

換気カプセル法による布片被覆皮膚の発汗解析

長崎大学 小坂光男
(共同研究者) 同 大渡 伸
同 松本孝朗
同 乙益絹代
同 山内正毅

Analysis of Sweating through Clothing Materials due to Ventilated Sweat Capsule Method

by

Mitsuo Kosaka, Nobu Ohwatari, Takaaki Matsumoto,
Kinuyo Otomasu, Masaki Yamauchi
*Department of Environmental Physiology, Institute of
Tropical Medicine, Nagasaki University*

ABSTRACT

In order to clarify the effect of clothing materials on the evaporation of the sweat, the clothing material was applied on the skin covered by the sweat-capsule and the change in relative humidity due to sweating through the clothing material was determined by capacitance hygrometer-ventilated capsule method.

There was no difference in sweat volume among the clothing materials of cotton, silk and nylon. The increase in relative humidity through clothing materials were slightly delayed after sweat-onset. The smaller decrease rate of evaporation after the end of heat load and the longer recovery time of relative humidity compared to those

in control capsule without any clothes were observed through the clothing materials.

These effects were significant in the order of cotton > silk > nylon among three materials, and in the order of non-contact (3 mm above the skin) > partial contact > contact on the skin among the three kinds of fashions of contact with the skin surface. The former result was agreed with the drying characteristics of the clothing materials.

要 旨

皮膚を被覆する布の発汗蒸発に及ぼす影響を明らかにする目的で、発汗カプセル内に布片を挿入し、布片ごとに、発汗による相対湿度変化を容量式湿度計—換気カプセル法により測定した。発汗量には布による差を認めなかった。布片ごしの相対湿度の増加は、発汗開始よりやや遅れた。温熱負荷終了後の蒸発量減少速度が鈍化し、蒸発終了までの時間が延長した。布素材間の比較では、綿で最も顕著で、ついで絹、ナイロンの順であった。皮膚と布片との接触度による比較では、3 mm 離れた非接触で最大で、ついで布片にたるみを持たせた部分接触、皮膚に密着した場合がその影響は最小であった。この結果は物性試験における布の乾燥性の結果と一致した。

以上の結果より、布片と皮膚との接触度が低いほど、また、布素材の比較では、ナイロンより絹さらに綿の方が、汗蒸発・布片乾燥が遅延することが明らかになった。

緒 言

着衣したヒトの発汗反応は、裸体でいる時とは異なる。暑熱環境下での快適性をコントロールする要因の一つに衣服があげられる。衣服とヒトの体温調節系、とくに発汗とのかかわり合いについては、これまで衣服素材の物理・化学的解析やサーマルマネキンによる観察実験や着用実験によ

る発汗量や温熱性不快感の比較検討^{9, 10, 12)}が行われてきたが、実際のヒトの皮膚の上での汗の蒸発に及ぼす衣服素材や、衣服と皮膚面との接触の仕方の違いによる影響について、詳細な検討は行われていない。

そこで、今回、われわれは、最も鋭敏な局所発汗量連続測定法であると考えられる⁸⁾、容量式湿度計—発汗カプセル法の発汗カプセル内に布片を挿入し、皮膚を被覆した布片を通して得られる相対湿度変化の連続測定を行い、ヒトの皮膚を被覆する布の物性や装着法の相違による発汗反応、および汗蒸発への影響を検討した。

1. 実験方法

健康成人男子大学生7名(18~23歳)を被験者とし、気温26°C、相対湿度60%に設定した人工気候室内にて、延べ27回の発汗実験を行った。初回実験に先立ち、被験者の身長、体重の測定、および上腕部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚をキャリパーで測定し、長嶺ら⁷⁾の方法で体密度を求め、Brozekら²⁾の式により体脂肪率(%FAT)を求めた。被験者の身体的特性を表1に示す。

被験者は、ショートパンツのみ着用し、人工気候室(26°C, 60% rh)にて1時間以上椅座安静の後、両下肢(膝関節以下)を43°Cの温水に30分間浸水し、発汗誘発刺激とした。左右各2個、計4個のカプセル(直径:36 mm)を被験者の上胸部に一列に装着し、カプセルの一侧の小孔より、

表1 被験者の身体的特性

Subject	Age (years)	Sex	Weight (kg)	Height (cm)	%Fat* (%)
S. K.	22	M	83.6	180.0	23.9
Y. M.	20	M	61.3	174.5	17.9
T. M.	20	M	73.1	186.0	10.4
T. Y.	21	M	75.6	175.0	19.8
Y. T.	23	M	62.2	170.0	13.7
T. N.	22	M	73.3	178.5	15.1
M. K.	18	M	66.2	173.0	14.8
mean	20.9		70.8	176.7	16.5
(S.D.)	1.6		7.4	4.9	4.1

*キャリパーで測定した上腕部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚から、長嶺ら⁷⁾の方法で体密度を求め、Brozekら⁸⁾の式により推定

窒素ガスをカプセルあたり 1 l/min の流量で流入させ、他側より流出するガスの相対湿度を容量式湿度計 (H 211, テクノ・セブン) にて測定、ペンレコーダ (R- 50, 理化電機) にて連続記録した³⁻⁶⁾。

綿、絹、ナイロンの3種類の布素材を布片資料として用い、発汗カプセル内に挿入した。布資料の物性を表2に示す。布片と皮膚面との接触の仕方について、皮膚面に密着(密着)、布片にたるみをもたせ、部分的に皮膚面に接触(たるみ)、布片が皮膚面より3mm離れた状態(非接触)の3条件を設定し、それぞれ布片を通して得られる相対湿度変化を、布を挿入していない対照カプセル(コントロール)の発汗曲線と比較し、布片挿入による発汗蒸発への影響を、布素材の違いや皮膚面

表2 布片資料の諸元

	綿	絹	ナイロン
厚さ (mm)	0.24	0.15	0.10
質量 ^a (g/m ²)	126.0	76.9	63.9
吸水性 ^b (mm)	38.7	35.0	15.0
透湿性 ^c (g/m ² ・h)	0.132	0.147	0.104
乾燥性 (g/202.5cm ²)	2.37	1.72	0.38

JIS一般織物試験方法に基づいて測定

a 標準状態における質量 b バイレック法 c ウォーター法

との接触の仕方から検討した。発汗開始後1分と6分の相対湿度の値から1分あたりの増加率を、温熱負荷終了後1分と6分の相対湿度の値から1分あたりの減少率を求めた。また、温熱負荷終了後、相対湿度が前値に復すまでの時間を回復時間とし、比較のための指標とした。

同時に脳温の指標になると考えられる、鼓膜温^{1,10)}および皮膚温(胸部、前腕、大腿、下腿の4点)をサーミスタ温度計にて測定し、データロガ(K 923, テクノ・セブン)を通してパーソナルコンピュータ(PC-8801, NEC)に1分ごとに入力した。直接湯に浸かっている下腿を除いた胸部、前腕および大腿の3点の皮膚温の単純平均を平均皮膚温とした。また、最大・最小血圧および心拍数を自動血圧計(STBT-780, コーリン電子)にて1分ごとに測定記録した。

統計処理は、一元配置分散分析法によって行い、有意水準5%で評価した。

2. 結 果

各被験者について、カプセル内に布片を挿入しないコントロール実験を行った。室温26°C、相対湿度60%条件下では、安静椅座位にて温熱負荷前に発汗を認めた被験者はなかった。コントロール実験の一例を図1に示す。温熱負荷後3~9分の発汗潜時(本例では7.8分)にて発汗が出現し、測定した4点でほとんど同時であった。この時の鼓膜温の上昇は、0.1°Cあるいはそれ以下であった。発汗量の増加にともない、平均皮膚温が低下した。温熱負荷終了後、速やかに発汗量は減少し、基線レベルに復した。発汗波は測定した4点ですべて同期していた。また、発汗量に左右差は認められなかったが、胸部内側の方が外側に比較し多量であり、その比(内側発汗量/外側発汗量)は1.49であった。

発汗開始後1分と6分の相対湿度から求めた増加率は、左右差は認めなかったが、内側と外側と

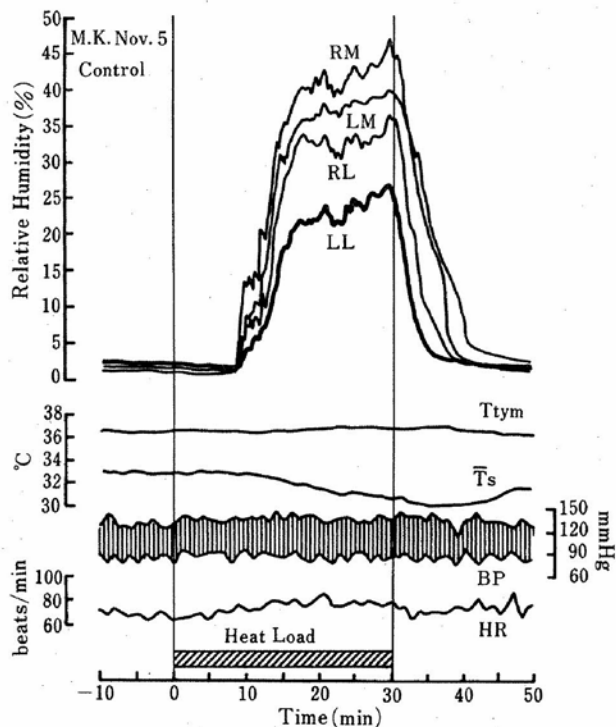


図1 コントロール実験の一例。上段より前胸部4点の発汗曲線 (RM: 右内側, LM: 左内側, RL: 右外側, LL: 左外側), 鼓膜温 (Ttym) および平均皮膚温 (\bar{T}_s : 胸部, 前腕および大腿の3点の単純平均), 血圧 (BP), 心拍数 (HR)

で差を認めその比は, 1 : 0.75 であった。温熱負荷終了後1分と6分の相対湿度から求めた減少率も, 左右差はなかったが, 1 : 1.117 の内外差を認めた。また, 温熱負荷終了後, 相対湿度が前値に復すまでの回復時間も, 同様に左右差はなく, 1 : 0.728 の内外差を認めた。そのため, 増加率, 減少率, 回復時間は内外比によって補正を行った。

30分間の温熱負荷による核心温 (鼓膜温) の上昇は約 0.5°C であり, 最大・最小血圧には顕著な変動を認めなかったが, 心拍数は温熱負荷により若干増加を示した。これらの結果はカプセル内に布片を挿入した実験においても同様であった。

つぎに, 綿, 絹, ナイロンの布片をカプセル内に挿入した実験例を図2, 図3, 図4に示す。各実験において, 4個のカプセル中の3個に布片を挿入し (密着, たるみ, 非接触), 残りの1個は布

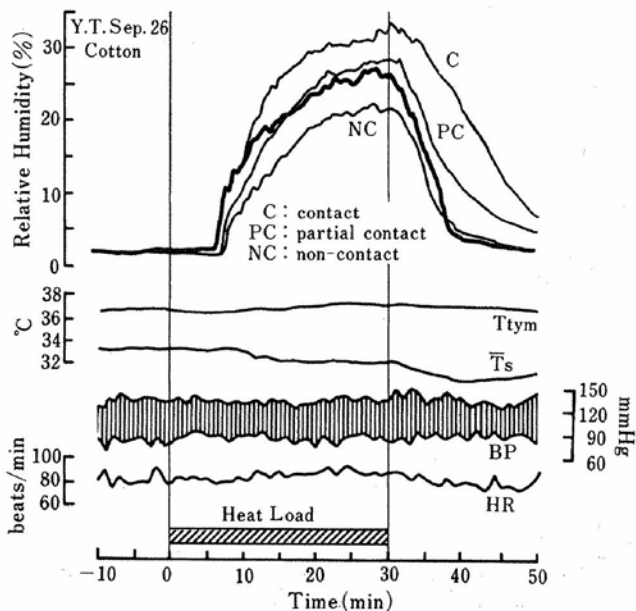


図2 綿実験の一例。4個のカプセル中3個に布片 (綿) をそれぞれ皮膚面に密着 (密着: C), 布片にたるみをもたせ部分的に皮膚面に接触 (たるみ: PC), 布片が皮膚面より3mm離れた状態 (非接触: NC) にて挿入した。布片を挿入していないコントロールの発汗曲線を太線にて示した。Ttym: 鼓膜温, \bar{T}_s : 平均皮膚温, BP: 血圧, HR: 心拍数

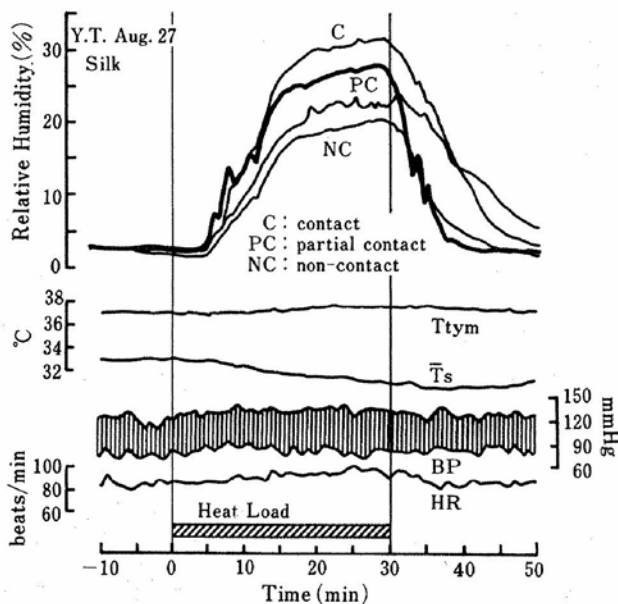


図3 絹実験の一例。4個のカプセル中3個に布片 (絹) をそれぞれ皮膚面に密着 (密着: C), 布片にたるみをもたせ部分的に皮膚面に接触 (たるみ: PC), 布片が皮膚面より3mm離れた状態 (非接触: NC) にて挿入した。布片を挿入していないコントロールの発汗曲線を太線にて示した。Ttym: 鼓膜温, \bar{T}_s : 平均皮膚温, BP: 血圧, HR: 心拍数

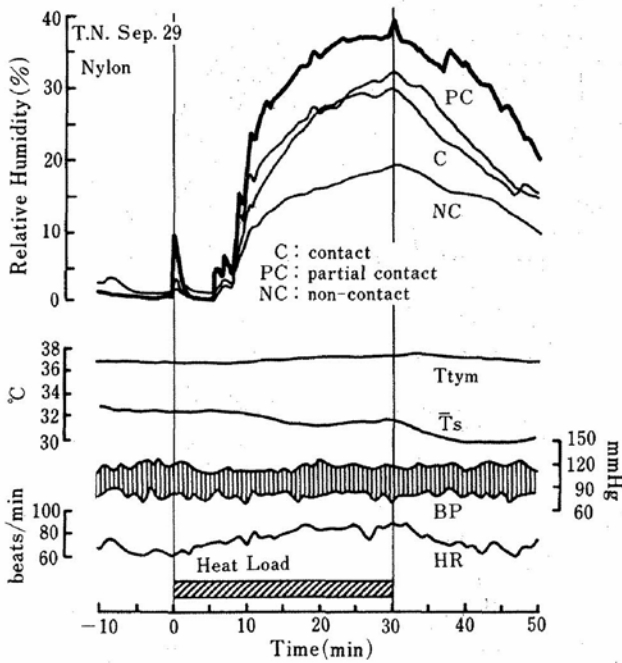


図4 ナイロン実験の一例。4個のカプセル中3個に布片(ナイロン)をそれぞれ皮膚面に密着(密着:C)、布片にたるみをもたせ部分的に皮膚面に接触(たるみ:PC)、布片が皮膚面より3mm離れた状態(非接触:NC)にて挿入した。布片を挿入していないコントロールの発汗曲線を太線にて示した。Ttym:鼓膜温、Ts:平均皮膚温、BP:血圧、HR:心拍数

片を挿入しないコントロールとした。発汗量を表す相対湿度曲線下の面積は、綿、絹、ナイロンいずれの布片を挿入した場合もコントロールとの間に差を認めなかった。

綿の布片をカプセル内へ挿入した実験(図2)では、相対湿度曲線の立ち上がり、太線で示した布片なしのコントロールに比べ、密着、たるみ、非接触の順にやや遅延する傾向が見られた(統計的有意差なし)。増加率には接触の仕方による差を認めなかった。布を挿入すると、密着、たるみ、非接触ともコントロールに比べ有意に減少率は小さくなり、回復時間は延長した。

絹の布片をカプセル内へ挿入すると(図3)、相対湿度曲線の立ち上がり、太線で示した布片なしのコントロールに比べ、やや遅れ、とくに非接触ではその差は有意であった。増加率には接触の仕方による差を認めなかった。また、減少率は小

さくなり、回復時間は延長した。たるみおよび非接触ではコントロールとの間に有意差を認めた。

ナイロンの布片をカプセル内へ挿入すると(図4)、相対湿度曲線の立ち上がり、太線で示した布片なしのコントロールに比べ、やや遅れ、とくに非接触ではその差は有意であった。増加率には接触の仕方による差を認めなかった。また、減少率は小さくなり、回復時間は延長した。たるみおよび非接触では、コントロールとの間に有意差を認めた。図4において、暑熱負荷開始直後に一時的に発汗が見られたが、これは体動によるものと考えられた。

布素材間の比較では、絹が立ち上がりの遅延が最も大であった。減少率の低下は、密着およびたるみでは綿が最も大きく、非接触の場合は、素材間の差は認めなかった。回復時間の延長は密着、たるみ、非接触いずれの場合も、綿が最も大きく、ナイロンが最も小さかった。

3. 考 察

衣服は生体と環境の間であって、もうひとつの“皮膚”として、ヒトの体温調節に少なからぬ意義を持っている。寒冷環境下では、着衣の保温性(断熱性)により、ふるえの出現しない中性温域が裸体の状態より低温側へ拡大される。しかし、一方、暑熱環境下では、着衣は皮膚から環境への非蒸発性熱放散(伝導、対流、放射)および蒸発性熱放散(発汗)を妨げる要因となる。ここで、衣服素材の諸特性が熱放散阻害の程度に関与してくる。われわれは、暑い夏には麻や綿の素材が適すことを経験的に知っているが、その機序は必ずしも明らかではない。本研究においては、容量式湿度計—発汗カプセル法の発汗カプセル内に、綿、絹、ナイロンの3種類の布片を挿入し、実際に皮膚から出る汗を、布片を通して測定することを試みた。

布ごしに測定した相対湿度の増加は、発汗開始

からやや遅れた。3種類の素材の中では絹が最も遅延した。吸水性および透湿性の最も低いナイロン(表2)で、相対湿度の増加が最も遅延すると予想されたが、結果は予想とやや異なった。この点については今後さらに検討したい。

発汗量に相当する相対湿度曲線下の面積には、布片による違いは認められず、布片で皮膚を被覆することにより、汗の蒸発の仕方には影響を及ぼすものの、発汗量そのものの増減はなかった。着用実験において、ポリエステルブラウスを着せた場合、綿ブラウスの時よりも発汗量が多い⁹⁾、吸水加工したポリエステルのブラウスに比べ、そうでないポリエステルのブラウスを着せた場合、発汗量が多い¹⁰⁾ことが報告されている。

着用実験では、体表面のある面積が広く被覆されるため、布の素材により熱放散阻害に差が生じ、発汗量が異なるものと想像されるが、本実験では、カプセル内のごく狭い限られた面積のみを被覆しており、全身体熱平衡に及ぼす効果は小さく、そのため発汗量に差を生じなかったと理解される。

本研究における布片による皮膚被覆の最も顕著な結果は、温熱負荷終了後の蒸発量減少速度の低下と、蒸発終了までの回復時間の遅延であった。布の素材による比較では、綿が最大で、ついで絹、ナイロンが最小であり、乾燥性の試験結果(表2)と一致した。また、皮膚と布片との接触度による比較では、非接触で最大であり、ついでたるみ、密着で最小であった。布片と皮膚との接触度が低いほど、また、ナイロンより絹さらに綿において汗蒸発・布片乾燥が遅延することが明らかとなった。

従来の衣服の体温調節系における機能についての研究は、布の物理的特性の検討や着用実験における衣服内微小気候、全身発汗量、温熱性快・不快感等の検討^{9,10,12)}が行われてきたが、衣服が実際の皮膚からの発汗の蒸発にどのような影響を与え

るか検討されていなかった。本研究において用いた、発汗カプセル内に布片を挿入し、布片を通しての相対湿度変化を測定する方法により、この点を詳細に検討することができた。また、その結果は布素材の物性試験の結果とよく一致した。

日常、われわれは、異なる素材からなる衣服を重ね着し、保温性や着心地をより良くする工夫をしている。このような重ね着の際の汗蒸発の検討も、異なる素材の布片を複数枚組合わせ、その順序を替えてカプセル内に挿入し、本方法により検討して行きたい。

謝 辞

本研究に対し、研究助成をいただいた石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝致します。

文 献

- 1) Brinnel, H., Cabanac, M. ; Tympanic temperature is a core temperature in humans, *J. Therm. Biol.*, **14**, 47-53 (1989)
- 2) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A. ; Densitometric analysis of body composition : Revision of some quantitative assumptions, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140 (1963)
- 3) Fan, Y. J. ; Determination of heat acclimatization by capacitance hygrometer-sweat capture capsule method, *Trop. Med.*, **29**, 107-121 (1987)
- 4) Matsumoto, T., Kosaka, M., Yamauchi, M., Ohwatari, N., Yang, G. J., Nakamura, K., Yamashita, S., Izumi, M., Nagataki, S. ; Effect of thyroid hormone on thermal sweating, *Trop. Med.*, **30**, 225-231 (1988)
- 5) Matsumoto, T., Yamauchi, M., Kosaka, M., Nakamura, K. ; Effect of fine alteration in ambient temperature on thermal sweating at rest and during exercise under thermo-neutral conditions, *Trop. Med.*, **31**, 131-139 (1989)
- 6) Matsumoto, T., Kosaka, M., Yamauchi, M., Nakamura, K., Yang, G. J., Velazquez, J. J. A. ; Seasonal variation of thermal sweating, *Trop. Med.*, **32**, 73-80 (1990)

- 7) Naganime, S., Suzuki, S. ; Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human Biology*, **36**, 8-15 (1964)
- 8) Ogawa, T., Sugeno, J. ; Pulsatile sweating and sympathetic sudomotor activity, *Jpn. J. Physiol.*, **43**, 275-289 (1993)
- 9) 菅井清美, 中島利誠; 運動実験による綿とポリエステル複合素材の熱・水分移動, *日生氣誌*, **25**, 3-9 (1988)
- 10) Tokura, H., Midorikawa-Tsurutani, T. ; Effects of hygroscopically treated polyester blouses on sweating rates of sedentary women at 33°C, *Text. Res. J.*, **55**, 178-180 (1985)
- 11) 内野欽司; ヒト鼓膜温の生理学的意義, *日本生理誌*, **51**, 387-404 (1989)
- 12) 和田 脩, 高寺由和; 吸水ポリエステル繊維の諸物性と着用テスト, *織機誌*, **36**, 42-49 (1983)