

コルチゾールとアミラーゼ活性を指標とした 局所と全身の温熱的快適性評価

福岡女子大学 深 沢 太香子
(共同研究者) 九州大学大学院 梶 原 裕
Loughborough University George Havenith

Evaluation of Local and Whole Body Thermal Comfort Sensations Using Salivary Amylase Activity and Cortisol

by

Takako Fukazawa
Fukuoka Women's University
Yutaka Tochihara
Kyushu University
George Havenith
Loughborough University

ABSTRACT

Effect of local thermal discomfort upon whole body thermal comfort was examined in 12 healthy young females. In the experiment, skin wettednesses in the whole body and in different target locations of trunk, arms, and thighs, were simultaneously controlled using special test garments. The experiment conducted in a climate chamber controlled at 22 °C 45 %RH. The subjects kept rest condition for 15 min and walked at 4.5 km/h for 45 min. Evaluation of thermal comfort was made for both the local and the whole body thermal comfort during the experiment. Saliva was collected before and after the exercise in order to examine relevance of thermal comfort in the whole body to salivary amylase activity and cortisol. High tendency was obtained that local thermal comfort limit depends upon the location. The thermal comfort limit in the arms and the thighs were 0.13 ± 0.01 and

0.14 ± 0.02 in terms of the skin wettedness. They were both smaller than that in the trunk (0.25 ± 0.05). It was, however, observed that the thermal discomfort in the whole body was not induced when the skin wettedness in the whole body remained below 0.20 ± 0.08 even if the local skin wettedness was higher than its local comfort limit. Salivary cortisol did not reflect thermal comfort sensation in the whole body, while salivary amylase activity did. Amylase activity remarkably increased with thermal comfort state when the whole body felt slightly discomfort.

要 旨

本研究の目的は、局所と全身の温熱的快適性の関連性と、ヒトの温熱的快適性評価手法におけるアミラーゼ活性とコルチゾールの有効性について検証することである。12名の日本人若年女子を対象として、全身と局所の皮膚濡れ率を同時に制御して、温熱的快適性の評価と唾液の分析を行った。局所は、体幹、腕、大腿を対象部位とした。その結果、局所の温熱的快適性は、部位によって異なる傾向があること、腕と大腿における温熱的快適性の閾値は、体幹よりも小さく、敏感であることが示された。しかしながら、局所的な不快感は、全身の温熱的快適性には影響を及ぼさなかった。全身の温熱的快適性は、ホルモン作用の時間遅延により、コルチゾールには反映されなかったものの、アミラーゼ活性には反映されることがわかった。すなわち、アミラーゼ活性は、全身の温熱的快適性が維持された状態下での変動は小さいが、温熱的に不快な状態下では不快感に応じて増加した。これより、アミラーゼ活性は、交感神経系の直接作用により時間遅延の小さく、全身の温熱的快適性評価の指標と成り得る可能性が示された。

緒 言

暑熱環境や運動時における温熱的快適性は、皮膚温よりもむしろ、皮膚表面における湿潤状態が

主たる要因となる¹⁾。そこで、Gaggeら²⁾は、皮膚表面における湿潤状態を表す指標として、皮膚濡れ率 (w , (無次元数)) を導出した。この皮膚濡れ率は、温熱的快適性との相関性が非常に高く、全身の皮膚濡れ率が $w=0.3-0.4$ 程度に達すると、ヒトは温熱的な不快感を覚え始める^{3,4)}。このように、皮膚濡れ率は、ヒトの温熱的快適性の状態を知る有効指標⁵⁾ である一方、温熱的快適性の評価基準の個人差によって、快と不快の境界である皮膚濡れ率の閾値にはばらつきが大きいという問題がある。

近年、ストレスに関する客観的な心理計測技術が確立されてきた^{6,7)}。それによれば、ネガティブストレスを受けることにより、内分泌系ではコルチゾールは増加し⁸⁾、交感神経系ではアミラーゼ活性が亢進する⁹⁾。本研究では、これらのストレスマーカーに着目して、ヒトの温熱的不快感に起因する生体のストレス反応を、アミラーゼ活性とコルチゾール分泌活動の変動より客観的に評価し得るか、その有効性について検討することとした。同時に、温熱的快適性を実現するスポーツウェア設計に貢献する知見を得るために、局所と全身の温熱的快適性との関連性についても検討することとした。

1. 研究方法

1. 1 対象部位と実験用衣服の設計

局所と全身の温熱的快適性との関連性も検討す

るために、本研究では、衣服、運動と環境条件を設定することにより、局所と全身の皮膚濡れ率を同時に制御することとした。全身中、体幹 (Trunk : 胸, 腹, 背, 腰), 腕 (Arms : 上腕と前腕), 大腿 (Thighs) の3部位を対象の局所とした。これらの3対象部位は、ほぼ同一の体表面積を示す (後述の表1)。

皮膚濡れ率を制御する実験用衣服として、表1に示すように、それぞれの対象部位に水分不透過性フリース (ポリエステル), その他の部位には水分透過性の高いフリースより構成されたオーバーオール3種類 (Type A-C) を作成した。また、コントロールとして、全身が水分透過性フリースより構成されている実験用衣服 (Control) も作成した。いずれの実験用衣服の熱抵抗は、約0.5cloである。

1. 2 実験条件の設定

温熱的快適感が中立状態にある場合、その判断が難しいことが報告されている¹⁰⁾。そこで、全身の皮膚濡れ率 (w_{whole}) が0.35以上となるよう、4.5km/hの歩行運動¹¹⁾をさせることとした。この歩行運動による熱発生量 (約175W/m²)¹¹⁾と気流、実験用衣服の熱抵抗との関係および全身の湿り感を感知する絶対湿度¹²⁾を考慮して、環境条件¹³⁾は、22℃, 45%RH (絶対湿度10mmHg), 風速0.1-0.2m/sとした。

1. 3 被験者

事前に研究目的および実験内容に関する説明を

受けて、同意の得られた、健康な日本人女子学生12名 (年齢22.2±0.2歳, 身長161.5±2.9cm, 体重53.0±5.9kg, BMI20.3±1.9kg/m²) を被験者として選定した。被験者中5名は、2007年10月から11月に、残り7名は、2008年9月から10月に本研究に参加した。なお、被験者は、卵胞期間中の4日間実験に参加し、実験前日より、服薬と喫煙を控えさせた。

1. 4 実験の手順

実験は、環境条件に制御された風洞内にて、計65分間行われた。被験者は、ブラジャーとショーツ、実験用衣服、靴下、運動靴を着用した状態で、椅座安静を15分間保ち、実験開始20分後からトレッドミル上で歩行運動を45分間行った。

実験中、椅座安静を維持した15分直後 (Pre) と運動終了直後 (Post) に、生化学物質分析のための唾液の採取 (1.5分間) とアミラーゼ活性の分析 (ニプロ社, 唾液アミラーゼモニタ) を行った。採取した唾液は冷凍保存し、後日まとめてコルチゾールの分析 (Salimetrics社, 唾液コルチゾールELISA Kit ; BIO-RAD社, モデル680マイクロプレートリーダー) に供した。

実験中は、同時に、全身8部位の皮膚温を熱電対 (T型) で、5部位 (胸, 背, 上腕, 前腕, 大腿) の皮膚露点温度 (MSR社, MSR 12) を1分毎に測定した。また、主観申告として、全身と対象部位における温熱的快適感を5分毎に申告させた。なお、温熱的快適性評価には、7段階 (3 : とても快適, 2 : 快適, 1 : やや快適, 0 : どちら

表1 Target location and test garments

Test garment	Target location	Covered area with imp and p materials	
		imp*	p**
Control	non ***	0.0	80.5
Type A	Trunk	16.0	64.5
Type B	Arms	17.0	63.5
Type C	Thighs	18.0	62.5

* imp: percentage of body surface area covered with water vapour impermeable material

** p: percentage of body surface area covered with high water vapour permeable material

***: high water vapour permeable material covered the whole body excluding head, hands, and feet

でもない, -1: やや不快, -2: 不快, -3: とても不快) のリッカート尺度を採用した。ただし, 被験者の主観申告のしやすさを考慮して, 0.5刻みで評価することを許可した。

1. 5 統計処理

皮膚濡れ率は, Gaggeら²⁾に基づいて算出して, 実験時間65分間中, 5分毎に平均化した。本研究では, 各部位における皮膚濡れ率を体表面積比で加重平均したものを, 全身の皮膚濡れ率と定義した。図表中のデータは, 平均値±標準偏差で示した。

目的とするデータが得られているか検証するために, 実験時間中, 全身の皮膚濡れ率への実験用衣服による影響について, 5分毎に一元配置の分散分析より検討した。さらに, 実験終了前10分間の全身と各対象部位における皮膚濡れ率について, 実験用衣服による違いを一元配置の分散分析により検討した。局所および全身における皮膚濡れ率と温熱的快適感との相関を Pearson の相関を用いて検定して, 相関性が認められた場合には, 皮膚濡れ率を独立変数として, その温熱的快適性を従属変数とする回帰分析を行った。それより, 皮膚濡れ率を指標とした際の温熱的快適感の閾値を得た。局所の温熱的快適感の閾値については, 一元配置の分散分析を用いて部位差を検討した。唾液分泌量に対する運動前後と実験用衣服の影響について, 二元配置分散分析を行った。温熱的快適感とアミラーゼ活性とコルチゾールの相関を Pearson の相関を用いて検定した。いずれの統計分析には統計処理ソフト Statistica 03J (StatSoft 社)

を用いて, 有意水準を5%未満とした。

2. 結果

2. 1 得られた結果の検証

図1に, 全身の皮膚濡れ率 (w_{whole}) の経時変化を示す。実験時間中に示した w_{whole} は, 実験用衣服によらず互いに近似値を示した。実験終了前10分間における全身と対象部位の皮膚濡れ率を表2に示す。全身の皮膚濡れ率は実験用衣服による差はなく, $w_{whole}=0.31-0.41$ を示した。一方, 対象部位ごとの皮膚濡れ率は実験用衣服によって異なることが確かめられ, TrunkではType A着用時に, ArmsではType B着用時に, ThighsではType C着用時に有意に高値を示した。以上より, 全身の皮膚濡れ率には実験用衣服による差はないものの, 各対象部位の皮膚濡れ率には実験用衣服による違いが得られているという, 本研究におい

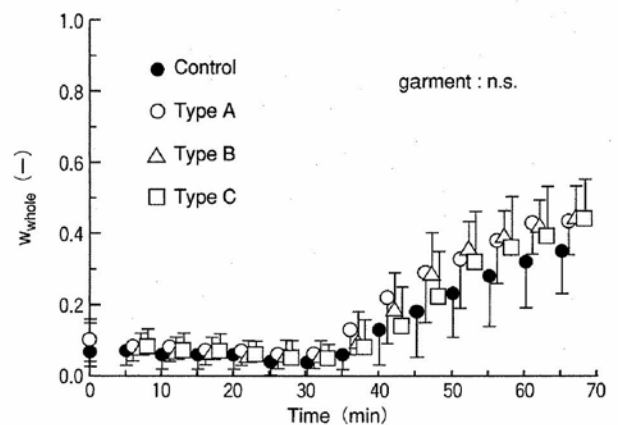


図1 Mean weighted skin wettedness in the whole body (w_{whole}) during the experiment. It can be concluded that w_{whole} in all the test garments are kept at similar level during the whole period of the experiment, because one-way ANOVA analysis shows that a main effect of the test garment is found to be not significant in every 5 min

表2 Skin wettedness for the last 10 min

Location	Test garment and target location				Significance among the test garments
	Control non	Type A Trunk	Type B Arms	Type C Thighs	
Whole body	0.31 ± 0.12	0.40 ± 0.09	0.41 ± 0.06	0.39 ± 0.12	n.s.
Trunk	0.51 ± 0.24	0.73 ± 0.24	0.61 ± 0.17	0.50 ± 0.22	p < 0.05
Arms	0.16 ± 0.11	0.18 ± 0.11	0.33 ± 0.11	0.14 ± 0.08	p < .001
Thighs	0.20 ± 0.08	0.24 ± 0.07	0.26 ± 0.07	0.50 ± 0.14	p < .001

て目的とするデータの得られていることを確認した。

2. 2 温熱的快適性と生化学物質

唾液分泌量は実験衣服による差は認められず ($p=0.99$), また, 運動前 ($Pre=2.031 \pm 0.703g / 1.5min$) と直後 ($Post=1.882 \pm 0.605g/1.5min$) の唾液分泌量にも有意な差は認められなかった ($p=0.28$). そこで, 本研究の範囲では, 運動による唾液分泌活動には影響がなかったと判断して, Pre と Post の区別をせずに, 温熱的快適感に対して示したアミラーゼ活性値とコルチゾールを図2と3に示す. アミラーゼ活性とコルチゾールの絶対値は, 個人差が大きいので, 対数変換して正規

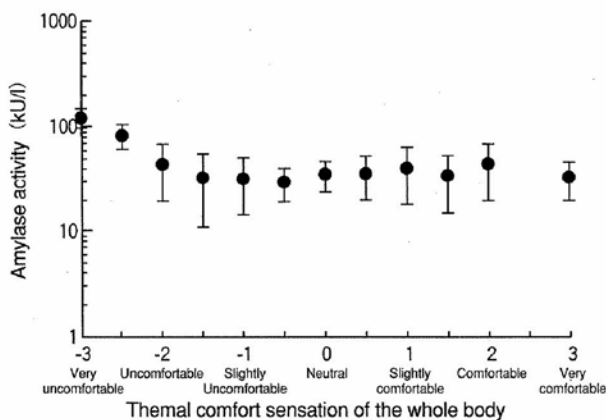


図2 Salivary amylase activity is plotted against thermal comfort sensation in the whole body. Change in the activity is remarkable if the body is in very to slightly uncomfortable states, while it is not in slightly uncomfortable to comfortable states

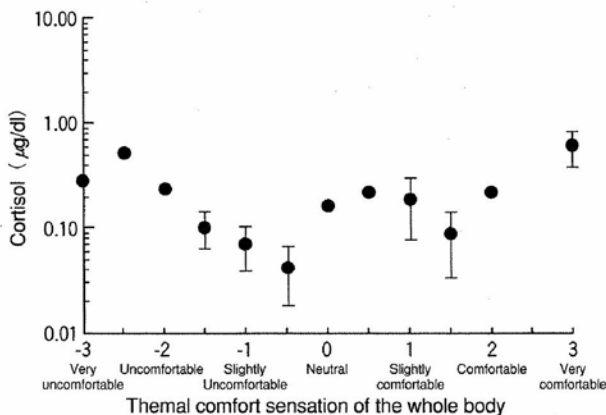


図3 Concentration of cortisol in saliva is plotted against thermal comfort sensation in the whole body. Dependence of cortisol upon the thermal comfort sensation is irregular

化した. 温熱的快適感とアミラーゼ活性とコルチゾールには, それぞれ高い相関性は認められなかった ($r=-0.05, r=0.25$). コルチゾールは, 快・不快の状態に対して不安定な値を示した. しかしながら, アミラーゼ活性は, とても快適な状態からやや不快となるまでは, 大きな変動がみられず, やや不快から, より不快な状態となるにつれて増加した.

2. 3 全身と局所の温熱的快適感の閾値

全身の皮膚濡れ率に対する温熱的快適感を, 図4に示す. 全身における皮膚濡れ率は, 実験用衣

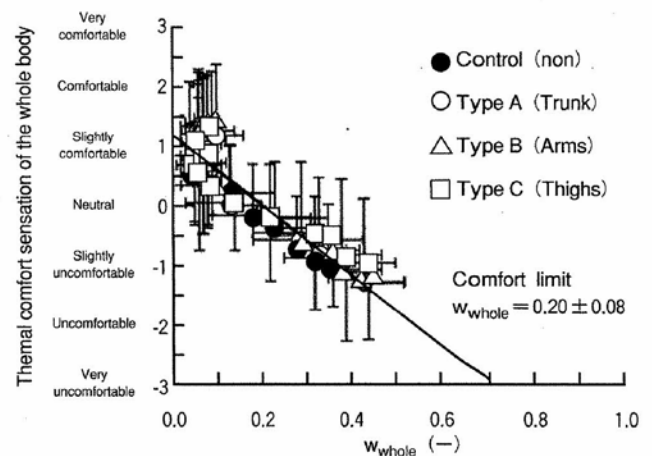


図4 Relation between the thermal comfort sensation and the skin wettedness in the whole body (w_{whole}). A high significant correlation can be found between the thermal comfort sensation and w_{whole} in all the target locations

服による違いのないことが確認されたので (表2), 全データを用いて皮膚濡れ率と温熱的快適感の相関性を求めた. その結果, 両者には $r=-0.93$ ($p<0.001$) の強い相関性が認められた. そこで, 全身における皮膚濡れ率を独立変数として, その温熱的快適性を従属変数とする回帰分析を行った. その結果, 両者の関係を式1で表すことができた. この式により, 温熱的快適感の閾値として, $w_{whole}=0.20 \pm 0.08$ が得られた.

$$\text{Thermal sensation in the whole body} = -5.879 \cdot w_{whole} + 1.186 \quad (1)$$

局所における皮膚濡れ率とその温熱的快適感には, Trunk では $r=-0.92$ ($p<0.001$), Arms では $r=-$

0.80 ($p < 0.001$), Thighsでは $r = -0.84$ ($p < 0.001$)の
高い相関が認められた。したがって、両者の関係を
を次式で表すことができた。

Thermal sensation at Trunk

$$= -4.093 \cdot w_{Trunk} + 1.166 \quad (2)$$

Thermal sensation at Arms

$$= -8.991 \cdot w_{Arms} + 1.169 \quad (3)$$

Thermal sensation at Thighs

$$= -5.899 \cdot w_{Thighs} + 1.017 \quad (4)$$

対象部位における温熱的快適感の閾値を図5に
示す。皮膚濡れ率を指標とした場合、局所の温熱

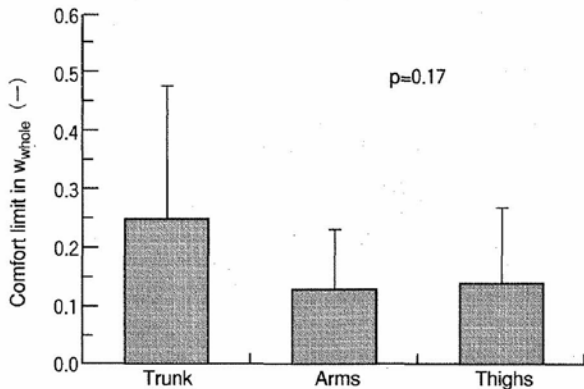


図5 Thermal comfort limit in terms of the skin wettedness for the target locations of Trunk, Arms, and Thighs. A tendency is observed that thermal comfort limit depends upon the location ($p = 0.17$)

的快適感の閾値は、 $w_{Trunk} = 0.25 \pm 0.05$, $w_{Arms} = 0.13 \pm 0.01$, $w_{Thighs} = 0.14 \pm 0.02$ であった。この局所の閾値には、有意な部位差は認められなかったものの、 $p = 0.17$ が得られたことから、温熱的快適感の閾値には部位差の存在する傾向が示された。

3. 考察

3.1 全身の温熱的快適感とアミラーゼ活性とコルチゾール

ヒトに刺激が加えられた際、その刺激に対応するために、中枢神経からの指令は、交感神経系や内分泌系を介して全身に伝達される。コルチゾールは、視床下部-下垂体から分泌される副腎皮質刺激ホルモンの作用を受けて、副腎皮質より分泌

される内分泌系ホルモンである。コルチゾールは、典型的なストレスの指標とされている⁶⁾。しかし、本研究では、温熱的に快適な状態に維持されていても、コルチゾールは高値を示す等、安定した値を示さなかった(図3)。その理由として、コルチゾールなどの内分泌系ホルモンは、刺激が付与されてから分泌までの時間遅延が考えられる⁹⁾。コルチゾールは急性ストレスに対して増加を示すが、その増加のピークは、ストレス負荷後の20分から30分後に現れる^{7, 14)}。つまり、ストレスに対する遅延時間より、得られたコルチゾールは、主観申告時の20-30分前における温熱刺激を反映したものと考えられる。

唾液アミラーゼは、交感神経の興奮により副腎髄質から分泌されるノルエピネフリンのホルモン作用により唾液腺からのアミラーゼ酵素の分泌が亢進される場合と、交感神経系の直接神経作用も受ける場合の2系統がある。直接的作用は、ホルモン作用よりも反応が著しく速く⁹⁾、不快なストレスを受けたときに増加する¹⁵⁾。本研究では、アミラーゼ活性と温熱的快適感には、有意な相関性は認められなかった。しかし、温熱的快適感が維持されている状態では、安定値を示して、温熱的不快感がやや不快な状態(-1.5)よりも不快となるにつれて増加していることから、交感神経系の直接作用を反映していると考えられる(図2)。

暑熱環境や運動中における温熱的快適感、皮膚温よりも皮膚表面上の濡れ状態に強く依存する¹⁾。本研究においても、全身の温熱的快適性と皮膚濡れ率には、非常に高い相関性が得られている。そこで、交感神経系の直接作用を反映しているアミラーゼ活性について、図2中の温熱的快適感を、式1より算出した全身の皮膚濡れ率(w_{whole})にて表し、図6に示す。なお、図中では、式1より算出された w_{whole} が0以上となったデータが示されている。

皮膚濡れ率の増加に対するアミラーゼ活性の変

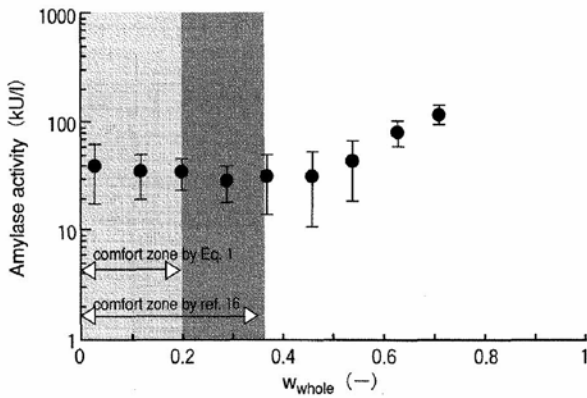


図6 Amylase activity is plotted against skin wettedness in the whole body (w_{whole}) calculated by equation 1. Remarkable increase in the amylase activity is induced when the w_{whole} exceeds 0.37, while the voted comfort limit in the whole body was much lower as $w_{whole}=0.20$

動は、皮膚濡れ率が $w_{whole} \leq 0.37$ では w_{whole} が 0.1 増加するのに対して約 4 ± 3 kU/l であり、殆ど変化しない。他方、 $w_{whole} > 0.37$ になると変動は急増し、 w_{whole} が 0.1 増加するのに対して約 34 ± 16 kU/l 変動する。

Nishi と Gagge¹⁶⁾ は、皮膚濡れ率による温熱的快適感の閾値は、熱産生にも影響を受けることを報告している。本研究で採用した運動条件の場合、熱産生量は約 175 W/m^2 となる¹¹⁾ ので、温熱的快適感の閾値は $w_{whole}=0.36$ となると推測される¹⁶⁾。この閾値は、アミラーゼ活性が急増し始める皮膚濡れ率の w_{whole} とほぼ一致する。また、本研究と同様のプロトコルで、白人若年男子を被験者とした全身の温熱的快適感の閾値 $w_{whole}=0.36$ とほぼ一致する⁴⁾。

しかし、本研究で得られた全身の温熱的快適感の閾値は、アミラーゼ活性の急増する w_{whole} とは異なり、 $w_{whole}=0.20 \pm 0.08$ であった。これは、上述の Nishi と Gagge¹⁶⁾ によると、椅座安静時の熱産生量に相当する約 53 W/m^2 で、実際よりも著しく小さい。日本人の若年女子の温熱的快適感や湿り感に対する感受性などが、著しく敏感な理由については今後の課題としたい。

3. 2 局所の温熱的快適感閾値の部位差

本研究において、局所の温熱的快適感の閾値には部位差のある傾向が得られた。四肢である Arms と Thighs の温熱的快適感の閾値は Trunk のそれよりも小値であり (図 5), Arms と Thighs は、Trunk よりも温熱的快適性に対して感受性の強い部位であることが示された。本研究では、皮膚濡れ率が温熱的快適感の主要因となることから、皮膚表面の湿り状態に対する感受性の影響を受けたと考えられる。Toftum ら¹⁰⁾ は、湿り感には部位差があり、腕の湿り感に対するヒトの感受性は胸や背よりも敏感であることを報告しており、本研究より得られた見解と一致する。

ヒトの湿り感受容器は、今のところみつからない。湿りを検知する機構として、蒸発による微細な皮膚温の変化を湿り感としてとらえていることが実験的に示されている^{17, 18)}。このことから、湿り感の感受性は、温度感受性の高低と類似するものと考えられる。その温度感受性の指標である温覚閾値は、若年女子の場合、胸や背においては $1-1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ でばらつきが非常に大きいのに対し、腕や大腿のそれは約 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 前後でばらつきが小さい¹⁹⁾。冷覚閾値についても同様で、体幹よりも四肢の閾値は小さく、温度変化に対して敏感である。以上より、体幹よりも四肢の方が湿り感の感受性の高い部位であると考えられ、皮膚濡れ率が支配的となる温熱的快適感にも部位差が存在したものと考えられる。

3. 3 局所皮膚濡れ率が全身の温熱的快適感に及ぼす影響

本研究では、実験用衣服 Type A から C 着用時中において、各々の対象部位の皮膚濡れ率は、有意に高値を示し (表 2), 一方、全身の皮膚濡れ率には実験用衣服による差は認められず、目的とするデータが得られた (表 2 と 図 1)。全身の温熱的快適感の閾値は、実験服に依らず式 1 として

表すことができることは、全身の皮膚濡れ率が温熱的快適な状態に維持されている場合、局所的な不快感は、全身の温熱的快適感にほとんど影響を及ぼさないことを示唆している。

全身の温熱的快適感に対して、頭部や顔と手は、最も影響のある部位である²⁰⁻²²⁾。本研究では、頭部と手は環境に暴露された状態であった。これらの部位は、実験中、温熱的に快適な状態が維持されたことにより、対象部位における不快感が全身の温熱的快適感には反映されなかったことも一因であると考えられる。

4. まとめ

日本人の若年女子における局所の温熱的快適感の閾値は、部位差のあることが明らかとなった。皮膚濡れ率を指標とした場合、腕や大腿における温熱的快適性の閾値は、それぞれ $w=0.13 \pm 0.01$ と 0.14 ± 0.02 であり、体幹の閾値 ($w=0.25 \pm 0.05$) よりも小さい。しかしながら、局所の温熱的不快感が全身の温熱的快適感に及ぼす影響は小さく、全身の皮膚濡れ率が 0.2 ± 0.08 以下であれば、全身の温熱的快適感に維持される。ストレスマーカーである唾液アミラーゼ活性は、温熱的に快適な状態が維持されている場合には、皮膚濡れ率に対する変動が小さい。一方、温熱的に不快な状態下では、皮膚濡れ率の増加に応じて増加する傾向が得られた。これより、アミラーゼ活性は、温熱的快適性評価の指標に成り得ることが示された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、被験者の方々と福岡女子大学人間環境学部 清水 紡さんと福山理絵さんには、多大な御協力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。本研究を遂行するにあたり、研究助成を賜りました(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Winslow, C. E. A., Herrington, L. P., Gagge, A. P.: Physiological reactions and sensations of pleasantness under varying atmospheric conditions. *ASHVE Transactions*, 44, 179-194 (1939)
- 2) Gagge, A. P.: A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration. *Am. J. Physiol.*, 120, 227-287 (1937)
- 3) Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J., Nishi, Y.: The prediction of thermal comfort when thermal equilibrium is maintained by sweating. *ASHRAE Trans.*, 75, Part II 108-122 (1969)
- 4) Fukazawa, T., Tochihara, Y., Havenith, G.: Regional differences in human thermal comfort limit, The 21st Century COE Program, Proceeding of The 2nd International Symposium on Design of Artificial Environments, pp. 24-27 (2007)
- 5) Havenith, G., Holmér, I., Parsons, K.: Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energy and Buildings*, 34, 581-591 (2002)
- 6) 山口昌樹, 新井潤一郎: 生命計測工学, コロナ社, 東京, pp. 137-155 (2004)
- 7) 井澤修平, 城月健太郎, 菅谷渚, 小川美奈子, 鈴木克彦, 野村忍: 唾液を用いたストレス評価—採取及び測定手順と各唾液中物質の特徴—, 日本補完代替医療学, 4, 91-101 (2007)
- 8) Miki K, Kawamorita K, Araga Y, Musha T, Sudo A: Urinary and salivary stress hormone levels while performing arithmetic calculation in a noisy environment, *Industrial Health*, 36, 66-69 (1998)
- 9) 山口昌樹, 花輪尚子, 吉田博: 唾液アミラーゼ式交感神経モニタの基礎的性能, 生体医工学, 45, 161-168 (2007)
- 10) Toftum, J., Jørgensen, A. S., Fanger, P. O.: Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin. *Energy and Buildings*, 28, 1-13 (1998)
- 11) ISO 8996: Ergonomics- Determination of metabolic heat production, ISO, Geneva (1990)
- 12) 潮田ひとみ, 青木敦子, 中島利誠: むれ感覚の評価因子, 織消誌, 36, 162-164 (1995)
- 13) ISO 7730: Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO, Geneva (1995)

- 14) Kudielka, B. M., Buske-Kirschbaum, A., Helhammer, D. H., Kirschbaum, C.: HPA axis responses to laboratory psychosocial stress in healthy elderly adults, younger adults, and children: impact of age and gender, *Psychoneuroendocrinology*, 29, 83-98 (2004)
- 15) 辻 弘美, 川上正浩: アミラーゼ活性に基づく簡易ストレス測定器を用いたストレス測定と主観的ストレス反応測定との関連性の検討, 大阪樟蔭女子大学人間科学研究紀要, 6, 63-73 (2007)
- 16) Nishi, Y., Gagge, A. P.: Effective temperature scale for use in hypo- and hyperbaric environments. *Aviat. Space Environ. Med.*, 48, 97-107 (1977)
- 17) 小柴朋子, 田村照子: 皮膚濡れ感の支配要因, 織消誌, 36, 119-124 (1995)
- 18) 田村照子, 小柴朋子: 人体の湿り感覚 (第1報) -全身の湿り感覚感受性-, 織消誌, 36, 125-131 (1995)
- 19) 内田幸子, 田村照子: 高齢者の皮膚における温度感受性の部位差, 日本家政学会誌, 58, 579-587 (2007)
- 20) Zhang, H., Huizenga, C., Arens, E., Wang, D.: Thermal sensation and comfort in transient non-uniform thermal environments. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92, 728-733 (2004)
- 21) Boutcher, S. H., Maw, G. J., Taylor, N. A. S.: Forehead skin temperature and thermal sensation during exercise in cool and thermoneutral environments. *Aviat. Space Environ. Med.*, 66, 1058-1062 (1995)
- 22) Kato, M., Sugeno, J., Matsumoto, T., Nishiyama, T., Nishimura, N., Okagawa, T., Yonezawa, H.: The effects of facial fanning on thermal comfort sensation during hyperthermia. *Pflügers Arch.*, 443, 175-179 (2001)