

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 25 日現在

機関番号：44412

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：平成 22 年度～平成 23 年度

課題番号：22650172

研究課題名（和文） 衣服設計のための局所発汗量測定法の開発と発汗フェーズ予測

研究課題名（英文） Technical development of measurement for local sweat volume and prediction of its time course for the design of comfortable clothes.

研究代表者

上田 博之 (HIROYUKI UEDA)

大阪信愛女学院短期大学・看護学科・教授

研究者番号：00203448

研究成果の概要（和文）：

本研究では、高分子吸収体シートを用いて広範囲の皮膚面で局所発汗量を測定する方法を確立した。次に、身体部位により異なる発汗量は累積発汗量に対する比率にすると、老若男女を問わず、全身ほぼ同一の経時変化を示すことを見出し、この比率に基づき吸収シートで測定した局所総発汗量の経時変化推定法を提示した。さらに、身体部位別に推定される局所発汗量を平均体温上昇度と対応させ、この方法の衣服設計への活用範囲の拡大に努めた。

研究成果の概要（英文）：

The simplified technique of measuring local sweat volume on relatively large skin area was established using absorbing pads. The sweat volume differed according to the region of the body in our great deal of experimentation. On the other hand, the percentage of sweat rate, which meant the ratio of the local sweat rate to the total amount of sweat at its body site during the experiment, showed a similar change over time at all the sites of the body in a man's and woman's body of all ages. It made easier to utilize the estimated sweat rate in designing the clothes by corresponding it to the mean body temperature.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	700,000	0	700,000
2011 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
交付決定額	2,600,000	570,000	3,170,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学一般・衣生活

キーワード：局所発汗量・測定法・身体部位差・吸収シート

1. 研究開始当初の背景

(1) 発汗を伴う運動において、衣服の湿性熱放散は着用者の着用感やパフォーマンスに極めて大きく影響する。近年、アウトドアウェアやスポーツウェアの温熱機能性を向上させるために、発汗に対する吸水性、乾燥性、透湿性に優れた素材が開発されている。しかし、一つの素材を一様に用いた製品が多く、また、複数の素材を用いた場合にもウェアの生地構成は経験的感覚に基づいている。

(2) ヒトの発汗反応には身体部位差が存在し

(Inoue 1996)、この身体部位差は性別や年齢などにより修飾される (Inoue et al. 2004, Inoue and Ueda et al. 2005)。さらに我々は、身体部位別の発汗量と衣服内換気量に基づいて、発汗時の衣服内環境を適切に評価する方法を提案している (Ueda 2006)。そのため、温熱機能性の優れたウェアを設計するためには、運動時の部位別発汗量を様々な着用条件下（温熱環境や運動強度・時間など）で測定し、着用者の身体各部位の発汗量に応じて素材を適切に配置させることが重要である

と考えられる。

(3) 身体各部位の発汗量はカプセル換気法やカプセル濾紙法で測定されてきた。しかし、これまでの測定方法は測定面積が極めて狭いこと（体表面積の1~6%程度）や測定時の皮膚面の状態（乾燥または過度の濡れ、皮膚温の低下など）が実際の着衣状態と異なり、衣服設計に向けた発汗量測定法としては適切であるとは言いがたい。

2. 研究の目的

発汗を伴う条件下で着用する温熱機能性を考慮した衣服を開発するためには、着衣条件下において身体各部位の発汗量を広範囲で容易に測定できる方法が必要である。そこで本研究では、(1) 発汗量測定時に皮膚の濡れ状態をウェア着用時と同様の状態に保つ皮膚貼付式吸収シート法の開発を試みた。(2) 次に、この吸収シート法により運動時の身体各部位の発汗量を広範囲で測定できる方法を確立するため、従来からのカプセル換気法やカプセル濾紙法との比較によりその妥当性を検討した。(3) 吸収シート法では発汗量の経時変化を捉えることが困難であるため、カプセル換気法を用いた先行研究データを再分析して、皮膚貼付式吸収シートで測定した局所総発汗量から経時変化を推定する方法を提案した。そして、(4) 運動時に身体多部位の局所総発汗量を吸収シート法で測定し、この推定方法を用いて経時変化を推定することを試みた。

3. 研究の方法

(1) 発汗量測定用吸収シートの開発：市販の吸収シートから発汗吸収に適した製品を選び、周囲皮膚面から吸収材への汗の流入を防止する加工法について検討した。吸収シート2種（粘着絆サイズが100 x 200 mm）と周囲皮膚面からの汗が吸収材に流れ込むことを防止するために吸収材の周囲に施す加工材7種（シリコンテープ、シリコンスポンジ、ウレタンシート、ゴムシート、ウレタンシートおよびシリコンゲル）を素材とした。すべての組み合わせの加工シートを、角度60°に固定したアクリル板に貼付して、上部より着色した水を流して、吸収材への侵入状態を確認した。

次に、加工した吸水シートの測定精度を評価するために、若年成人女性13名を対象に異なる運動条件で身体多部位において発汗量を測定した。同一部位の発汗量に左右差がみられない結果(Havenith 2008)を参考にして、市販シート（加工なし）と周囲を加工したシートを胸部、腹部、背部、腰部、上腕部、前腕部、大腿前面部、下腿前面部の左右対称部位に貼付した。各被験者には30°C・60%RH環境下で被験者ごとに設定した目標心拍

数に応じた運動強度で45分間の自転車運動を負荷した。運動終了後に直ちにシートを皮膚面から剥がして密閉保管し、運動直後と乾燥後におけるシート重量差から運動中の各部位の総発汗量を推定した。また、実験中シート周辺皮膚面から吸水シートへの汗の流入状況をチェックするために、シート周囲の皮膚面に着色剤を塗布して汗を着色した。

(2) 吸収シート法の妥当性：従来から用いられているカプセル換気法やカプセル濾紙法で測定した発汗量と加工したシートで測定した発汗量を比較することで吸水シート法の妥当性を検討した。若年成人男女各3名(19~22歳)に、異なる日に2回の自転車運動を実施して、従来のカプセル換気法もしくはカプセル濾紙法のいずれか1つの方法と加工シートを用いた吸水シート法で発汗量を同時に測定した。被験者は、胸部・背部・前腕部・大腿部の片側半身に改良シートを貼付け、他方半身の対称部位にカプセル濾紙法(12.56 cm²)とカプセル換気法(7.07 cm²)測定用カプセル1個を皮膚面に固定した。各被験者には、30°C・50%RHに設定した人工気象室内で体力レベルに応じた負荷強度の自転車運動(55 rpm)を45分間負荷した。

(3) カプセル換気法を用いた先行研究データの再分析：カプセル換気法を用いて連続的に測定した3つの先行研究における分時発汗量(mg/cm²/min)データを再分析した。すなわち、身体多部位の分時発汗量の累積値に対する分時発汗量の比率(発汗比率)を算出し、発汗量および発汗比率の身体部位差を検討するとともに、それらの変動係数を比較した。先行研究の概略は、(a) 30°C・45%RH環境下での42°Cの湯による40分間の下肢温浴実験(若年男性13名、高齢男性14名、若年女性12名、高齢女性9名、測定部位：前額・胸・前腕・大腿)、(b) 28°C・45%RHの環境下で35%、50%、65%VO₂maxの30分間の一定負荷自転車運動実験(思春期前男児6名、若年男性9名、高齢男性5名、測定部位：前額・胸・背・前腕・大腿)、(c) 30°C・45%RHの環境下で35%、50%、65%VO₂max各20分間の運動を連続的に計60分間の漸増負荷運動実験(若年男性5名と若年女性10名の運動鍛練者、若年男性8名と若年女性9名の非鍛練者、測定部位：前額、胸、背、前腕、大腿)、であった。

(4) 吸水シート法による発汗量測定実験とその経時変化の推定：若年成人男性6名(19~22歳)に30°C・50%RH環境下で60%VO₂max自転車運動を40分間負荷し、身体21部位の総発汗量を加工した吸水シートで、さらに背部発汗量の経時変化をカプセル換気法で測定した。胸部3部位(左右と中央)、背部3部位(左右と中央)、右大腿部後面、右下腿部後面に75.0×37.5 mmのシー

トを、腹部 3 部位 (左右と中央), 脇腹部 2 部位 (左右), 腰部 3 部位 (左右と中央), 上腕部 2 部位 (左右), 右前腕部, 右大腿部前面, 右下腿部前面に 120.0×37.5mm のシートを貼付けて, 運動直後と乾燥後におけるシートの重量差から各部位の総発汗量を推定した。また, 運動中, 直腸温, 胸・背・前腕の皮膚温を連続的に測定した。3 部位の皮膚温から平均皮膚温を, さらに直腸温と平均皮膚温から平均体温を算出した。カプセル換気法で連続的に測定した背部における分時発汗量の総量に対する分時発汗量の比率 (発汗比率) を算出し, その発汗比率とシート法で求めた各部位の発汗総量から, 身体 21 部位の局所発汗量の経時変化を検討した。

なお, すべての実験において, 被験者には事前に各実験の目的・条件・測定内容等について説明し, 実験参加の同意を得た。

4. 研究成果

(1) 発汗量測定用吸収シートの開発

吸収シートは, 湿潤状態の皮膚への粘着力が強く, 吸水時に皮膚面の湿潤が少ない製品 (Opsite Post-op, Smith&Nephew 製) を選び, アクリル板を用いた実験で吸収材へ水の流入が少ない加工材 (ウレタンシート) の組み合わせとした。また, 吸収材上部の粘着絆部分の汗が吸収材に侵入することが予測されるために, 高分子吸収体を含む別の吸水テープ (8mm 幅) を上部の粘着絆に貼り付けて測定用吸水シートを作成することとした。さらに, 実験終了時に粘着絆から切り離して吸収材部分を剥がせるように, 接着絆と吸収材の境界の一部に切り込みを入れることとした。

シート周辺部の着色した汗が市販シートと加工シートに浸入する状況を被験者の発汗量や測定部位など異なる種々の状況において比較した。市販シートでは吸収発汗量が約 0.6 mg/cm²/min になると着色した汗の侵入痕が一部に観察され, 約 0.8 mg/cm²/min になるとほぼすべてに侵入痕が観察された。一方, 改良シートでは吸収発汗量が 1.4 mg/cm²/min になっても汗の侵入痕は一部でしか観察されなかった。以上の結果から, 市販シートは発汗量が多くなるとシート周辺部からの汗の吸収量が増加するため, 市販吸収シートは吸収材周囲のウレタンフォームと上部の吸水テープで汗侵入防止加工をすることにより高精度に発汗量を測定できることが明らかにされた。

市販シート (x) と加工シート (y) で測定した発汗量は, いずれの部位も高い相関関係が認められ, それぞれ

胸部 $y=0.874x$ ($r=0.949$, $p<0.01$, $n=11$),
腹部 $y=0.768x$ ($r=0.788$, $p<0.01$, $n=12$),
背部 $y=0.790x$ ($r=0.934$, $p<0.01$, $n=13$),

腰部 $y=0.763x$ ($r=0.886$, $p<0.01$, $n=13$),
上腕部 $y=0.878x$ ($r=0.889$, $p<0.01$, $n=11$),
前腕部 $y=0.880x$ ($r=0.937$, $p<0.01$, $n=10$),
大腿部 $y=0.937x$ ($r=0.901$, $p<0.01$, $n=10$),
下腿部 $y=1.067x$ ($r=0.964$, $p<0.01$, $n=11$)
なる回帰直線 (切片を 0 とした) が得られた。回帰直線の傾きは身体部位で異なり, 四肢部が躯幹部より大きい傾向だった。これは発汗量の多い躯幹部ほど市販シートで汗の流入が多かったことに起因する。このことは, 汗の少ない大腿および下腿部では, 加工シートのみならず市販シートでも発汗量を比較的高い精度で測定できることを示唆している。

(2) 吸収シート法の妥当性: 図 1 はカプセル換気法と吸収シート法で測定した発汗量, カプセル濾紙法と吸収シート法で測定した発汗量の対応関係を示す。いずれの対応関係にも有意な相関関係が認められ, それぞれ $y=1.33x$ ($r=0.88$, $p<0.01$, $n=24$), $y=1.29x$ ($r=0.91$, $p<0.01$, $n=24$) の回帰式 (いずれも切片を 0 とした) が得られた。吸収シート法で測定した発汗量 (0.737 ± 0.344 mg/cm²/min, mean±SD, $n=24$) はカプセル濾紙法 (0.584 ± 0.202 mg/cm²/min, $n=24$) やカプセル換気法 (0.572 ± 0.142 mg/cm²/min, $n=24$) より約 15% 多かった ($p<0.01$)。高い相関関係が認められたことは, 吸収シート法による発汗量測定は従来の測定法と同様の信頼性を示すものであるが, 従来の測定法より 15% 程度高くなることを考慮する必要がある。吸収シート法は広範囲の皮膚面をシートで覆うために, その保温性が直下の皮膚温を上昇させて汗腺活動を亢進させたものと推察される。

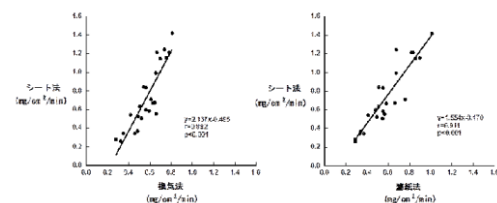


図 1 カプセル換気法及びカプセル濾紙法とシート法で測定した発汗量の相関関係

(3) カプセル換気法を用いた先行研究データの再分析: 下肢温浴実験(a)において, 発汗量は, 若年男性で胸>前腕, 若年女性で胸>大腿, 高齢男性で前額>胸・前腕・大腿, 前腕・胸>大腿, 高齢女性で前額>胸・前腕・大腿, なる関係が観察された。発汗比率では, 若年男性で前額>大腿だったが, 他の部位間に有意な差はみられなかった。また, 若年女性, 高齢男性・女性の発汗比率にも部位差が認められなかった。

一定負荷運動実験(b)において, 思春期前児

童の発汗量は、35%VO₂max 時で背>胸、前額・背>大腿、65%VO₂max 時で前額>大腿の部位差がみられた。若年男性の発汗量は、35%VO₂max 時で胸・大腿>上腕、50%VO₂max 時で前額>背・前腕・大腿、胸>前腕・大腿、65%VO₂max 時で前額>胸・背・前腕・大腿、胸>上腕・大腿、背>大腿の関係がみられた。高齢男性の発汗量では、35%VO₂max 時で前額・胸>大腿、50%VO₂max 時で前額>胸・背・前腕・大腿、胸・背・前腕>大腿の部位差がみられた。一方、発汗比率では、思春期前児童の35%VO₂max 時で前額・前腕>胸・背、50%VO₂max 時で前腕>胸・背であったが、他の部位差及び65%VO₂max 時の部位差はみられなかった。若年男性の発汗比率は35%VO₂max 時と65%VO₂max 時で前腕>大腿だったが、それ以外の部位差及び50%VO₂max 時の部位差はみられなかった。高齢男性の発汗比率では、すべての運動強度条件で有意な部位差は認められなかった。

漸増運動実験(c)において、男性運動鍛錬者の発汗量は前額>胸・背・前腕・大腿、胸・背・前腕>大腿、女性鍛錬者で前額>胸・大腿、背>胸・前腕・大腿、前腕>大腿部だった。また、男性非鍛錬者の発汗量では、前額>胸・背・前腕・大腿、胸>前腕・大腿、背>前腕部、女性非鍛錬者では、前額・胸・背>大腿、背>胸、前腕>大腿の部位差がみられた。発汗比率では、男性鍛錬者で前腕>背・大腿、女性鍛錬者で前額>胸・背、男性非鍛錬者で前額・胸>背・大腿、前腕>大腿の関係がみられたが、他の部位間では有意な差は認められなかった。

発汗量と発汗比率にみられる部位差の程度を変動係数で比較した場合、表1に示すように、一定負荷運動実験(b)の35%VO₂max 時思春期前児童を除き、被験者の年齢や性別、

表1 発汗量および発汗比率における身体部位差(変動係数)の比較 (mean±SEM)

実験条件とグループ	n	発汗量	発汗比率
下肢温浴実験			
若年男性	13	42.0 ±3.4	10.0 ±1.3 **
高齢男性	14	55.0 ±3.6	17.0 ±5.8 **
若年女性	12	30.0 ±6.1	13.0 ±2.9 *
高齢女性	9	60.0 ±9.9	17.0 ±4.7 **
一定強負荷実験			
35%VO₂max			
思春期前男児	6	20.7 ±4.2	14.2 ±2.9 ns
若年男性	9	36.2 ±4.0	14.4 ±2.6 **
高齢男性	5	41.2 ±9.0	13.2 ±1.9 *
50%VO₂max			
思春期前男児	6	22.3 ±3.3	6.3 ±0.7 **
若年男性	9	36.7 ±6.2	6.9 ±0.9 **
高齢男性	5	45.0 ±10.6	9.5 ±1.6 **
65%VO₂max			
思春期前男児	4	28.4 ±5.3	6.1 ±0.4 *
若年男性	9	46.5 ±3.8	4.6 ±3.8 **
高齢男性	5	60.1 ±9.1	7.2 ±0.9 **
漸増負荷実験			
男性(運動鍛錬者)	5	43.6 ±2.0	13.4 ±2.7 **
(非鍛錬者)	8	52.3 ±3.0	16.0 ±2.9 **
女性(運動鍛錬者)	10	32.4 ±2.3	14.1 ±1.3 **
(非鍛錬者)	9	43.3 ±4.3	12.5 ±1.7 **

発汗量と発汗比率の比較 ** p<0.01 * p<0.05

運動鍛錬の有無、暑熱負荷方法や運動強度などの実験条件に関わらず発汗比率の変動係数が発汗量の変動係数より有意に小さかった。このように発汗比率の身体部位差が発汗量の身体部位差より極端に小さかったことから、ある部位で連続的に測定した発汗量の発汗比率に基づいて、吸収シート法で求めた各部位の総発汗量からその部位の発汗量の経時変化を、老若男女、運動トレーニング状況、運動強度に関わらず、ほぼ同等の誤差範囲で推定できることが示唆された。

(4) 吸水シート実験による発汗量測定と経時変化推定：図2は40分間の60%VO₂max 自転車時に吸収シート法で測定された身体21

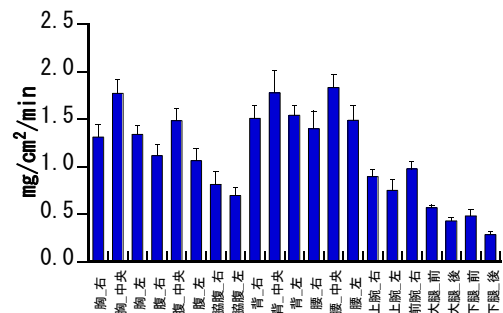


図2 男性被験者(n=6)の運動中発汗量の局所発汗量

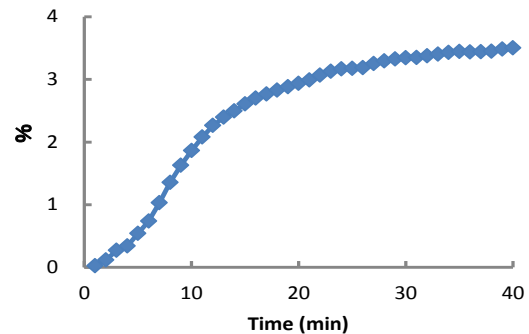


図3 背部発汗比率

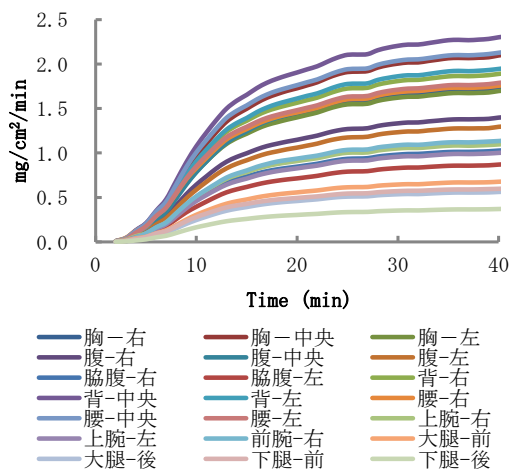


図4 身体各部位の推定発汗量

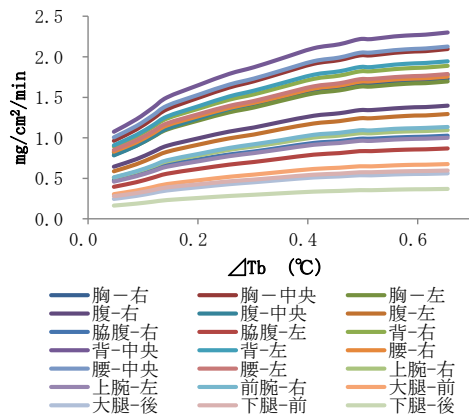


図5 平均体温の上昇度と推定発汗量の関係

部位の局所総発汗量を示す。局所総発汗量は、①躯幹は四肢より多い、②躯幹、四肢とも左右差はない、③躯幹においては中央が左・右より多い、④脇腹部は躯幹前・後面より少ない、⑤上肢は下肢より多い、⑥下肢では前面が後面より多い、ことが観察された。

図3は40分間の60%VO₂max自転車時にカプセル換気法で測定した背部の局所発汗量に基づき、発汗量/局所総発汗量×100で求めた発汗比率の一例を示す。吸収シート法で測定した局所総発汗量にカプセル換気法で求めた発汗比率(図3)を乗じて各部位の発汗量の経時変化を推定した。6名の被験者の60%VO₂max自転車運動時の身体21部位の発汗量の経時変化を図4に示す。次に、推定した発汗量の経時変化と平均体温の経時変化に基づき、平均体温-局所発汗量の対応関係を部位毎に推定した(図5)。これらの対応関係を用いれば、本実験における平均体温の変化範囲内で(男性Δ0.65℃, 女性Δ0.50℃), 身体多部位の発汗量の変化を予測することができる。この推定方法は、温熱的機能性を考慮した衣服を設計する際に、有益な一助となることが推察される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Ichinose-Kuwahara T, Inoue Y: Reply to C. Schwiening's commentary. *Exp Physiol* 96: 559-560, 2011
- ② Ichinose-Kuwahara T, Inoue Y, Iseki Y et al.: Sex differences in the effects of physical training on sweat gland responses during a graded exercise. *Exp Physiol* 95: 1026-1032, 2010

〔図書〕(計1件)

- ① 上田博之, Gerge Havenith, 衣服の影響(第6章-V), ナップ(井上芳光, 近藤徳彦編著), 体温II, pp264-276, 2010

〔学会発表〕(計3件)

- ① 上田博之, 松平光男, 井上芳光, 吸水シートを用いた局所発汗量測定の開発, 日本家政学会第63回大会, 2011年5月
- ② 井上芳光, 上田博之, 運動時における発汗量の身体部位差: 吸水シートを用いて, 日本生理人類学会第64回大会, 2011年6月
- ③ 上田博之, 細川実可子, 下田菜央, 井上芳光, 吸収シートによる局所総発汗量からその経時変化を推定する試み, 日本生理人類学会第66回大会, 2012年5月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 博之 (HIROYUKI UEDA)
大阪信愛女学院短期大学・看護学科・教授
研究者番号: 00203448

(2) 研究分担者

松平 光男 (MITSUO MATSUDAIRA)
金沢大学・教育学部・教授
研究者番号: 10142621

井上 芳光 (YOSHIMITSU INOUE)
大阪国際大学・人間科学部・教授
研究者番号: 70144566