

生理反応からの快適性研究のアプローチ

— 皮膚温熱画像解析による衣服圧刺激が人体に及ぼす影響 —

The Effect of Pressure Stimulation with Wear and Thermology upon Skin Temperature

石倉 信作* 山本 貴則*
Shinsaku Ishikura Takanori Yamamoto

山前 直子** 山名 信子**
Naoko Yamamae Nobuko Yamana

(1993年11月2日 受理)

We studied on the physiological effects of the compression in lower limbs upon the changes of skin temperature. The test was made on ten female subjects wearing the different elastic supports type of panty-stocking (PS). The skin temperature was measured by using thermogram.

Main results are summarized as follows :

- 1) Skin temperature of hands was increased by wearing PS.
- 2) The compression in the lower limbs with PS alter the mechanism of body temperature regulations as a consequence of the stimulation of the pressure receptor.
- 3) Thermography can be a possible measure for giving physiological indices of the pressure in wear, because the skin temperature differed in compliance with each types of PS.

1. 緒 論

身体が衣服によって圧迫されると、衛生的および運動機能面に影響が生じるばかりでなく、快適感あるいは不快感など種々の感覚が生じるとされる。

身体に適合した衣服圧を設定することは、製品用途や機能性にとって衣服設計の重要ファクターとなる。衣服圧を積極的に取り入れた製品には、スポーツウェア、整容下着、靴下、サポータ、パンティストッキングなどがあり、これら製品は身体への圧迫作用や機能により、運動機能性、美的整体、美的表現としての用途から医療用まで幅広く応用されている。それらの製品は標準的なサイズで設計されている。しかし人間の体型、サイズは一様でないため、ある意味の最適衣服設計とはいえず、人によっては不快感覚^{1,2)}や作業能率の低下³⁾をもたらす。

そのため体型にあった最適衣服圧を設定することは、不快感を解消できると共に快適性製品の開発にもつながる。

一般に皮膚表面にある圧覚が刺激されると、刺激が脳部位の頭頂葉にある感覚皮質へと伝達され認知される。一方、皮膚圧迫は種々の自律機能に影響を及ぼすことが知られている。例えば、高木ら^{4,5)}は半側の側胸部を局所的に圧迫すると、皮膚血管運動や発汗が変化することを示した。皮膚血管運動が変化するならば、皮膚血管運動を反映する皮膚温変化から皮膚圧迫の程度を評価することが可能であろう。

本研究は、衣服圧に対する生理的变化をサーモグラフ⁶⁾を用いて迅速に定量化することが可能かどうかを検討するために、下肢部を例として種々圧迫強度を変えて圧迫したときの皮膚温変化を考察した。

皮膚圧迫と皮膚温との関係については多くの研究があるが、いずれも接触型による皮膚温の点計測であった。しかし、最近になって、広領域の温度情報を二次元でしかも迅速に計測および評価できるサーモグラフ（赤外放

* 生産技術部 繊維生産技術研究室

** 京都女子大学 家政学部 生活造形学科

射温度計)が臨床診断に利用されている。これまでサーモグラフィの衣服への利用は、着衣時の身体の皮膚温計測では表面熱放射しか計測できない難点から2, 3の応用例^{7,8,9)}しか見られなかった。最近、圧迫を対象とした杉本¹⁰⁾らによる報告がわずかにあるだけである。

* 1: サーモグラフィは、熱画像解析としての撮像手法であり、サーモグラムは熱画像そのもの、サーモグラフィは撮像装置を指す^{11,12)}。

2. 実験方法

(1) 実験方法

本実験では、ハンテイストッキング(以下、PS)の下肢部への身体圧迫の場合に、人体各部位での皮膚温の生理的反応を検討した。

PSは長時間着用するものであるが、人間が身体圧迫による外部刺激に対し顕著に体温調節作用として刺激インパルス応答が生じる過渡時間は20分前後とする報告²⁾もあることから、着用時間は20分間に設定した。計測は、着用前、着用直後、5分、10分、20分目、そして脱衣後は直後、脱衣10分、20分目をサーモグラフィで測定することとした。

(2) 試験試料

PSタイプは、それぞれ足首、下腿、大腿部で衣服圧が異なるサポートPS、ハイサポートPSの2タイプと足首、膝部、大腿部、ハンティ部のみを局部的に圧迫する足首圧迫PS、膝部圧迫PS、大腿部圧迫PS、ハンティ部圧迫PSの4タイプの計6タイプである。各PSタイプの衣服圧構成を、表1に示した。

表1 PSの衣服圧構成
The pressure in wear with each PS.
(mmHg)

タイプ	足首部	下腿部	膝部	大腿部
ハイサポートPS	9	7	7	5
サポートPS	7	5	5	3
足首圧迫PS	9	3	3	3
膝部圧迫PS	3	7	7	3
大腿部圧迫PS	3	3	3	5
ハンティ部圧迫PS	3	3	3	5

(以下、ハイサポート、サポート、足首部PS、膝部PS、大腿部PS、ハンティ部PSで呼称)

(3) 測定装置と解析処理速度

測定環境は、外乱の赤外線の影響を受けないよう恒温暗室とした。これは、臨床診断で用いるサーモグラフィ解析の環境条件に準拠した。測定装置は、JIS T-1141による医用赤外撮像装置に準拠したNEC三栄製6 T62医用サーモグラフィ解析システムを使用した。

人体皮膚温は、測定距離2.5mで測定した。計測精度

は、次の仕様で解析した。

- 1) 最小検知温度差: 30℃黒体炉にて0.1℃で測定し、解析は、S/Nを0.025℃まで改善した。
- 2) 最小検知寸法: 測定距離1mで1.74mm幅、10mで15mm幅確保
- 3) 色分解能: 64色、64階調
- 4) 熱画像一面面取込みフレームタイム1秒
- 5) 熱画像データ個数は、全体で256×207ドット

(4) 被験者

被験者は、健康成人女子10名(21~27歳)を対象とした。実験環境は、温度27±1℃、湿度60±5%の至適温度領域内³⁾(26~28℃)にて、ブラジャーとショーツで少なくとも30分前から安静にし、外部刺激の影響を受けないよう留意した。

個体差に対する取扱については、各被験者のPS着用前後における皮膚温の増減変化率を算出し、10人の平均値を代表値で示した。なお皮膚温の増減変化率(kn)は、各被験者の下肢部圧迫前の皮膚温をT_{s1n}とし、PS着用で下肢部圧迫後と緩和後の皮膚温をT_{s2n}としてknを求めた。そして10人の平均値K10を代表値で示した。

$$\text{増減変化率kn} = \frac{T_{s2n} - T_{s1n}}{T_{s1n}} \times 100 \quad (n = 1 \sim 10)$$

$$\text{平均値K10} = \sum_{n=1}^{10} kn / 10 \quad (n = 1 \sim 10)$$

* 2: 至適温度領域とは、暑くも寒くもない環境温度状態で、産熱と放熱が釣り合った温度域を総称する。

(5) 平均皮膚温算出法と統計処理

本装置システムは、画像処理機能があり熱画像データから任意部分の温度が検出可能なため、全被験者正面の裸体にて計測可能な、上半身、上肢部、腹部、左右手掌部位を領域別に個々に平均皮膚温を算出した。さらに各被験者10人の平均値によって、部位別の平均皮膚温とした。PS装着による平均皮膚温変化の有意差は、16色階調にて皮膚温(約1200ドットデータ)差をt検定した結果では、0.3℃差(変化率で約1%)は信頼度が0.001で高度な有意差、0.1℃差(変化率で約0.33%)でも信頼度0.05で有意差があるといえる。

3. 結果

(1) 身体圧迫効果と人体サーモグラフィ

PS着用による人体サーモグラム(以下、熱画像)を図1に示した。左縦列はサポートPS、右縦列はハンティ部圧迫PSを着用した後の経過時間による熱画像パターン変化を示す。サポートPS(図左)では、着用5分を経過してから熱画像パターンに変化が現れ、上半身部の皮膚温は上昇した。ハンティ部圧迫PS(図右)でも、着用後は

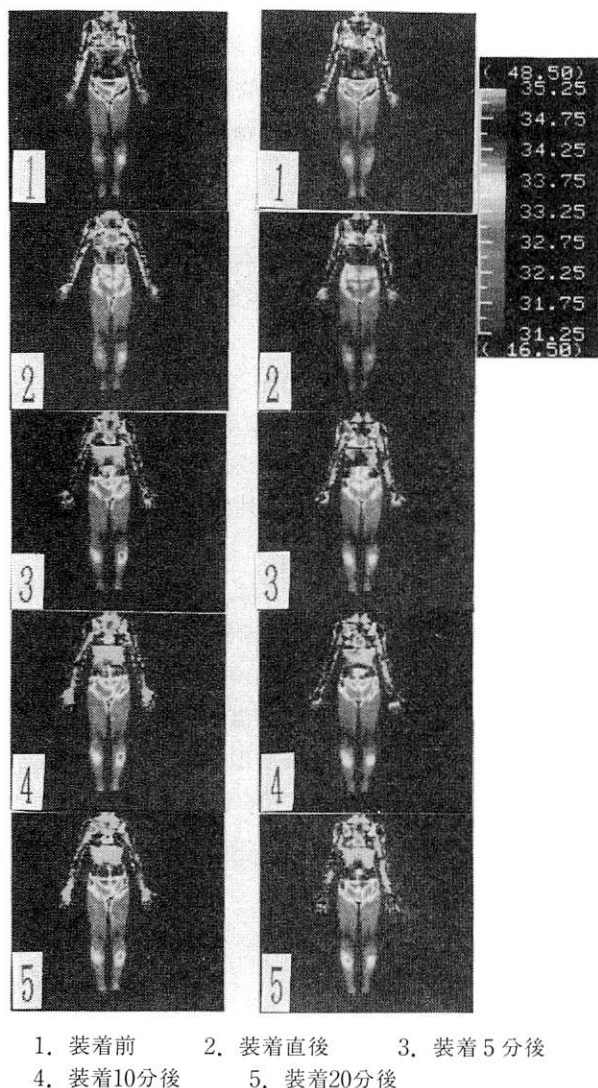


図1 PS着用における人体サーモグラム (左縦列; サポートタイプ, 右縦列; パンティ部圧迫タイプ) Thermogram of the human body with PS. Left part is the support PS and right part is compression PS in the region of the pants.

サポートPSと同様に上半身の皮膚温が上昇した。すなわち下肢部圧迫により、上半身部の皮膚温に何らかの影響を及ぼしている現象が熱画像から観察できた。なお、下肢部の皮膚温変化は、PSで下肢部を被覆しており圧迫に対しての真の皮膚温は熱画像解析から観察できなかった。

これらの現象から、下肢部への圧迫部位と圧迫強度により、皮膚温に及ぼす変化に違いがあるか検討した。圧迫強度、圧迫部位の異なる各PSタイプを用いた場合の皮膚温変化を熱画像解析した。図2は、下肢部を各タイプPSで身体圧迫した時の着用前、着用後5分、10分間隔、脱衣後の上半身部の平均皮膚温変化を、着用前の値を基準とした変化率で示した。図中の平均皮膚温変化は、PS着用前の皮膚温をゼロとし、皮膚温上昇はプラス(+)変化率を、皮膚温下降はマイナス(-)変化率を表わしている。下図は、圧迫強度を足首、膝、大腿、パンティ

部で局部的に強くしたPSを着用した場合である。サポートPSとハイサポートPSを比較すると(図上)、両PSタイプとも着用直後にわずかに皮膚温が下降する傾向にあるが、装着5分後では皮膚温が上昇していた。そしてその後10分、20分後も皮膚温は着用前よりも高い状態を維持した。また脱衣後は緩やかに皮膚温が下降したが、20分後でもPS着用前の元の状態には戻らなかった。なおハイサポートPSで、皮膚温変化がやや高く上昇する傾向にあった。

同じく、下図は局部圧迫PSの4タイプ着用で、足首、膝、大腿圧迫タイプは、着用後から皮膚温は上昇し20分経過しても装着前よりも高い状態を維持した。ただパンティ部圧迫PSで、着用直後、5分後で皮膚温が下降していたが、10分後、20分後では皮膚温は上昇していた。

以上、下肢部への各PS着用による違いで、上半身部の平均皮膚温の上昇が観察された。しかし各PSタイプ着用による平均皮膚温変化の違いの有意性は、熱画像解析から得られなかった。そこでPS着用による下肢部圧迫で、左右の手掌部位の皮膚温が顕著に上昇している点に着目した。すなわち、左右手掌部位の皮膚温変化が圧迫強度や圧迫部位によって異なるかどうかを検討した。

(2) 各PS装着時の手掌部位の皮膚温変化

図3は、下肢部を各タイプPSで身体圧迫する着用前、

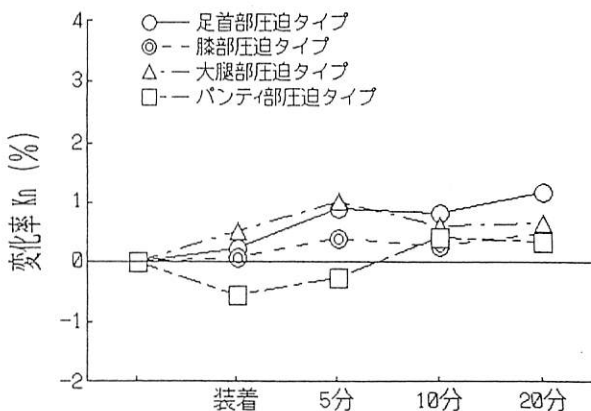
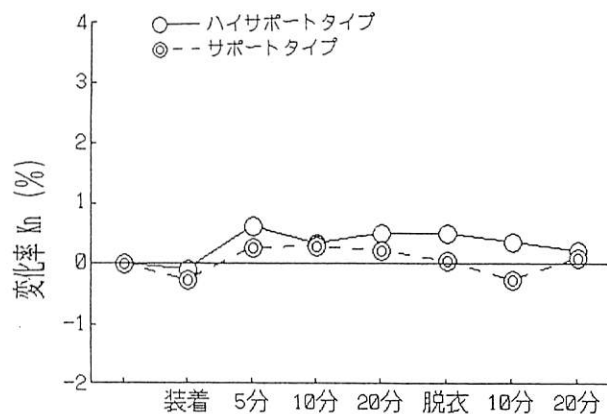


図2 各タイプPS着用における上半身皮膚温の変化

The changes of the upper half of the body temperature with each PS.

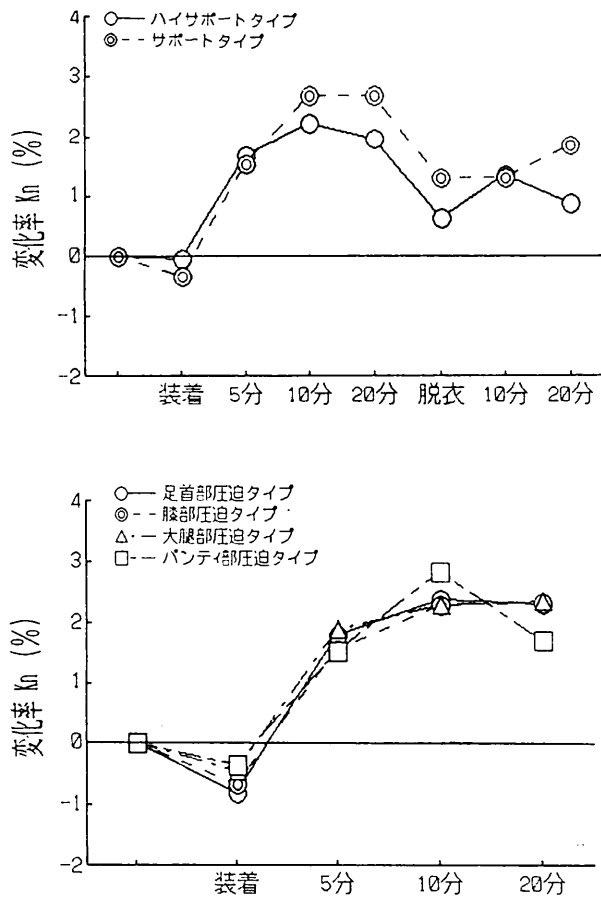


図3 各タイプPS着用における右手掌部皮膚温の変化
The changes of right palm temperature with each PS.

着用直後、着用5分、10分、20分後と脱衣直後、脱衣10分、20分後の右手掌部の皮膚温変化を示した。

サポートPSとハイサポートPSを比較すると、両PSタイプとも着用直後でわずかに右手掌皮膚温が下降した。そして、着用5分後では右手掌皮膚温が有意に上昇し、その後、10分後、20分後まで有意に高い状態を維持した。また脱衣直後の右手掌皮膚温は下降したが、脱衣10分、20分後でも着用前の状態に戻らず、右手掌皮膚温は高い状態を維持した。

一方、下図は足首、膝、大腿、パンティ部で局部的に強くした4タイプのPSを着用した場合の右手掌皮膚温の変化のグラフである。4タイプの局部圧迫タイプのPS着用とも、着用前に比べて着用直後の右手掌皮膚温は下降していた。そして着用5分、10分、20分後で、着用前よりも有意に右手掌皮膚温が上昇しており、高い状態を維持した。

以上、圧迫強度、圧迫部位が異なるPSタイプ着用の身体圧迫により、手掌皮膚温の変化に違いが生じていることがわかった。すなわち、下肢部への圧迫強度や圧迫部位の違いを手掌皮膚温の変化率として捉えることが可能であり、熱画像解析による圧迫に対する皮膚温測定の有用性を示唆している。

(3) 片脚部加圧による上肢部の皮膚温変化

(1) および(2)の実験はいずれも両下肢部を共に圧迫した状態で行った。そこで、片方の下肢部のみを圧迫しても上述の結果が得られるものなのか検討した。

図4は、左足首部だけをサポートで局部圧迫した圧迫前後の人体熱画像パターンと手掌部位だけを拡大した熱画像パターン例で示した。左足首部のみサポートで局部圧迫したにもかかわらず、圧迫後5分経過して左右の前腕から手掌部にかけて皮膚温は上昇し、圧迫後10分経過でも顕著に手掌皮膚温が上昇していた。同じような現象は、左膝部だけをサポートで局部圧迫した場合についても観察された。

次に、片脚部の足首部もしくは膝部を局部圧迫した場合に、圧迫前との手掌皮膚温変化と左右の手掌差に違いがみられるか検討した。図5は、左足首(上図)、左膝部(下図)を、それぞれ圧迫前と圧迫後の左右手掌部位の平均皮膚温を算出し、ヒストグラムで示している。図中のタテ軸は、サポート圧迫前の皮膚温をゼロとし圧迫5分後、10分後に上昇、下降した左右手掌部位の平均皮膚温を変化率(%)として算出し、ヨコ軸は圧迫時間で示している。それぞれ足首部、膝部を圧迫した5分後で、わずかに皮膚温変化の増減がみられたが、装着前と比べt検定から、皮膚温変化、左右差変化の有意差は得られなかった。しかし圧迫後10分経過した状態では、圧迫前、圧迫5分後に比べ手掌皮膚温が顕著に上昇し、t検定から皮膚温変化が高度な有意差が得られた。しかし左右差変化では有意差はなかった。この結果から、下肢部への身体圧迫は両脚部もしくは片脚部の圧迫でも、上肢部の左右の手掌皮膚温に影響をもたらすことがわかった。

4. 考察

本研究の目的は、個体差に応じた最適な被服圧設定ができないかということである。この研究を行った主旨として、最近のPSは衣服圧を高めて脚線美を表現することに主眼をおいている傾向がある。そのためPSなどによる圧迫で、生体に何等かの生理的影響をもたらしているのではとの疑問からである。PS着用による圧迫で皮膚温変化に何等かの影響をもたらすとすれば、ヒトにとって最適な被服圧を考える上で、皮膚温変化の計測が意義あるものと考えられる。

そこで、一定圧迫条件のPS着用により、下肢部に圧迫を加えて実験した。そして身体各部位の皮膚温がどのように変化するか検討した結果、特に手掌皮膚温が着用直後で一時的に下降する傾向にあった。その後、圧迫5分後で上昇し、圧迫の間(20分間)上昇傾向にあった。そしてPS脱衣後も、手掌皮膚温の上昇が続いた。

次に、PS圧迫強度をそれぞれ足首、膝、大腿、パンティ

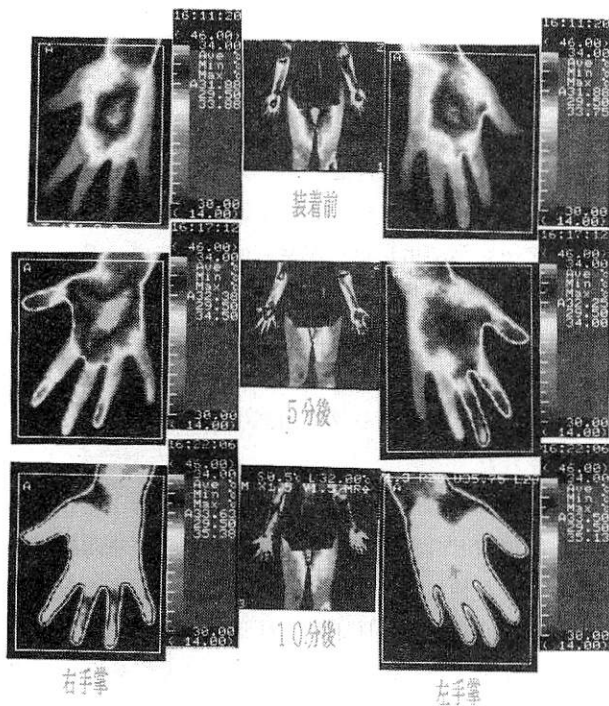


図4 サポータによる左足首部の圧迫が手掌部の皮膚温に及ぼす影響

The effects of left-ankle compression with supporter upon the palm skin temperature.

部で局部的に強くした場合、手掌皮膚温の変化を検討したところ、いずれの場合でも手掌皮膚温は上昇する傾向にあった。さらに個体差でバラツキはあったが、個々の手掌皮膚温の変化に特徴が得られた。特にパンティ部、膝部圧迫PSを着用した場合は、手掌皮膚温変化が高い傾向にあった。

これまでの圧迫と皮膚温変化に関する研究では、久野¹³⁾の圧迫部の対称対側が発汗するという報告があり、高木^{1,5,6,14)}はそれを皮膚圧迫による半側発汗反射とした。これは、左腋窩部と右尻部を同時に圧迫した時に生じる交叉性の半側発汗反射である。この場合、皮膚温におよぼす圧の影響が消失せず、余韻が10分程度まで持続するとしている。齊藤¹⁵⁾も両腋窩部への圧迫による発汗抑制と一致する発汗反射では、発汗は圧迫がなくなると、すぐに元の状態に戻る。しかし皮膚温に及ぼす圧迫の影響では、圧迫が除去された後でも消失することはなく、10~20分間持続すると報告している。また河合¹⁵⁾は、側胸部片側あるいは両側を圧迫したときの鼻甲介温は上昇し、対側は下降する。そして両側圧迫時は左右とも下降するが10~15分で元に戻るとして、半側発汗反射の挙動とは違う点を報告している。圧迫の強さが強いとき、除圧後も温度上昇の効果も続くとし、発汗反射における除圧と同時に発汗が減少する傾向とは異なるとしている。さらに伊藤¹⁵⁾は前腕、下腿圧迫時の圧迫より先端の皮膚温を測定したとき、圧迫側と同じ側の皮膚温は下降し、

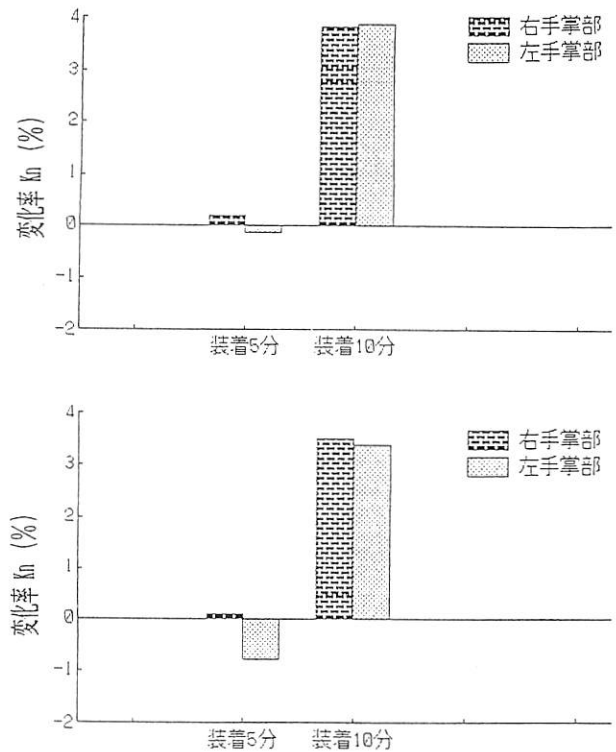


図5 サポータによる局部圧迫時の手掌部皮膚温の変化
上図：左膝部圧迫 下図：左足首部圧迫

The changes of palm skin temperature on partial compression with supporter. ; The compression parts are left knee in the upper figure and left ankle in the lower figure.

対側皮膚温は上昇すると報告している。本研究における、圧迫による手掌部の皮膚温変化は上述の研究結果と一致する。

さきに述べたように、圧迫による皮膚温や鼻甲介温、発汗の変化は、圧迫部位により異なった挙動を示す場合と、圧迫部位が異なっても共通の挙動を示す場合がある。

本研究では、下肢部の全体領域を、両側圧迫した状態であるが、PS圧迫により上半身の皮膚温は直に上昇した。その上昇の変化はサーモグラフにより熱画像として顕著に現れたが、部位により、特に上肢部の手掌部の皮膚温で顕著に現れた。ただ手掌部に限れば、圧迫直後は個体差により皮膚温が上昇か下降のいずれかに分かれた。そしてその後は皮膚温は上昇し、脱衣後は下降する傾向にあるが手掌皮膚温は元の状態に戻らなかった。また局部圧迫による皮膚温変化でも、個体差で皮膚温変化が異なるが、圧迫部位によって皮膚温変化に違いが見られた。

皮膚温の上昇は皮膚血流量の増加を反映し、その増加の大部分が体温調節機構の作用メカニズムに帰因する。ここで皮膚、特に手の血管には豊富な交換神経支配の収縮性神経(α-アドレナリン作動性)があり、この血管拡張は高温環境下で神経の緊張低下に起因する¹⁴⁾。

本研究は、至適環境温であり、この皮膚温上昇は、PSの被覆保温によるものでなく、圧迫に関係した皮膚温上

昇であると考えられる。すなわち、PS装着による下肢部への身体圧迫は、下半身に対する上半身への圧-発汗反射が生じ、上半身の皮膚温が変化すると推測した方が妥当と考えられる。さらに下肢部の片脚側への局部加圧によっても、左右の下肢部圧迫に関係なく上部の手掌皮膚温が上昇している。このことから、下肢部への圧受容器刺激による上半身への圧-発汗反射現象を裏付けている。

久野¹³⁾は、温熱性刺激による場合、刺激後から皮膚温が上昇するまでおよそ10~20分程度の潜伏時間があり、温度上昇は漸進的である。しかし精神的刺激による場合は、刺激直後すぐに反応して皮膚温が上昇する。ただしその持続は刺激が加えられている時間だけで、刺激除去直後では直ちに元に戻ると報告している。また、緒方と市橋¹⁴⁾は、最初、姿勢の変化により温熱性だけでなく、精神性による発汗の影響もあるとしている。

林¹⁵⁾らは、圧反射作用に影響を与える場合としてマイナー法で手掌部の発汗を確認している。精神的ストレスによる暗算計算や電気的刺激による緊張下で、片方腋窩部を圧迫したときの未圧迫側の手掌部に発汗増加が生じる。座った姿勢でも、足裏のわずかな痛覚刺激でさえ、精神性発汗が生じる。したがって、PS圧迫直後で見られる個体差による手掌皮膚温の下降は、精神性発汗に対する“圧-発汗反射”の考え方を示唆している。

本研究で、手掌皮膚温は圧迫直後では一時的に下降する傾向にある。その後は10分、20分後皮膚温は上昇状態にあった。そして脱衣後は、やや下降する傾向にあるが元の状態にもどらず、個体差によっては皮膚温が上昇したままか、下降する傾向を示した。手掌皮膚温は、通常、温熱性発汗は生じないと言われている。しかし今回のPS圧迫による手掌皮膚温の上昇は、個体差により精神性刺激と温熱性刺激の両方を受けている場合もあると推測される。これはPS装着による圧迫初期で精神性の興奮による圧-発汗反射が発現する被験者と発現しない被験者に分かれたことである。すなわち発汗が発現した被験者は、発汗に伴う影響で手掌皮膚温が低下した¹⁶⁾ためと推測した。その後圧迫時間の経過に伴い手掌皮膚温が上昇し、温熱性刺激に関係するものに切り替わるのではないかと推測した。杉本¹⁰⁾らは感覚受容器のルフィニ小体と温覚との関係を論じ、精神性刺激と温熱性刺激の切り替わりについて報告している。

PS着用時における官能感覚から、圧迫が精神的な緊張をもたらす自律神経系に影響を及ぼしていることも推測される。すなわち圧迫による拘束感の精神的緊張¹⁷⁾が、交感神経系の収縮性 α -アドレナリン作動性を抑制させ、手掌部の皮膚血流量をさらに増加させていることが推測される。今後は、PS着用時に官能評価を行ない、精神的

緊張程度と圧迫条件による違いを反映する手掌皮膚温の変化との関係を検討する必要がある。

5. 結 論

下肢部への身体圧迫が安静時の人体部位の皮膚温変化パターンにどのような生理反応をもたらしているか、異なった衣服圧と局部圧迫部位を持つPS装着後の人体各部の皮膚温に及ぼす影響をサーモグラフィ解析した結果、次のことが明らかになった。

(1) 人体サーモグラフィから、PS各タイプによる下肢部への身体圧迫で、上半身の特に手掌皮膚温を上昇させる現象が認められた。

(2) 手掌部皮膚温が上昇した理由として、下肢部への身体圧迫が、圧受容器を刺激して自律神経系の交感神経の緊張を低下させると推測した。

(3) PS各タイプにより、手掌皮膚温の上昇変化に違いがあることがサーモグラフィ測定からわかった。

これはサーモグラフィ皮膚温計測により、PSの衣服圧設計が利用可能であることを示唆している。

6. 最後に

本研究に際して、試料提供および被験者としてご協力頂いた(株)福助、京都女子大学の山名研究室の諸氏に厚く謝意を述べます。

参 考 文 献

- 1) 生田則子, フェンデーションの衛生学的研究, 第1報, 主観, 衣服気候および衣服圧への影響, 日本衛生学雑誌, 25, 344-691 (1970)
- 2) 大築立志, 登倉尋實, スポーツウェアによる身体圧迫が随意反応時間に及ぼす影響, デサントスポーツ科学, 14, 93-99 (1993)
- 3) 生田則子, 衣服による軀幹部圧迫の影響について—筋電図を中心とする検討, 山口大学教育学部研究論文, 26, 117-129 (1977)
- 4) 高木健太郎, 日本生理学雑誌, 11, 137-141 (1949)
- 5) 高木健太郎, 生体の調節機能, 中公新書, 東京, 中央公論社, 1979, p.28.
- 6) 高木健太郎, 「やぶにらみ」の生理学, 健友館, 1992, p.36-57.
- 7) 田村照子, 日本家政学会誌, 31, 461-463 (1980)
- 8) 渡辺ミチ, 田村照子, 日本衛生学雑誌, 34, 216-223 (1979)
- 9) 田村照子, お茶の水医学雑誌, 31, 225-241 (1983)
- 10) 杉本弘子, 奈良医学雑誌, 42, 509-518 (1991)
- 11) 日本電気三栄レポートNo.37, 医用サーモグラフィの原理と応用, 1988, p.2.

- 12) 藤正 巖. サーモロジ臨床診断学. BME, 3(7), 3-8 (1989)
- 13) 久野 寧. 汗の話. 東京, 光生館, 1981, p.48-54.
- 14) 中山昭夫. 温熱生理学. 東京, 理工学社, 1985, p.638.
- 15) 久野 寧, 高木健太郎. 生理学の重要課題. 南公堂, 1960, p.212-249.
- 16) 石倉信作, 大家治男, 福田正俊. 大阪府立産業技術総合研究所報告技術資料. No.2, p.25-31 (1992)
- 17) 菅原正志, 今中國泰. 伸縮性スポーツウェアが皮膚温分布に及ぼす影響. デサントスポーツ科学. 9, 237-264 (1988)