

被服による皮膚圧迫が体温調節反応に及ぼす影響

神戸女子大学	平 田 耕 造
(共同研究者) 同	上 地 歩 美
同	中 野 佳 子
同	田 中 絵美子
同	吉 田 美奈子

Effects of Light Clothing Pressure on Thermoregulatory Responses during Heat Load

by

Kozo Hirata, Ayumi Kamiji, Yoshiko Nakano,
Emiko Tanaka and Minako Yoshida
*Faculty of Home Economics,
Kobe Women's University*

ABSTRACT

To clarify the effects of light clothing pressure on thermoregulatory responses in clothed subjects during heat load, two experiments were carried out at an ambient temperature of 25 °C and 30 % of relative humidity. In the experiment (expt) 1, seven female subjects immersed their lower-legs in a water bath at a temperature raised from 34 to 41 °C during 120 min wearing experimental garments made of 100 % cotton (C) with clothing pressure of 15mmHg (mean) or without clothing pressure. In expt 2, nine female subjects wearing experimental garments made of 100 % polyester (P) performed the same experimental procedure. Skin temperature (Tsk), skin blood flow (SBF), clothing inside and surface

temperatures and humidity, local sweat rate (LSR), rectal temperature (Tre), heart rate, blood pressure, subjective votes (thermal, comfort and humid sensations) were measured in each experimental condition.

In expt 1, the increase in Tre was enhanced with clothing pressure of C garment. There was no significant difference between with or without clothing pressure on evaporative sweat loss. Changes in LSR and SBF were suppressed in chest and upperarm skin areas and were enhanced in thigh skin area with clothing pressure. In expt 2, the increase in Tre was suppressed, and the rise in SBF, LSR, Tsk and evaporative sweat loss was enhanced with clothing pressure. Above mentioned data clearly showed physiological thermal loads increased with clothing pressure in C garment, and decreased with clothing pressure in P garment. These suggest that the effects of light clothing pressure on thermoregulatory responses in clothed subjects during heat load depend on moisture absorbancy of wearing clothings.

要 旨

本研究は、異なる吸湿性を持つ二種類の衣服による皮膚圧迫の有・無が、体温調節反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。室温 25.0℃、湿度 30% の実験室において、実験 1 では綿 100% の半袖ノーカラーブラウスとショートパンツを着用した成人女子 7 名、実験 2 ではポリエステル (PE) 100% 製の同一被服を着用した成人女子 9 名を被験者として、圧迫なしの「ゆとり」条件と軽度の皮膚圧迫を生じさせた「圧迫」条件の二種類の実験を行った。「圧迫」条件における 30 ヲ所の被服圧は、平均で 15mmHg であった。

被験者は両下肢を膝下まで 34℃ の水槽に浸漬させて椅座安静を保持した後、15 分かけて 41℃ に上昇させ、その後終了まで 75 分間 41℃ を維持し、計 120 分間の測定を行った。この間に皮膚温、皮膚血流量、被服内及び被服表面温・湿度、発汗量、直腸温、心拍数、血圧、主観的申告 (温冷感、快適感、湿潤感) を測定した。

皮膚圧迫の有無による体温調節反応への影響は、綿被服では直腸温の上昇は「圧迫」条件で高くなったが、体重減少量 (汗蒸発量) に差は認められ

なかった。発汗量と皮膚血流量はともに「圧迫」条件で胸、上腕では抑制され、大腿では促進した。皮膚温は「圧迫」条件で発汗前には抑制傾向であったが、発汗後には反対に促進した。綿被服着用時の皮膚圧迫は、生体への温熱負荷は大きくなることが判明した。

これに対して、PE 被服では直腸温の上昇が「圧迫」条件で抑制されたことから、皮膚圧迫による生体への熱負荷は軽減することが判明した。皮膚血流量、発汗量、体重減少量 (汗蒸発量) および皮膚温上昇は「圧迫」条件で促進した。

以上の結果から、被服による皮膚圧迫が体温調節反応に及ぼす影響は、被服のもつ吸湿性の差によって大きく異なることが判明した。

緒 言

人が着用する被服は、皮膚と環境との間に存在し、相互間の熱と水分の移動に関する修飾因子となる。着衣した人は、被服気候を適切な範囲に保つよう被服素材や着衣形態等を変化させ、熱放散量を調節することによって温熱的快適感を得ている。

例えば、被服の素材^{1,2,3)}に関する報告の中で、

吸水性の低い合成繊維の方が吸水性の高い天然素材より毛細管現象で速やかに水分を吸って環境へ放出するので快適であるという意見と、吸水性のある繊維は、発汗量が被服材料の吸水能力を越えない範囲であれば快適であるが、発汗がそれ以上に増すと皮膚が濡れて不快になるという意見がある⁴⁾。毛細管現象による水分の移動は繊維が濡れた皮膚に接しているときに有効である。それゆえ、被服が皮膚に密着するか否か、すなわち、被服のゆとり量が重要となる。

ゆとり量の大きさによっては、着衣の保温性、すなわち熱放散量に影響するとの報告がある⁵⁾。ゆとり量がある範囲を超えて大きくなる場合、対流による上昇流が発生し、開口部から暖まった空気が排出されることを指摘している⁶⁾。皮膚と被服の間にゆとりのある場合、皮膚からの熱放散は、間隙内で放射、対流、蒸発が生じ、ゆとりの無い場合は伝導による移動が主となる。

ゆとりの無い場合、被服が皮膚に密着し被服圧を生じる可能性がある。そのときは、被服圧の生理的影響を考慮しなければならない。三野ら⁴⁾は、唾液分泌活動に及ぼす腹部圧迫刺激の影響について観察している。ウェスト部に与えた圧刺激によって唾液分泌量は全被験者で減少しており、有効な最小被服圧は4.3~9.2mmHgであったと報告している。

皮膚への圧迫刺激は発汗反応にも影響することが知られている。例えば、側臥姿勢で床面に接する皮膚部位は、反射的に同側の上半身および下半身の発汗抑制、つまり半側発汗をもたらすことは高木ら^{5,6)}によって明らかにされ、皮膚圧-発汗反射と呼ばれている。また、上半身の左右両側が圧迫されると、発汗量は上半身では抑制、下半身では亢進が引き起こされると報告しており、上下発汗反射と呼ばれている⁹⁾。

日常服やスポーツウェアの快適性について検討するとき、皮膚圧迫による種々の生理的反応を踏

まえ、被服素材の性質との組み合わせについて考慮する必要がある。しかし、この問題について十分な検討が加えられているとはいえないのが現状である。

本研究では、吸湿性の異なる被服素材〔綿100%およびポリエステル(PE)100%〕からなる二種類の同一形態の被服について、それぞれ被服と身体間に均一な開口部のある被服(「ゆとり」条件)と開口部が無く身体に密着し、軽度の被服圧を生じる被服(「圧迫」条件)の二条件を組み合わせ、軽度圧迫の有無による体温調節反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そのために、綿被服を用いた実験1とPE被服を用いた実験2の二種類の実験を行った。

1. 研究方法

1.1 被験者

実験1および2は、いずれも室温 $25.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $30 \pm 3\%$ 、気流 0.2m/sec に調節した本学家政学部生活環境シミュレーター室において実施した。実験1(綿被服)は、表1に示す身体的特徴をもつ健康な成人女子7名を被験者として行った。また、実験2(PE被服)は表2に示す健康な成人女子9名を被験者として行った。被験者の性周期と日内変動の影響を避けるために、いずれの実験でも各被験者の低温期の同一時刻(10:00~12:00)に統一して行った。

表1 実験1における被験者の身体特性

Subj.	Age(year)	Height(cm)	Weight(kg)	Fat(%)
I	21	151.5	41.6	16.3
J	22	157.8	51.0	21.4
K	23	158.0	48.0	20.4
L	22	162.3	55.0	21.5
M	22	151.0	38.2	15.1
N	24	159.0	50.0	21.7
O	22	164.0	48.0	16.6
Means	22.2	156.8	47.4	19.0
± SE	0.9	5.0	5.7	2.8

表2 実験2における被験者の身体特性

Subj.	Age(year)	Height(cm)	Weight(kg)	Fat(%)
A	23	159.0	50.0	16.7
B	22	162.0	48.0	15.7
C	22	170.0	65.0	22.1
D	23	145.0	46.0	38.8
E	22	151.0	45.0	27.3
F	22	153.0	41.0	24.4
G	22	160.0	47.0	15.4
H	22	158.0	48.0	24.2
Means	22.8	157.2	48.7	23.1
± SE	0.5	7.6	7.1	7.8

1. 2 実験被服

実験1の被服は、下着（クラブトップ、サイクリングショーツ）のうえに、綿100%（表3）の半袖ノーカラーブラウスとショートパンツを着用させた。実験2では、同一下着のうえにPE100%（表3）の半袖ノーカラーブラウスとショートパンツを着用させた。

いずれの実験でも、「ゆとり」条件では、予め自作のフレームスパーサーを被服に30カ所取り付け、皮膚と被服の間に2cm一定の間隙を維持できるようにした。一方、「圧迫」条件では、フレームスパーサーの代わりに腕部2カ所、胴体部3カ所、大腿部3カ所に予め取り付け付けたマジックテープにより、間隙をなくして被服を身体に密着させ、軽度の皮膚圧迫を伴わせた。

1. 3 測定項目

本実験では、実験1および2ともに、サーミスター（SXX67, TECHNOL SEVEN）による皮膚温8点（前額、胸、上腕、前腕、手指、大腿、下腿、足指）、レーザードップラー血流計（ALF-21,

ALF-21D, ALF-21R, アドバンス）による皮膚血流量5点（胸、上腕、手指、大腿、足指）を測定した。被服内および被服表面温・湿度を各々3点（胸、上腕、大腿）ずつ測定し、これらの値から被服内および被服表面の水蒸気圧を算出し、以下の式にて皮膚濡れ面積率（ W_s ）と被服濡れ面積率（ W_c ）を算出した²⁾。

$$W_s = (P_{sk} - P_a) / (P_{sk} - P_a) \times 100$$

P_{sk} ：皮膚の水蒸気圧（mmHg）

$P_{sk} s$ ：皮膚温での飽和水蒸気圧（mmHg）

P_a ：環境の水蒸気圧（mmHg）

$$W_c = (P_c - P_a) / (P_{cs} - P_a) \times 100$$

P_c ：被服表面温の水蒸気圧（mmHg）

P_{cs} ：被服表面温での飽和水蒸気圧（mmHg）

P_a ：環境の水蒸気圧（mmHg）

さらに換気カプセル法（OSS100, 株スズケン）による発汗量2点（胸、上腕）、直腸温（401J, 日機装 YSI）、心拍数（パルスウォッチ）、血圧（HEM-705CP, オムロン）、主観的申告（温冷感、快適感、湿潤感）を測定した。

「圧迫」条件では、被服に縫い付けたマジックテープにより皮膚を軽く圧迫したときの被服圧を、I型エアパック（エイエムアイ）により身体8部位について、各々周囲4点（一部3点）ずつ、計30カ所について測定した。測定部位は袖口、脇、胸、腹、上衣裾周囲、腰、大腿上部、大腿下部であった。

1. 4 実験手順

実験1または2いずれの場合においても、被験者は実験着を着用し、直腸温サーミスターを装着

表3 衣服素材特性

Clothing	Density (no/inch)		Thickness ($\times 10^{-3}m$)	Weight (g/m ²)	Porosity Percentage	Heat Conduction (kcal/m $\cdot$ h $\cdot$ °C)	Heat transfer (kcal/m $\cdot$ h $\cdot$ °C)	Permeability constant ($\times 10^{11}m^2$)	Water vapor transmission resistance (cm)
	Wale	Course							
Cotton	64	58	0.33	139	0.73	0.052	13.1	3.0	0.23d $\pm$ 2.08
Polyester	78	62	0.22	104	0.66	0.052	13.1	3.0	0.14 $\pm$ 2.11

C: Coll P: experiment 1 C: experiment 2 d: Thickness (cm)

後、実験開始1時間前に生活環境シミュレーターに入室し椅座安静を保ち、その間に各種センサー類を身体および被服表面に装着した。「ゆとり」条件の場合は、被服に取り付けたフレームスパーサーに注意しながら着衣させた。「圧迫」条件では、被服を身体に密着させるようにマジックテープで締めた。いずれの条件でも、胸部の開口部はサージカルテープで閉じた。その後、膝下まで両下肢を水温34℃の水槽（水深30cm）に浸漬させ約10分間の調整時間をとった後、10:00に実験を開始した。

被験者には下肢を浸漬した状態で、30分間34℃の水温を保持したのち、15分かけて41℃に上昇し、その後終了まで75分間41℃を維持させた。計120分間の測定を行い12:00に終了した。実験終了後、被験者は着替えた後、各自の体脂肪率（バイオインピメーター、SS103、積水化学工業）を測定した。

実験中、主観的申告は10分ごと、血压測定は5分ごとに行い、その他の項目はバイオパックシステム（MP100, モンテシステム）、データコレクター（AM-7052, AM-7102）を経由して毎分、パソコンに取り込み測定・処理した。

「圧迫」条件と「ゆとり」条件間の差の検定はt検定、危険率5%を有意水準とした。なお、結果の表示は平均値±標準誤差とした。

2. 実験結果

2. 1 被服圧

「圧迫」条件での被服圧は、平均で15mmHg（1.9kPa）であった。30ヵ所のうち17ヵ所の圧は10mmHg未満の値を示した。全身8部位の被服圧（最小～最大；平均値）はmmHg単位で表すと、それぞれ袖口（9～14；12）、脇（11～48；29）、胸（5～24；18）、腹（2～32；11）、上衣裾周囲（3～44；15）、腰（3～7；5）、大腿上部（1～34；13）、大腿下部（3～32；14）であり、一部に高い

値を示す部位が認められたが、全体には低い被服圧であった。

2. 2 綿被服着用時の体温調節反応（実験1）

綿被服着用時の皮膚圧迫の有無が発汗量に及ぼす影響を示した（図1）。いずれの部位でも50～60分目から発汗量が増加した。胸部では、「圧迫」条件は「ゆとり」条件に比べて有意に低く抑えられた。上腕部では両条件の間に差異は認められなかった。

図2には体重減少の変化を示した。発汗開始後、体重減少の速度は大きくなり、120分目には、両条件とも160gの減少を示した。「圧迫」と「ゆ

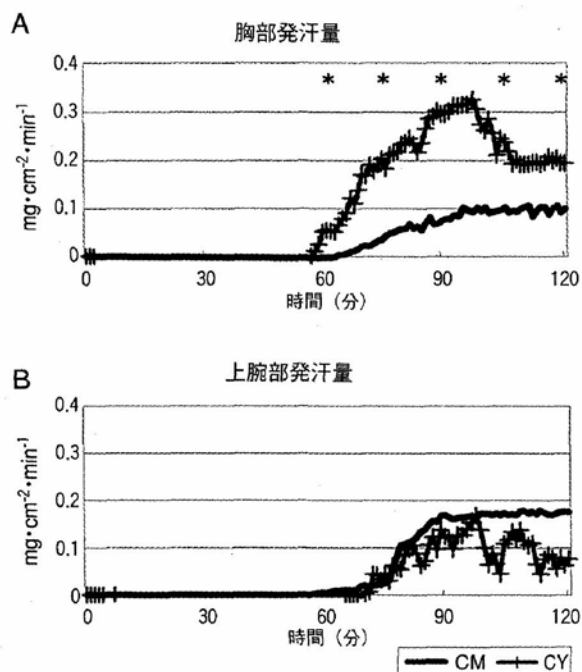


図1 綿衣服着用時の皮膚圧迫の有無が局所発汗量に及ぼす影響 CM：圧迫，CY：ゆとり * $p<0.05$

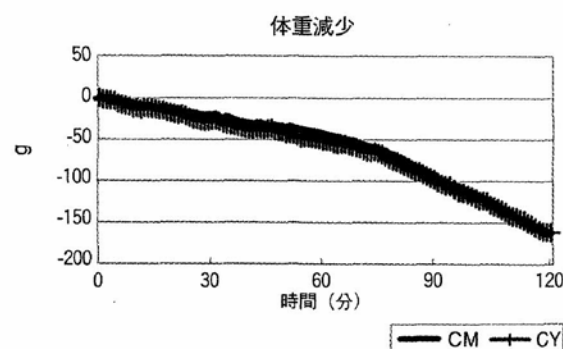


図2 綿衣服着用時の皮膚圧迫の有無が体重減少に及ぼす影響 CM：圧迫，CY：ゆとり

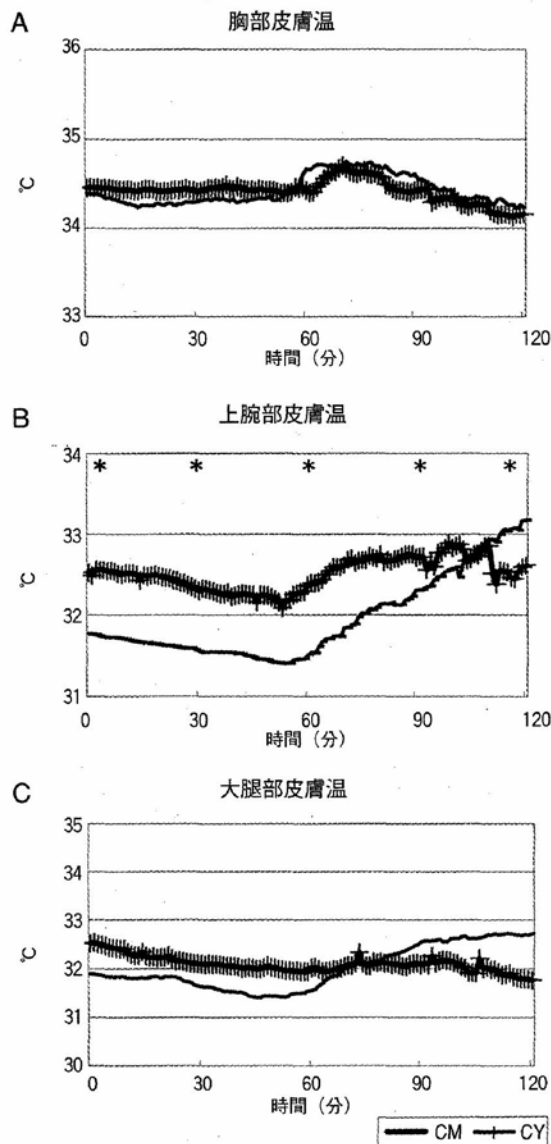


図3 綿衣服着用時の皮膚圧迫の有無が皮膚温に及ぼす影響 CM：圧迫，CY：ゆとり * $p < 0.05$

とり」の両条件の間に有意な差は認められなかった。

発汗開始前にはいずれの皮膚温も「圧迫」条件では「ゆとり」条件より低値を示した(図3)。上腕部では両者の皮膚温の差は0.8℃もあり、この差は有意であった。胸部と大腿部でも有意ではないが、「圧迫」条件の方が低値を示した。発汗開始に相当する時間以降は、逆にいずれの皮膚部位でも「圧迫」条件の方が高い値となった。図には示していないが、前腕と手指の皮膚温は「圧迫」条件の方が実験中ずっと低い値を示した。平均皮膚温でも、発汗のない実験前半は「圧迫」条件の

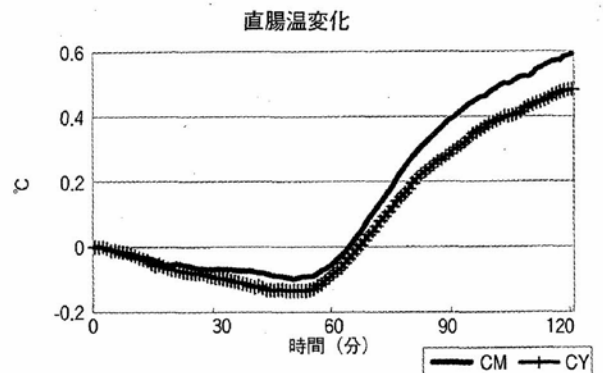


図4 綿衣服着用時の皮膚圧迫の有無が直腸温変化に及ぼす影響 CM：圧迫，CY：ゆとり

方が有意に低い値であったが、実験後半には「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件に近づき、両条件間の差は消失した。

直腸温の変化を図4に示した。綿被服着用時には、「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より直腸温の上昇は有意に大きかった。「圧迫」条件では120分目に0.60℃の上昇に対して、「ゆとり」条件では0.48℃であった。

皮膚血流量への影響は、胸部と上腕部は「圧迫」条件で抑制されたが、両条件間の差は後半でのみ有意であった(図5)。大腿部では逆に「ゆとり」条件より「圧迫」条件で有意な亢進が観察された。

全身の主観的申告は、温冷感、快適感、湿潤感ともに両条件間に有意な差は観察されなかった。さらに、手部について局所的な申告をさせたところ、図6に示すように温冷感では“どちらともいえない”から“ややあつい”の申告に移るとき、「ゆとり」条件の方が有意に早くあつい側を申告した。湿潤感、快適感には両条件間の差は認められなかった。

被服内温度は、上腕部では「ゆとり」条件より「圧迫」条件の方が、実験中、継続して2.0～0.5℃有意に低い値を示した。大腿部では両条件間に有意な差は認められなかった。

被服表面温は、上腕部と大腿部では「圧迫」条件で実験中、継続して有意に高い値を示した。

上腕部では皮膚および被服濡れ面積率ともに、

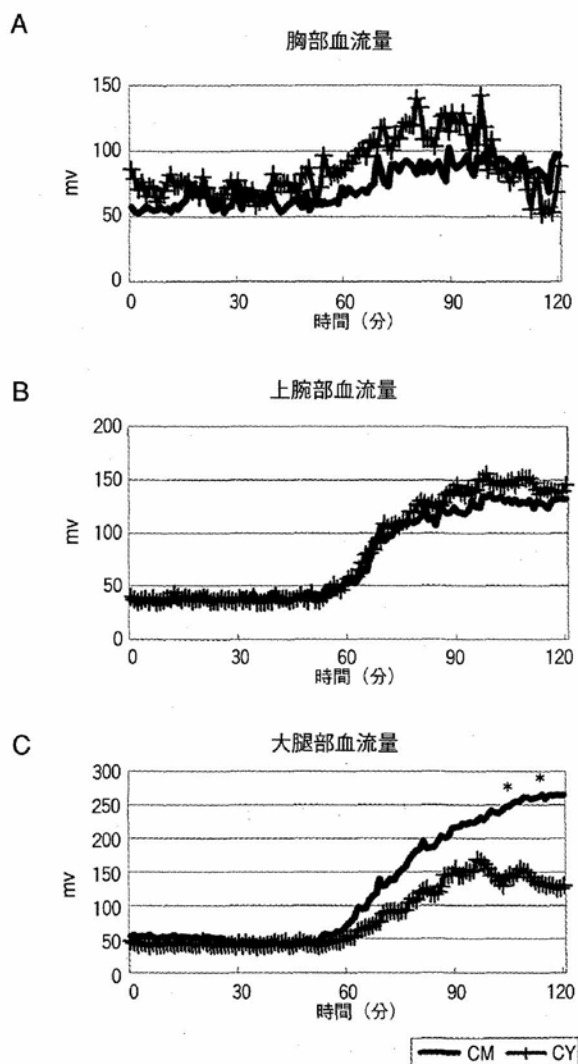


図5 綿衣服着用時の皮膚圧迫の有無が皮膚血流量に及ぼす影響 A：胸部皮膚血流量，B：上腕部皮膚血流量，C：大腿部皮膚血流量，CM：圧迫，CY：ゆとり * $p < 0.05$

「ゆとり」条件で有意に高い値が観察された。大腿部では皮膚濡れ面積率に有意な差は観察されなかったが、被服濡れ面積率は「圧迫」条件の方が高く上昇し、20%に到達した。この値は「ゆとり」条件の6%に比べ著しく高かった。

2. 3 PE被服着用時の体温調節反応(実験2)

発汗量は熱負荷が大きくなるに従って増加したが、胸部と上腕部では異なる傾向を示した(図7)。胸部は「圧迫」条件の方が有意に高く増加したが、上腕部では両条件間に差は認められなかった。

体重減少量はいずれの条件でも後半に大きくなったが、「ゆとり」条件より「圧迫」条件の方が

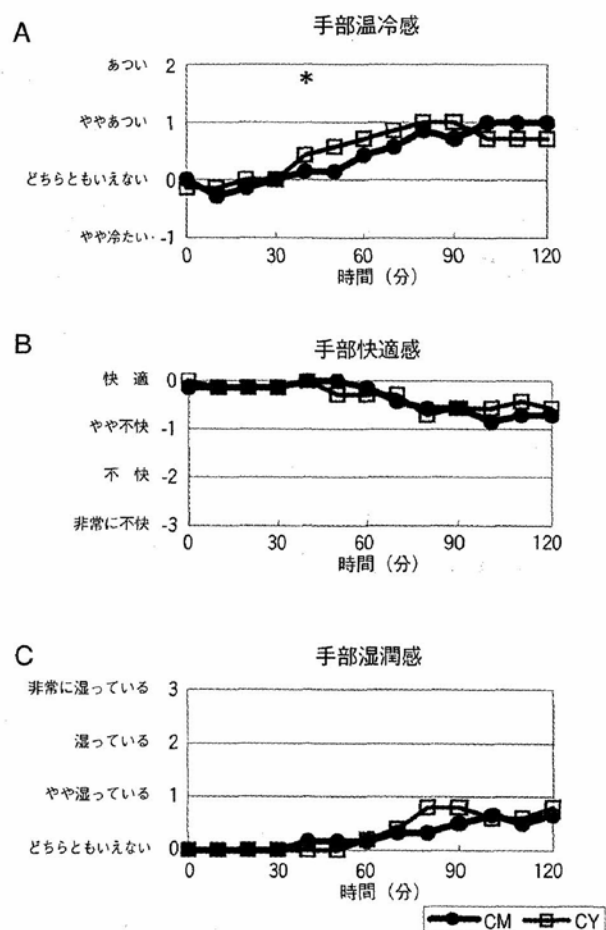


図6 綿衣服着用時の皮膚圧迫の有無が手部の主観的申告及ぼす影響 A：手部温冷感，B：手部快適感，C：手部湿潤感，CM：圧迫，CY：ゆとり * $p < 0.05$

有意に大きな減少を示した(図8)。120分目には「ゆとり」条件で平均151 g、「圧迫」条件では197 gを示し、有意に大きな減少を示した($p < 0.05$)。

図9には、PE被服着用時に皮膚圧迫の有無が皮膚温に及ぼす影響を示した。いずれの部位でも50～60分目から上昇に転じた。胸部と大腿部は実験前半には「圧迫」「ゆとり」両条件の間に差は認められなかったが、後半になると「圧迫」条件の方が有意に高く上昇した。一方、上腕部では実験前半に「圧迫」条件の方が有意に低値を示したが、後半その差は小さくなり有意差は認められなくなった。図には示していないが、手指部は全体に「圧迫」条件で低く、前半に有意差が認められたが、熱負荷が加わる後半には有意差が消失した。足指部でも前半には「圧迫」条件で有意に低

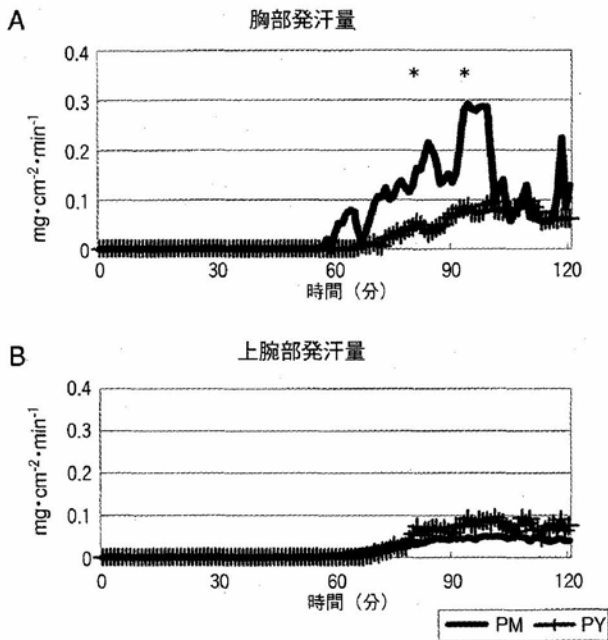


図7 ポリエステル衣服着用時の皮膚圧迫の有無が局所発汗量に及ぼす影響 A：胸部発汗量，B：上腕部発汗量，PM：圧迫，PY：ゆとり * $p<0.05$

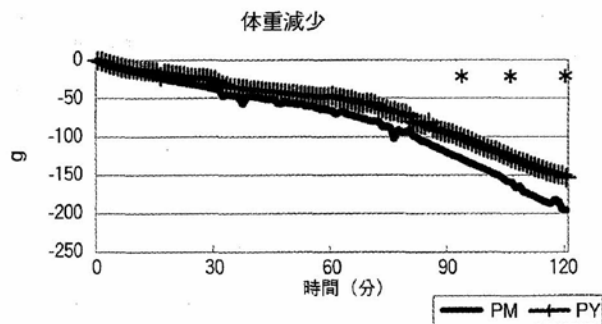


図8 ポリエステル衣服着用時の皮膚圧迫の有無が体重減少に及ぼす影響 PM：圧迫，PY：ゆとり * $p<0.05$

く，後半には逆転して有意に高くなった．その他の部位の皮膚温には両条件間に差は認められなかった．

直腸温の変化を図10に示した．PE被服着用時には有意差は認められなかったが，「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より直腸温の上昇は 0.1°C 低く抑えられた．

皮膚血流量への影響は，測定した3部位ではいずれも54分目から増加傾向を示した（図11）．胸部の皮膚血流量は実験中，継続して「圧迫」条件で有意に高値を示した．上腕部と大腿部では，前半はいずれも有意差は認められなかったが，後半には「圧迫」条件の方が高くなる傾向を示し，大

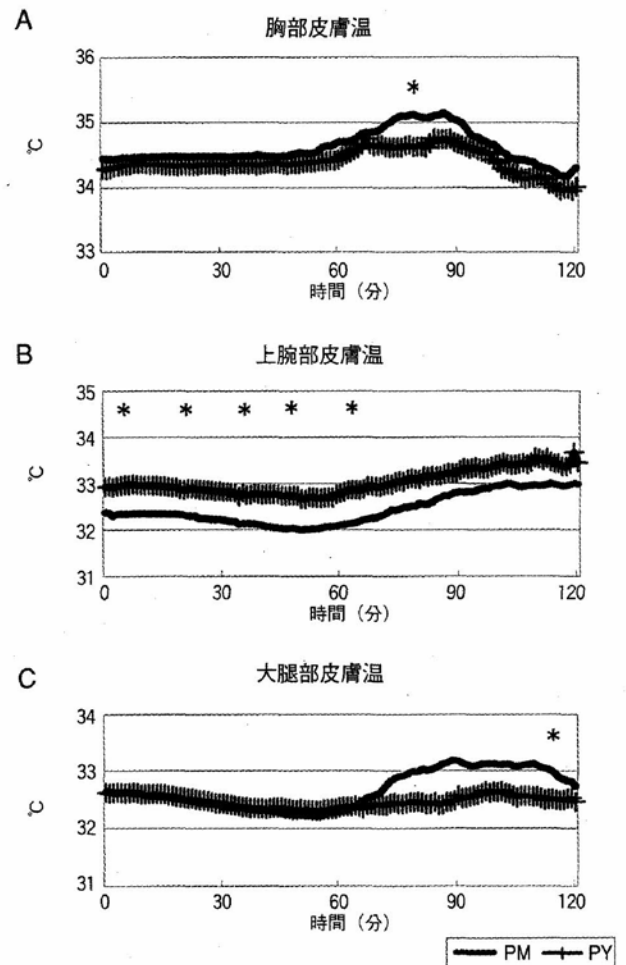


図9 ポリエステル衣服着用時の皮膚圧迫の有無が皮膚温に及ぼす影響 A：胸部皮膚温，B：上腕部皮膚温，C：大腿部皮膚温，PM：圧迫，PY：ゆとり * $p<0.05$

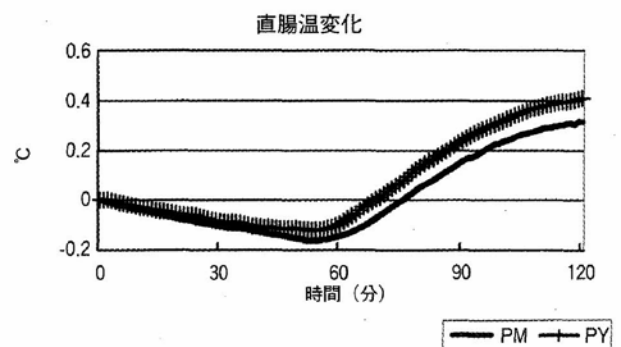


図10 ポリエステル衣服着用時の皮膚圧迫の有無が直腸温変化に及ぼす影響 PM：圧迫，PY：ゆとり * $p<0.05$

腿において両条件間の差は有意となった．

全身の主観的申告は，温冷感，快適感，湿潤感ともに両条件間に有意な差は観察されなかった．手部について局所的な申告をさせたところ，図12に示すように温冷感では“どちらともいえない

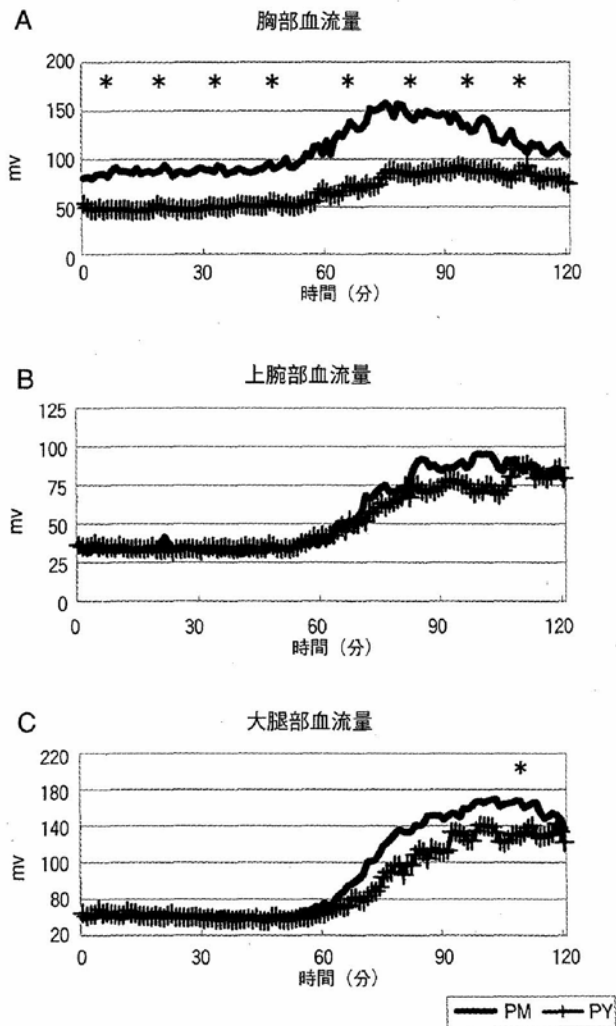


図11 ポリエステル衣服着用時の皮膚圧迫の有無が皮膚血流量に及ぼす影響 A：胸部皮膚血流量，B：上腕部皮膚血流量，C：大腿部皮膚血流量，PM：圧迫，PY：ゆとり * $p < 0.05$

い”から“ややあつい”の申告に移るとき、「ゆとり」条件の方が有意に早くあつい側の申告をした。湿潤感でも同様の有意な変化が観察されたが、快適感に差は認められなかった。

被服内温度は、胸部では実験中継続して「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より0.5～0.8℃高い値を示したが、有意な差は認められなかった。両者の間に有意な差は観察されなかったが、上腕部では反対に「圧迫」条件の方が0.2～0.5℃低い値を示した。大腿部では前半に差は認められなかったが、後半には「圧迫」条件で有意に高い値を示した。

被服表面温は胸部，上腕部，大腿部，いずれの部位でも、「圧迫」条件で有意に高値を示した。

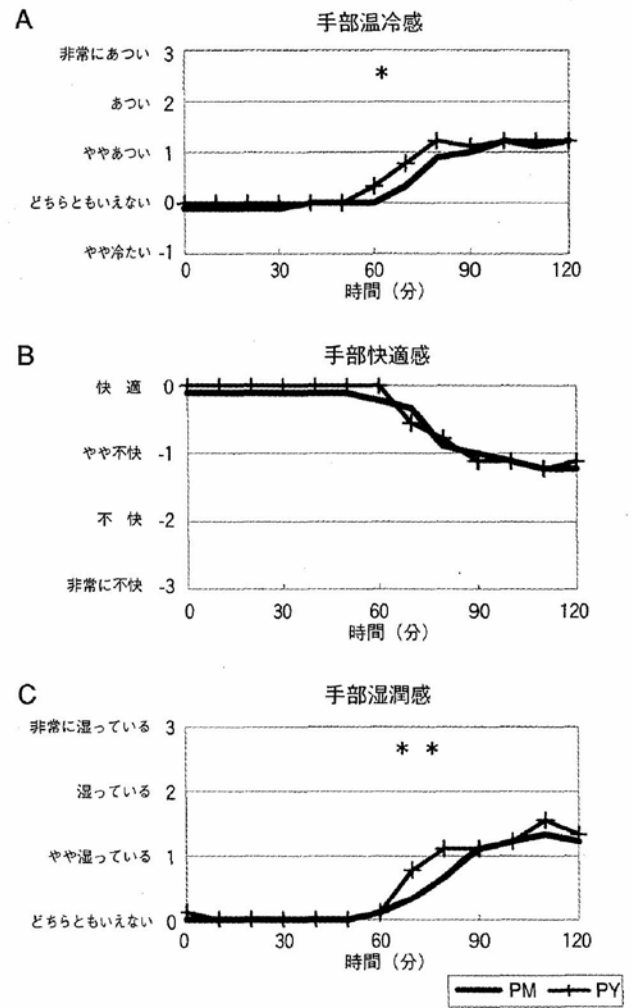


図12 ポリエステル衣服着用時の皮膚圧迫の有無が主観的申告に及ぼす影響 PM：圧迫，PY：ゆとり * $p < 0.05$

特に上腕部と大腿部では両者の間に1℃以上の温度差が認められた。

皮膚濡れ面積率は両条件とも54分目以降著しい上昇が認められ，大腿部は120分目には「ゆとり」条件が32%，「圧迫」条件では50%まで上昇した。被服濡れ面積率でも同様の傾向を示した。皮膚濡れ面積率より遅れて上昇したが，大腿部で120分目の値は「ゆとり」条件で8%，「圧迫」条件で19%であった。

3. 考 察

3.1 「圧迫」条件の被服圧

本実験では皮膚に密着させて着衣したときに生

じる被服圧を測定したところ、平均で15mmHg (1.9kPa) を示した。この被服圧は十分に自律神経機能への影響が推察される^{4,7)}。三野ら (1998) は、唾液分泌量の減少を引き起こすウェスト部への最小圧を観察したところ、4.3~9.2mmHgであったと報告している⁴⁾。さらに田中ら (1999) は、ガードル着用による鼠径部の皮膚圧迫が、足底部の皮膚血流量と発汗量の亢進を引き起こすことを示した。生理学的機序は鼠径部の皮膚に加えられた圧迫刺激が反射的に足底部の汗腺に分布する交感神経を賦活化して発汗量を増加させ、汗腺活動に比例して生じる能動性血管拡張反応³²⁾ により皮膚血流量が増加したものと推察している。そのときの被服圧は15~25mmHgの範囲であった。今回測定した実験着の被服圧30ヵ所のうち、三野ら⁴⁾ の示した最小被服圧以上の値は22ヵ所で観察された。また、田中ら⁹⁾ の指摘する被服圧の範囲を示した部位は4ヵ所存在した。このように、本実験で得られた「圧迫」条件の被服圧は、これまで報告されている値にほぼ一致することが判明した。

3. 2 綿被服による圧迫

今回の実験は椅座安静で行っており、被服の「圧迫」、「ゆとり」両条件ともに、臀部と大腿部には姿勢により既に体圧がかかっているため、被服の「圧迫」条件によって自律神経機能に影響すると考えられるのは、主に上半身、特に脇付け根部、側胸部等への圧であることが示唆された。上半身の左右両側への圧迫は、発汗量において上半身では抑制、下半身では亢進を引き起こすことが報告されている⁸⁾。本研究では図1に示すように、胸部の発汗量が被服による皮膚圧迫で有意に抑制されたことより、皮膚圧-発汗反射の関与が示された。さらに皮膚血流量でも胸部と上腕部には抑制、大腿部には促進効果が認められた (図5)。このことから、本実験で用いた被服による皮膚圧

迫刺激が、自律神経系を介して汗腺と皮膚血管に皮膚圧反射による変化を生じさせたことが示された。

本実験では、下肢温浴による熱負荷が加えられており、種々の体温調節反応の結果、「圧迫」条件での直腸温レベルは「ゆとり」条件に比べて有意に高かった (図4)。この結果は、「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より熱放散量は少なかったことを示唆している。しかし、図2に示した体重減少は両条件で差が認められず、蒸発性熱放散に差はなかった。この結果、直腸温の差異は、非蒸散性熱放散が「圧迫」条件では「ゆとり」条件より小さいことが示唆された。「圧迫」条件では被服と皮膚が密着しており、伝導による熱移動が促進するため、被服表面温度は常に「ゆとり」条件より高値を示したが、逆に皮膚温は低値を示した (図3)。一方、「ゆとり」条件では被服下の皮膚から袖口等の開口部を通して対流により放散された熱が、「圧迫」条件より大であったと考えられる。すなわち、「圧迫」条件では非蒸散性熱放散量が小さくなったために直腸温が高値を示したことが判明した。

皮膚血流量の変化にも皮膚圧反射の影響が考えられる。大腿部の皮膚血流量は、実験後半に「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より有意に高い値を示し (図5)、生理的な促進作用が認められた。上半身の胸部および上腕の皮膚血流量は有意ではなかったが、皮膚圧反射による抑制作用が認められ、「圧迫」条件では低値を示した。しかし、上半身の抑制作用が下半身のように有意な変化でなかった原因には、次のような機序が考えられる。「圧迫」条件では、基本的に胸部と上腕部の皮膚血流反応には皮膚圧反射による抑制作用が働いているが、熱バランスの結果、直腸温が有意に高く上昇したため、中枢性の体温調節反応により皮膚血管拡張反応が作動したと推察される⁷⁾。これが皮膚圧反射効果に上乗せされたため、胸部と上腕

部の皮膚血流量には明瞭な抑制作用が観察されなかったと推察される。

胸部と上腕部の皮膚温でも、後半には「圧迫」条件より「ゆとり」条件の方が高くなったのは、同様の機序が働いたものと考えられる（図3）。一方、実験前半はいずれの皮膚部位でも「圧迫」条件が低い皮膚温を示した。これは図5に示す皮膚血流の変化を反映したものとは考えにくい。また、図2に示した体重減少から推察される不感蒸散量にも差異は認められなかったため、この因子も否定的である。むしろ皮膚と被服との間隙量の差異に伴う効果を反映していると考えられる。「圧迫」条件では、衣服表面温度はいずれの部位でも高く、衣服を通して伝導による熱移動とが「ゆとり」条件よりも大きかった結果、低い皮膚温が維持されたことを示唆している。

綿被服では、異なる皮膚圧迫条件でも体重減少量（汗蒸発量）に有意な差はなかったが、皮膚に密着する「圧迫」条件の方が非蒸散性熱放散は少なくなり体温が高く上昇するため、生体への温熱負荷は大きくなることが判明した。

3. 3 PE被服による圧迫

PE被服による皮膚圧迫が、直腸温に及ぼす影響は、図10に示したように綿被服とは反対の結果となった。すなわち、直腸温は「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より120分目で約0.1℃低い値を示した。この結果は、「圧迫」条件の方が「ゆとり」条件より高い熱放散量を示すものである。図8に示したように、蒸発水分量を表す体重減少は「圧迫」条件で有意に大きな値を示した。胸部発汗量でも同様に「圧迫」刺激を加えた方が有意に高い値を示しており（図7）、少なくとも体重減少の増加、すなわち蒸発性熱放散量の亢進に寄与したことが確認された。胸部では発汗開始後の皮膚温（図9）、皮膚血流量（図11）共に「圧迫」条件で有意な高値を示しており、皮膚圧

反射による抑制が表面上は認められなかった。これは前述の綿被服の結果と著しく異なる反応であった。

前述のように、綿被服による圧迫を行った実験では、図1で示したように皮膚圧—発汗反射が観察されたにもかかわらず、PE被服では、上半身の胸部における発汗量は「圧迫」条件の方が有意に大きい増加を示し（図7）、皮膚血流量（図11）、皮膚温も高値を示した（図9）。これらの反応は綿被服の場合と著しく異なった。これは綿被服の場合に、衣服が密着しても皮膚の水蒸気が積極的に吸湿されるため、皮膚温を低く保つことができた。これに対して、PE被服は吸湿性が乏しいため、密着して被服圧が生じた条件において、発汗前は代償性に胸部皮膚血流量が増加し、発汗開始後はいずれの皮膚部位でも血流量が増加したため高い皮膚温が保持されたものと考えられる。この場合の皮膚血流量の増加は、発汗量の増加に伴うものと推察される³²⁾。同じPE被服でも、「ゆとり」条件では開口部から皮膚水蒸気が放散されたため、胸部や大腿部の皮膚温が「圧迫」条件より有意に低値を示したと推察される。

謝 辞

本研究の実施にあたり、験者として協力いただきました皆様、および被験者として協力いただいた皆様に厚く御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 三ツ井紀子, 酒井豊子, 中島利誠; 運動中の被服下気候と着心地に及ぼす布物性の影響, 日生気誌 26 (1) 41-48 (1989)
- 2) 菅井清美, 中島利誠; 綿・ポリエステル二層素材被服着用下の被服気候と着用感覚, 日生気誌, 26 (1) 5-13 (1989)
- 3) 三ツ井紀子, 中島利誠; 被服素材の被服下気候と着心地に及ぼす影響, 日生気誌, 28 (4) 125-135 (1991)
- 4) 三野たまき, 上田一夫; 唾液分泌活動に及ぼす腹

- 部圧迫刺激の影響—特に唾液分泌量の減少を引き起こす最小刺激圧について—, 日本家政学会誌, 49, 1131-1138 (1998)
- 5) 高木健太郎; 半側発汗の動機について, 日本生理誌, 11, 137-141 (1949)
- 6) 高木健太郎; 皮膚圧・自律神経反射, 最新医学, 9, 639-655 (1954)
- 7) 小川徳雄, 朝山正巳, 伊藤嘉紀; 皮膚圧およびハリによる区域的発汗抑制, 自律神経, 18, 246-253 (1981)
- 8) 小川徳雄; 発汗活動に影響する中枢性および末梢性要因, 日本生理誌, 48, 1-13 (1986)
- 9) 田中希弥, 吉田美奈子, 平田耕造; ガードル着用直後の鼠径部周囲圧迫が足底部皮膚血流量と皮膚表面湿度に及ぼす影響, 繊維製品消費科学, 36, 119-124 (1999)
- 10) 小柴朋子, 田村照子; 皮膚濡れ感覚の支配要因, 繊維製品消費科学, 36, 119-124 (1995)
- 11) 田村照子, 小柴朋子; 皮膚濡れ感覚の湿り—全身の湿り感覚感受性—, 繊維製品消費科学, 36, 125-131 (1995)
- 12) 平林由果, 足立公洋, 中西正恵, 志治富子; 運動時の体温, 発汗反応に与えるスポーツウェアの通気性の影響, デサントスポーツ科学, 16, 101-115 (1995)
- 13) Tanaka K., Hirata, K.; Heat of sorption induced by sweating affects thermoregulatory responses during heat load. *Eur.J.Appl.Physiol.*, 84, 69-77 (2001)
- 14) 登倉尋実, 笹瀬俊子, 橋本聡子, 緑川知子; 環境温度変化時の二層構造編地の温熱生理的研究, デサントスポーツ科学, 10, 203-208 (1989)
- 15) 田辺実, 平下政美, 平井敦夫, 永坂鉄夫; 高温環境下の姿勢変換による顔面の発汗量と皮膚血流量, 日生氣誌, 31 (1) 37-44 (1994)
- 16) 登倉尋実, 山下由果, 緑川知子; 寒冷下の運動時および運動直後の体温調節反応に与える被服の影響, デサントスポーツ科学, 5, 102-113 (1984)
- 17) 岡村圭子, 中村泰人; 同一熱環境実験に基づく皮膚温および年内変動, 日生氣誌, 34 (2) 89-95 (1997)
- 18) 深山雅代, 安田武; 繊維表面の性質が被服の層間水蒸気圧の動的変化に及ぼす影響, 日本家政学会誌, 43 (11) 1125-1131 (1992)
- 19) 前田亜紀子, 山崎和彦, 飯塚幸子, 吉田燦; 透湿性および非透湿性外衣の被服内気候に及ぼす効果, 日生氣誌, 36 (1) 31-42 (1999)
- 20) 田村照子, 岩崎房子, 嶋根歌子; 農薬散布作業衣の熱抵抗および蒸発抵抗に及ぼす素材・開口部の効果, 日本家政学会誌, 44 (6) 477-483 (1993)
- 21) 松本孝明, 小坂光男, 菅屋潤壺; 熱帯暑熱環境への適応, 日生氣誌, 36 (2) 65-69 (1999)
- 22) 近藤徳彦, 西保岳, 鍋倉賢治, 池上晴夫; 汗の拍出頻度よりみた安静時と運動時の発汗調節の比較, 日生氣誌, 24 (3) 135-144 (1987)
- 23) Hirashita M., Tanabe M., Sakurada S., Hirai A., Shido O., Nagasaka T.; Contribution of body core and mean skin temperatures to the control of forehead sweating in humans. *Jpn. J. Biometeor.*, 30 (1) 43-45 (1993)
- 24) Hirashita M., Nagasaka T., Tanabe M.; Relationship between heat loss responses and body core temperatures during hyperthermia in humans. *Jpn. J. Biometeor.*, 30 (1) 33-38 (1993)
- 25) 潮田ひとみ, 中島利誠; 濡れ感覚に及ぼす天然繊維布の影響, 繊維製品消費科学, 36, 44-52 (1995)
- 26) 庄司光, 被服の衛生学, 光生館 (1983)
- 27) 永田久紀, 被服衛生学, 南江堂 (1989)
- 28) 理工系基礎物理学 (改版), 大学自然科学教育研究会, (株)東京教学社 (1977)
- 29) 緑川知子, 第4章2被服材料の物理的性能, 新しい被服衛生 改訂第2版 (中橋美智子, 吉田敬一編), 南江堂, 91-107 (1999)
- 30) 岩崎房子ほか, 文化女子大学紀要, Vol.18 (1987)
- 31) 田辺新一, 第4章2被服の保温性, 新しい被服衛生 改訂第2版 (中橋美智子, 吉田敬一編), 南江堂, 108-125 (1999)
- 32) Kenney W.L.; Control of skin vasodilation: mechanisms and influences. In: *Thermal Physiology 1997* (Eds: B. Nielsen Johannsen and R. Nielsen), The August Krogh Institute, Copenhagen, 23-29 (1997)