドップラー血流計で測定した値；*, **は5 Rの値からの有意差P<0.05, P<0.01

時間に付随した記号 R:安静, E:運動

いる。Nilsson et al.²⁰⁾によれば、Periflux レーザー・ドップラー血流計の最大感度は表面から 0.6 mm であると報告されている。また、本研究で使用した ADVANCE 社のレーザー・ドップラー血流計でファイバー間距離 0.3 mm のプローブでは最大感度が表面から 0.8 mm あり (私信)、いずれも毛細血管の血流変化を検出しているものと思われる。本研究で測定した胸部、背部の皮膚毛細血管血流量はいずれも運動開始により増加し、運動終了により回復する変化を示した。この両部位は前述の運動開始により生ずる皮膚血管収縮の生じる部位ではなく、皮膚血管コンダクタンスの増加からも支持されるように、むしろ血管拡張が生じているのは大変興味深い事実である。

大貫²²⁾により報告されているように、運動強度が高くなると皮膚温低下域が末梢から体幹部へ広がるという報告は血管の収縮を示唆しており、本研究結果と一致しない。全身の皮膚血流量の調節系を、入来⁹⁾はつぎの 3 群に分類している。1) 血管作動性神経支配のほとんどない頭部と前額部、2) 能動性血管拡張神経支配の体幹部、3) アドレナリン作動性交感神経支配の強い四肢末端部である。このように、調節系が異なるため、体幹部の皮膚血流量と運動強度の関係を、今後詳細に検討する必要がある。

3.3 衣内温・湿度と主観的申告

図 3 には 60% 湿度条件で EB 着用時の胸部と背部の衣内温度、および衣内湿度の変化を示した。衣内温度は安静から運動終了の 30 分までは、胸・背部いずれの値にも有意な変化は認められず、わずかに背部の衣内温度で 45 分値のみが安静値に比べ有意な低下を示した (表 8)。一方、衣内湿度はいずれの条件でも運動により、有意に上昇した。図 3 に示したように、胸・背部ともに運動中の 5 分間に急激な上昇を示し、運動後は緩やかになるかまたは上昇の停止が観察され、運動を繰り返す度に高く上昇した。環境湿度が高いほど

デサントスポーツ科学 Vol.12

より早くから衣内湿度が上昇し始め、高い値まで到達した。また、ES 着用時より EB 着用時の方がより早くから湿度の上昇が観察された (表 8)。衣内湿度は運動後も直ちに下降することではなく、さらに上昇を続けた。2 回目の運動終了後は 2 分経過後に胸、背部ともに極大値に達し、その後やや下降した。3 回目には運動終了後も上昇し、胸部では 2 分後、背部では 5 分後に極大値を示し、その後は漸次下降した。

図 4 には快適感、湿潤感、温冷感申告の変化を示した。3 回の運動中は快適から不快側へ、乾いている方から湿っている方へ、涼しい方から暖かい方へ、それぞれの申告が移動し、運動終了と共に各申告は運動終了時の値に留まるか、または反対方向に移動した。この傾向は全ての条件で観察された (表 9)。両湿度条件で ES よりも EB 着用時の方が有意により不快、より湿潤、より暑いという申告をした。その程度は 60% 湿度条件の方が強く表われたが、統計的には有意な差は認められなかった。

図 5 は快適感と湿潤感および温冷感の関係を示したものである。いずれも有意な相関が観察された。本実験条件では、湿潤感が「非常に湿っている」と温冷感が「非常に暑い」方向へ接近することにより不快感が増すことを示している。全条件下の快適感と湿潤感、並びに快適感と温冷感の関係を表す回帰直線の式と相関係数は表 10 に示した通りであった。相関係数は快適感と湿潤感の関係では、-0.860 から -0.974 と極めて高く ($P < 0.01$)、快適感と温冷感の関係では -0.667 から -0.840 の範囲にあった ($P < 0.01$)。本実験条件での快適感湿度感により強く依存していることが判明した。

丸山と田村¹⁵⁾は全身温冷感と平均皮膚温との間に有意な相関があることを報告し、身体各部位の中で、特に全身温冷感を支配する重要な部位は背部と、上腕部であることを示した。本研究の図 4

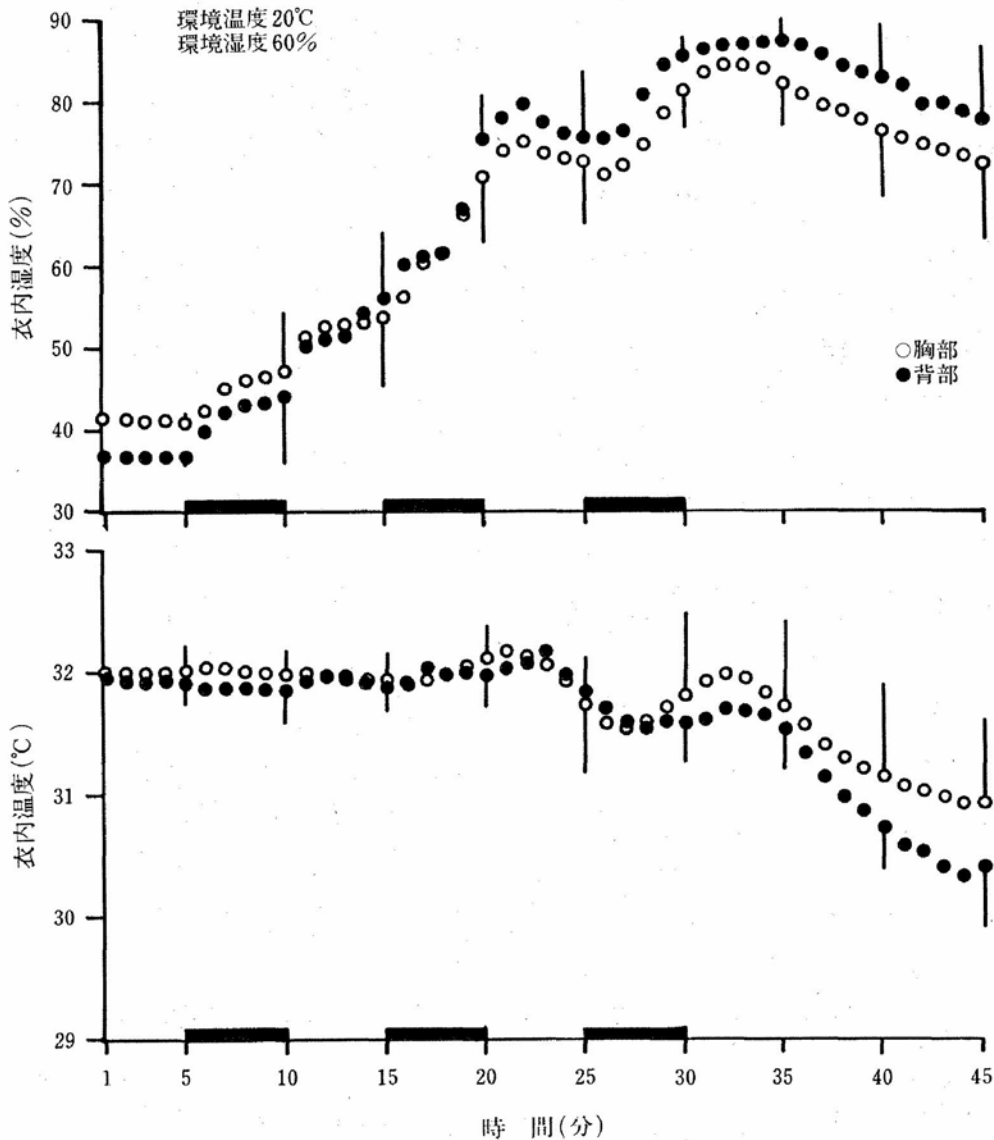


図3 胸部・背部の衣内温・湿度変化
20°C, 60% 条件でEB着用時の平均値±SE (n=6)

に示した温冷感の変化は、平均皮膚温や直腸温の変化では説明できない。

温冷感は運動中著しく上昇し、終了後は速やかに下降しており、平均皮膚温の変化とは鏡像を示している。測定した7点の皮膚温の中で、体幹部分を代表する胸部だけは他の6点と異なる変化を示し、さらに、レーザー・ドップラー血流計による皮膚血流量と血圧の測定から算出した皮膚血管コンダクタンスでは、明らかに皮膚血管の拡張が

示された。これらの変化を総合すると、運動開始により体幹部分のみ皮膚血管の拡張が起こり、皮膚にある末梢温度受容器周囲の組織温が上昇し、受容器を刺激する。一方、他の皮膚部位では皮膚温は低下するが、背部からの情報が全身温冷感に最も重要¹⁵⁾であるため、中枢で統合された結果、運動開始により全身として暖かい方向の感覚が生ずるものと推察される。着用するスポーツウェアの種類、形態により運動中の温冷感が大きく影響

表8 異なる被服, 湿度物件での胸部・背部衣内温・湿度の変化 (n=6)

条 件		時 間 (分)						
		5 R	10E	15R	20E	25R	30E	45R
湿 度	被服	衣内温度 (胸部°C)						
25%RH	ES	32.0±0.65	32.1±0.67	32.0±0.68	32.4±0.67	32.0±0.78	32.2±0.78	31.0±1.01
	EB	32.2±0.65	32.2±0.62	32.3±0.63	32.4±0.69	32.2±0.77	31.9±0.89	30.6±1.09
60%RH	ES	32.1±0.41	32.1±0.39	32.1±0.36	32.2±0.41	32.0±0.48	32.1±0.56	30.6±0.87
	EB	32.0±0.23	32.0±0.24	31.9±0.24	32.1±0.26	31.7±0.59	31.8±0.67	30.9±0.67
		衣内温度 (背部°C)						
25%RH	ES	31.9±0.53	32.0±0.50	32.0±0.49	32.2±0.53	31.9±0.59	31.9±0.69	30.3±0.90
	EB	32.4±0.29	32.4±0.33	32.5±0.35	32.5±0.40	32.2±0.39	31.8±0.47	30.5±0.43**
60%RH	ES	31.6±0.25	31.6±0.24	31.8±0.18	32.0±0.23	31.7±0.24	31.5±0.32	30.2±0.52*
	EB	31.9±0.18	31.9±0.24	31.9±0.17	32.0±0.27	31.9±0.27	31.6±0.32	30.4±0.50*
		衣内湿度 (胸部%)						
25%RH	ES	21.2±0.82	21.1±0.78	21.3±0.62	45.5±11.30*	53.1± 9.43**	67.8±6.45**	51.2±10.76*
	EB	21.2±0.63	25.5±4.86	37.4±8.06‡	62.0± 7.88**	66.6±10.01**	69.1±7.51**	58.5±11.97**
60%RH	ES	40.7±0.46 ^{△△}	40.4±0.55 ^{△△}	51.0±4.17 ^{*△△}	66.3±6.66**	70.3±7.39**	80.9±3.17**	69.6±7.58**
	EB	40.8±0.86 ^{△△}	47.0±7.33 [△]	53.5±7.99	70.7±7.88**	72.8±7.93**	81.1±4.31**	72.3±9.51*
		衣内湿度 (背部%)						
25%RH	ES	19.1±1.21	19.0±1.53	19.7±1.47	42.3±9.63*	49.3±10.49*	65.5±9.27**	47.0±10.93*
	EB	18.8±1.16	24.9±7.04	45.9±10.51‡	70.1±4.17‡*	70.4± 9.29**	79.1±3.59**	67.5±12.39**
60%RH	ES	36.5±1.60 ^{△△}	39.7±3.95 ^{△△}	49.2±4.53 ^{*△△}	66.1±4.17**	68.3±7.09**	77.1±4.43**	68.2±8.14**
	EB	36.5±0.49 ^{△△}	43.9±7.91	56.0±8.25*	75.4±5.53**	75.5±7.81**	85.4±2.41**	77.6±8.87**

*, **は5Rの値からの有意差P<0.05, P<0.01; +, ++はEBとESの間の有意差P<0.05, P<0.01; △, △△は25%と60%の間の有意差P<0.05, P<0.01; 時間に付随した記号 R: 安静, E: 運動

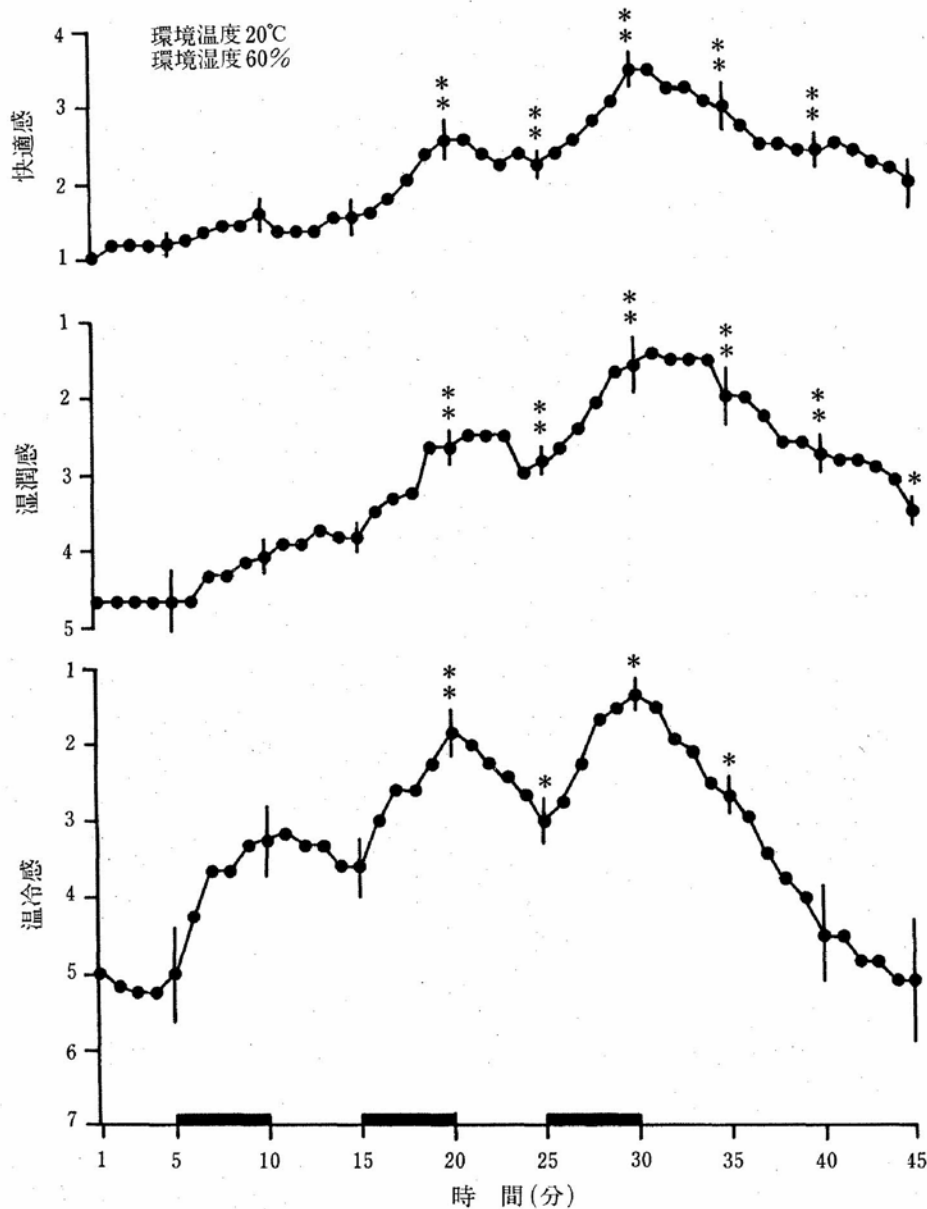


図4 快適感, 湿潤感, 温冷感の経時変化
 20°C, 60% 条件でEB着用時の平均値±SE (n=6)
 *, **安静値からの有意差 P< 0.05, P< 0.01

されることになる。

湿潤感に関して、三井ら¹⁶⁾は羊毛や綿など異なる4種のセーターを着用して、下肢運動を行なったときの衣服内水分量と快適感の関係を検討した。いずれの衣服着用時も-0.84から-0.90と高い逆相関が認められ、快適感に及ぼす衣服内水分量の大きさを指摘している。本研究の快適感と湿潤感の相関が極めて高かったのは、これを支持

するものである。

湿潤感の増加は衣内湿度の上昇によることは、図6に示した背部衣内湿度と湿潤感の関係から分かる。両者の関係を表す回帰直線の式と相関係数は表11に示した通りである。

胸部および背部衣内湿度の場合それぞれ-0.885~-0.958と-0.883~-0.943と極めて高い相関係数であった。低湿条件の時、被服条件の

表9 異なる被服, 湿度条件での快適感, 湿潤感, 温冷感 (n=6)

条件		時間 (分)						
		5R	10E	15R	20E	25R	30E	45R
湿度	被服	快適感						
25%RH	ES	1.2±0.18	1.3±0.23	1.2±0.18	1.5±0.24	1.5±0.24	2.0±0.28*	1.3±0.23
	EB	1.2±0.18	1.5±0.24	1.2±0.18	2.2±0.18†*	2.2±0.18†*	2.5±0.37*	1.7±0.37
60%RH	ES	1.3±0.19	1.3±0.23	1.2±0.18	2.2±0.23*	1.7±0.27	2.6±0.22**	1.5±0.24
	EB	1.2±0.18	1.6±0.22	1.5±0.24	2.5±0.24**	2.2±0.18**	3.4±0.22†*	1.9±0.30
		湿潤感						
25%RH	ES	4.2±0.82	3.8±0.77	4.2±0.82	3.7±0.46	3.8±0.66	3.0±0.28	3.7±0.46
	EB	4.7±0.46	4.5±0.55	4.4±0.41	2.7±0.23**	3.2±0.34*	2.5±0.37**	3.5±0.37
60%RH	ES	4.7±0.46	4.2±0.34	4.3±0.46	3.2±0.34*	3.5±0.24*	2.3±0.23**	3.8±0.34
	EB	4.7±0.46	4.1±0.22	3.8±0.18	2.7±0.23**	2.8±0.18†*	1.6±0.36**	3.5±0.20*
		温冷感						
25%RH	ES	6.5±0.47	5.2±0.34	5.8±0.52	3.0±0.40**	4.3±0.54*	2.8±0.34**	5.5±0.73
	EB	5.2±0.52	3.8±0.18††	3.7±0.23†	2.3±0.37**	3.0±0.28**	2.2±0.44**	4.7±0.46
60%RH	ES	6.5±0.79	4.4±0.41*	4.8±0.39	2.7±0.23**	4.0±0.40**	2.2±0.18**	5.8±0.80
	EB	5.0±0.63	3.3±0.48	3.6±0.36+	1.8±0.34†*	3.0±0.32*	1.3±0.23†*	5.1±0.83

時間に付随した記号R: 安静, E: 運動; *, **は5Rの値からの有意差P<0.05, P<0.01; +, ††はEBとESの間の有意差P<0.05, P<0.01

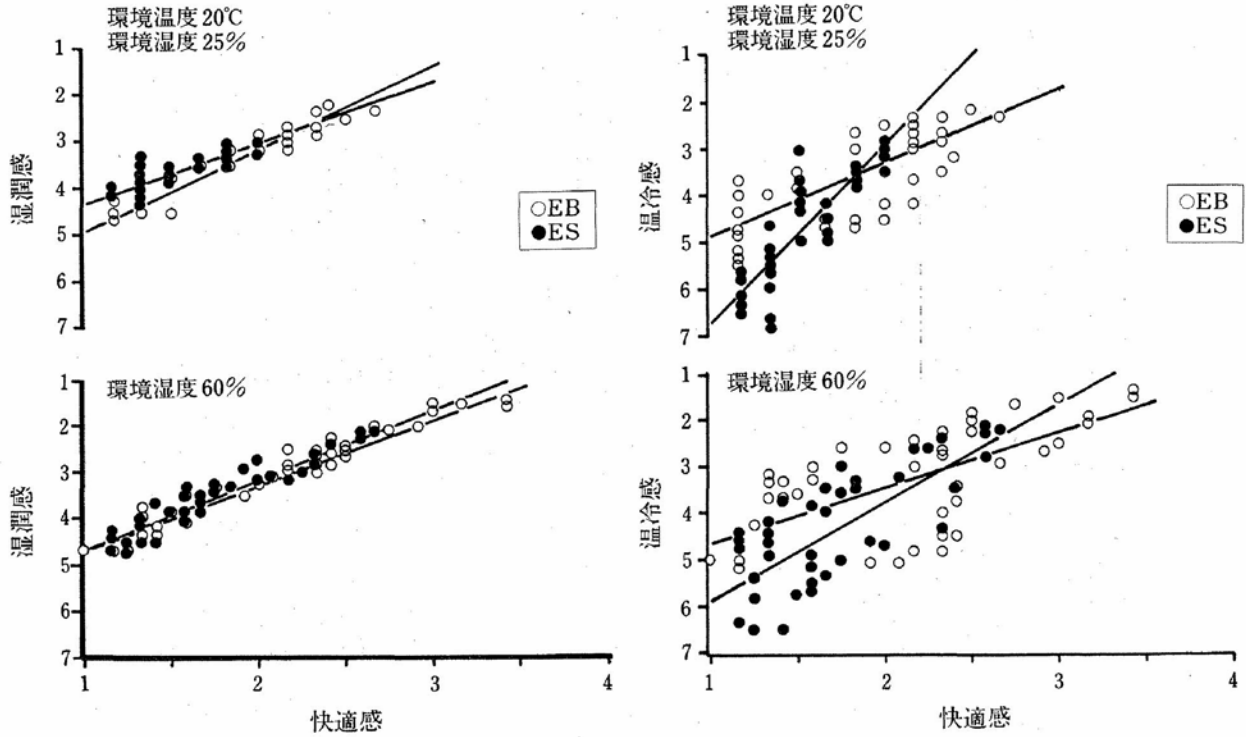


図5 快適感と湿潤感（左）と快適感と温冷感（右）の相関関係
値は平均値 (n=6)

表10 快適感と湿潤感および快適感と温冷感の回帰分析表

相関関係	湿度条件	被服条件	回帰直線	相関係数	P
快適感 VS 湿潤感	25%RH	ES	$Y = -1.32X + 5.64$	-0.860	<0.01
		EB	$Y = -1.78X + 6.72$	-0.970	<0.01
	60%RH	ES	$Y = -1.60X + 6.36$	-0.947	<0.01
		EB	$Y = -1.47X + 6.16$	-0.974	<0.01
快適感 VS 温冷感	25%RH	ES	$Y = -3.84X + 10.56$	-0.840	<0.01
		EB	$Y = -1.59X + 6.52$	-0.758	<0.01
	60%RH	ES	$Y = -2.11X + 7.98$	-0.750	<0.01
		EB	$Y = -1.16X + 5.74$	-0.667	<0.01

違いにより直線の傾きに差異がみられ、EBよりES着用時に高くなった。一方、60%湿度条件では胸部、背部ともに直線の傾きには被服条件の違いによる差異は観察されず、ほぼ同じであった。環境湿度の違いにより、直線の傾きが異なるのは、同一衣内湿度でも湿潤感が異なることを表している。環境湿度が低いときは、衣内湿度が上昇

しても衣服を通して環境へより多く移動するため、あまり不快に感じないこと示している。この結果から、湿潤感は衣内湿度のみではなく、環境の湿度と衣内湿度の変化速度によっても影響されることを示しているものと考えられる¹⁾。

図7には背部の衣内水蒸気圧と平均体温の関係を表した。湿潤感をもたらす衣内水蒸気圧の上昇

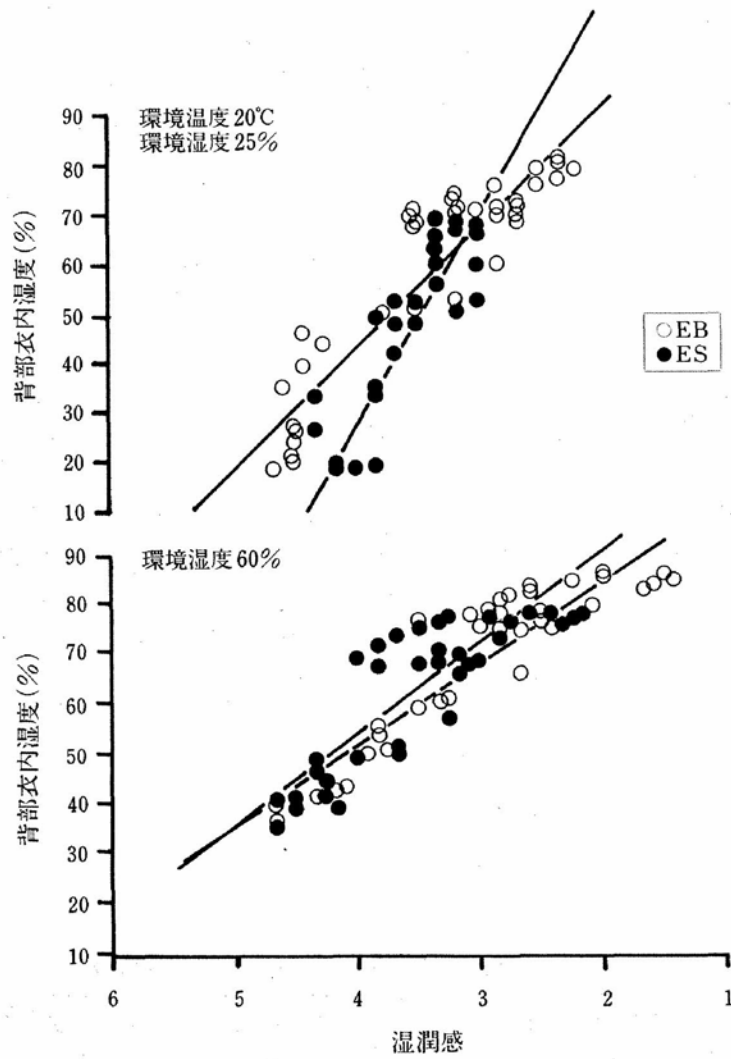


図6 湿潤感と背部衣内湿度の相関関係
値は平均値 (n = 6)

表11 湿潤感と衣内湿度の回帰分析表

測定部位	湿度条件	被服条件	回帰直線	相関係数	P
胸部	25%RH	ES	$Y = -42.83X + 201.78$	-0.885	<0.01
		EB	$Y = -20.87X + 122.80$	-0.957	<0.01
	60%RH	ES	$Y = -19.05X + 131.66$	-0.896	<0.01
		EB	$Y = -14.05X + 108.56$	-0.958	<0.01
背部	25%RH	ES	$Y = -41.98X + 195.38$	-0.890	<0.01
		EB	$Y = -24.71X + 141.41$	-0.940	<0.01
	60%RH	ES	$Y = -17.99X + 126.10$	-0.883	<0.01
		EB	$Y = -16.98X + 119.62$	-0.943	<0.01

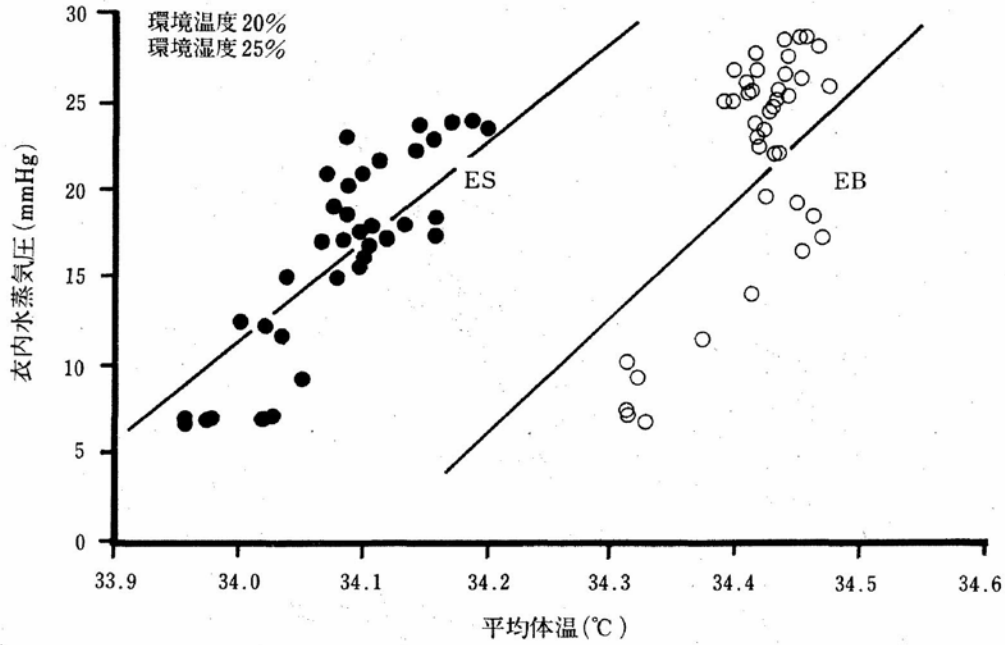


図7 平均体温と背部衣内水蒸気圧の関係
20℃, 25% 条件, 値は平均値 (n=6)

表12 平均体温と衣内水蒸気圧の回帰分析表

測定部位	湿度条件	被服条件	回帰直線	相関係数	P
胸部	25%RH	ES	$Y=61.7X-2085.2$	0.862	<0.01
		EB	$Y=49.4X-1680.0$	0.471	<0.01
	60%RH	ES	$Y=42.4X-1431.9$	0.840	<0.01
		EB	$Y=41.0X-1398.2$	0.680	<0.01
背部	25%RH	ES	$Y=55.5X-1875.5$	0.852	<0.01
		EB	$Y=64.2X-2190.5$	0.513	<0.01
	60%RH	ES	$Y=40.2X-1357.9$	0.845	<0.01
		EB	$Y=44.4X-1516.9$	0.620	<0.01

は、平均体温の上昇にともなって生じる発汗量の増加によるものである。ES、EB着用時ともに正の相関を示した。両者の関係を表す回帰直線の式と相関係数は表12に示した。いずれの湿度条件、被服条件でも、胸部・背部いずれの部位であっても有意な相関が認められた。回帰直線の傾きには差がなく、いずれの衣服および環境条件でも、発汗量の増加による衣内水蒸気圧の上昇は全体とし

て平均体温の上昇に比例して起こると言えるが、衣内水蒸気圧増加のための閾値平均体温は、EBよりESの方が低かった。ES着用時にはいずれの条件でも33.8℃であったが、EB着用時では25%湿度条件下で胸部の場合、34.0℃であった他は全て34.1℃であった。これはEBよりもESを着用する方が、四肢部を露出することになり、四肢部皮膚温は低下するが背部皮膚温にはほとんど

影響しないという特性のために生じた差異であると考えられる。四肢部皮膚温の変化が体幹部皮膚温にほとんど影響しないことは丸山と田村¹⁵⁾がすでに報告しており、本研究結果はこれを支持するものである。さらに詳細に観察すると、回復期に比べ間欠的に行なった運動中は衣内湿度の上昇が大きく、湿潤感、不快感の増加速度の著しいことが観察された(図3, 図4)。これらの変化は運動時の発汗量が亢進することにより生ずるものである。

運動時にみられる迅速な発汗反応の機序に関し、運動開始前から温熱発汗のあるような温環境では、1.5～2秒以内に発汗量の増加することが報告され²⁰⁾、これまでさまざまな仮説が示されてきているが²¹⁾、温熱性因子の関与は否定的であり、運動開始にともなう精神興奮に基づくもの¹⁸⁾、または運動初期の交感神経発射の増加²⁵⁾によるとする説が有力である。宮側ら¹⁷⁾も運動負荷を急激に変化させた実験を行ない、前述の説を指示している。つまり、運動開始にともなう非温熱性因子の関与により、発汗量が亢進し湿潤感が増加することになる。その結果、不快感が増すことが示された。

体幹部皮膚と四肢部皮膚の温熱生理学的特性の違いと、種々のスポーツウェアとの関係は快適性の重要な因子であるため、今後さらに詳細な検討が必要である。

4. まとめ

1) 健康な成人女子6名を被験者とし、被覆面積の異なるスポーツウェア(被覆面積94%:EB, 被覆面積57%:ES)を着用し、環境温20°C, 環境湿度25%, または60%のいずれかの条件で、5分間の自転車エルゴメータ運動を3回、5分間の休息をはさみ間欠的に行なった。

2) 運動により、衣内湿度の上昇に比例して湿潤感が増し、平均皮膚温の上昇と背部の皮膚血管

拡張にともない温冷感が増した。温熱的不快感の増大は、湿潤感と温冷感に比例したが、本実験条件では湿潤感により強く依存した。

3) 温熱的不快感、湿潤感、温冷感は、皮膚血管反応と発汗反応を介して非温熱性因子の影響を強く受けることが判明し、スポーツウェアと快適性を考える上で、重要な問題であることが示唆された。

4) 着用したスポーツウェアの被覆面積の違いにより、四肢部の皮膚温、平均皮膚温、平均体温および衣内湿度はESよりEBで高い値を示した。その結果、温冷感、湿潤感、不快感はEBの方がESより有意に高くなった。

5) 環境湿度の影響は直腸温、平均体温で観察され、いずれもEB条件で60%湿度の方が25%湿度より高かった。また、衣内湿度はEB, ES共に60%条件の方が25%より有意に高かったが、いずれも快適感、湿潤感、温冷感には影響しなかった。

おわりに、実験に協力していただいた本学家政学部の岩本有紀、岡田慶子、下内美紀、高鳥靖子、松島啓子、山下佳子の諸氏に心から感謝致します。本研究を遂行するに当たりレーザー・ドップラー血流計を快く貸与いただいた鹿嶋進氏、並びにアドバンス株式会社に、また、研究進展のための財政的援助を賜った財団法人 石本記念デサントスポーツ科学振興財団に心より感謝致します。

文 献

- 1) 青木敦子; 温度感覚の被服生理学的研究, お茶の水女子大学大学院, 修士論文発表会発表要旨集, P. 77 (1991)
- 2) Elam, M., Wallin, B. G.; Skin blood flow responses to mental stress in man depend on body temperature, *Acta Physiol. Scand.*, **129**, 429-431 (1987)
- 3) Hassan, A. A. K., Rayman, G., Tooke, J. E.;

- Effect of indirect heating on the postural control of skin blood flow in the human foot, *Clin. Sci.* **70**, 577-582 (1986)
- 4) Heising, M., Werner, J.; Control of sweating in man after work-induced thermal load and symmetrically applied cooling, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **56**, 608-614 (1987)
 - 5) Hirata, K., Nagasaka, T., Hirai, A., Hirashita, M., Takahata, T.; Peripheral vascular tone during heat load is modified by exercise intensity, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **51**, 7-15 (1983)
 - 6) 平田耕造; 運動時の四肢発汗量を促進する動静脈吻合 (AVA) 血流量, *体育の科学*, **40** (11), 889-894 (1990)
 - 7) Hirata, K.; Skin blood flow in an acral region of the extremities and thermoregulation during heat load in clothed subjects, *Bull. Kobe Women's Univ.* **24** H, 83-106 (1990)
 - 8) Holloway, G. A. Jr., Watkins, D. W.; Laser Doppler measurement of cutaneous blood flow, *J. Invest. Dermatol.*, **69**, 306-309 (1977)
 - 9) 入来正躬; 新生理科学大系 22 エネルギー代謝・体温調節の生理学, 中山・入来編, 医学書院, 東京, p.111 (1987)
 - 10) Jeong, W. S., Tokura, H.; Effects of wearing two different forms of garment on thermoregulation in men resting at 10°C, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **57**, 627-631 (1988)
 - 11) Jeong, W. S., Tokura, H.; Effects of wearing two different types of clothing on body temperatures during and after exercise, *Int. J. Biometeorol.*, **33**, 77-81 (1989)
 - 12) Jessen, C., Feistkorn, G., Nagel, A.; Temperature sensitivity of skeletal muscle in the conscious goat, *J. Appl. Physiol.*, **54**, 880-886 (1983)
 - 13) Johnson, J. M., Taylor, W. F., Shepherd, A. P., Park, M. K.; Laser-Doppler measurement of skin blood flow: comparison with plethysmography, *J. Appl. Physiol., Respir. Environ. Exercise Physiol.*, **56**, 798-803 (1984)
 - 14) Low, P. A., Neumann, C., Dyck, P. J., Fealey, R. D., Tuck, R. R.; Evaluation of skin vasomotor reflexes by using laser Doppler velocimetry, *Mayo Clin. Proc.*, **58**, 583-592 (1983)
 - 15) 丸山康子, 田村照子; 不均一温熱刺激に対する皮膚温・温冷感反応, *日生氣誌*, **26** (3), 143-154 (1989)
 - 16) 三井紀子, 酒井豊子, 中島利誠; 運動中の衣服下気候と着心地に及ぼす繊維の影響, *日生氣誌*, **23** (1), 35-42 (1986)
 - 17) 宮側敏明, 小川徳雄, 朝山正巳, 山下由果; 運動負荷急変に対する発汗応答, *日本生理誌*, **47**, 17-24 (1985)
 - 18) Nakayama, T.; A further investigation on the nature of sweat discharge in man, *Tohoku J. Exp. Med.*, **98**, 265-272 (1969)
 - 19) Nakayama, T., Ohnuki, Y., Niwa, K.; Fall in skin temperature during exercise, *Jpn. J. Physiol.*, **27**, 423-437 (1977)
 - 20) Nilsson, G. E., Tenland, T., Öberg P. A.; Evaluation of a laser Doppler flowmeter for measurement of tissue blood flow, *IEEE Trans. Biomed. Eng., BME-* **27**, 597-604 (1980)
 - 21) 小川徳雄; 運動と発汗, *J. J. Sports Sci.*, **2** (6), 432-443 (1983)
 - 22) 大貫義人, 丹羽健市, 中山昭雄, 平原豊弘; 発汗を伴わない運動時の皮膚温について, *日生氣誌*, **16**, 36-41 (1979)
 - 23) Rowell, L. B.; Competition between skin and muscle for blood flow during exercise, In: Problems with temperature regulation during exercise, Ed. Nadel, E. R., Academic Press, New York, pp.49-76 (1977)
 - 24) 清水裕子, 日野精二, 新開省二, 黒川佳香, 富田直明, 和田武, 渡辺孟, 清水義雄; 運動負荷による衣内各部位の温湿度変化, *日衛誌*, **42** (3), 721-731 (1987)
 - 25) Stolwijk, J. A. J., Nadel, E. R.; Thermoregulation during positive and negative work exercise, *Fed. Proc.*, **32**, 1607-1613 (1973)
 - 26) Sundberg, S.; Acute effects and long-term variations in skin blood flow measured with laser Doppler flowmetry, *Scand. J. Lab. Invest.*, **44**, 341-345 (1984)
 - 27) 田中恒夫; 新・統計のまとめ方つかい方, 医歯薬出版, p.62-76 (1986)
 - 28) Van Beaumont, W., Bullard, R. W.; Sweating: Its rapid response to muscular work, *Science*, **141**, 643-646 (1963)
 - 29) Zelis, R., Mason, D. T., Braunwald, E.; Partition of blood flow to the cutaneous and muscular beds of the forearm at rest and during leg exercise in normal subjects and in patients with heart failure (1969)