

運動時の衣服環境が皮膚温の ゆらぎに及ぼす影響

県立新潟女子短期大学 菅 井 清 美
(共同研究者) 東 京 大 学 鎮 西 恒 雄

The Effects of Different Types of Sportswear on Fluctuations of Skin Temperature

by

Kiyomi Sugai

*Department of Human Life and Environmental
Science, Niigata Women's College*

Tuneo Chinzei

Faculty of Medicine, The University of Tokyo

ABSTRACT

The effects of exercise and different types of sportswear on fluctuations of skin temperature were investigated and assessed by frequency analysis. Fifteen healthy women performed the wearing tests including 10-minute cycling exercise under the fixed circumstance of 25.0°C and 14.3 mmHg vapor pressure.

In all cases the peaks in the power spectrum were observed in the low frequency range. The amplitude of these peaks was obviously higher after, than before, the exercise. This tendency was especially noticeable at the back of the hand as compared with the results at the forehead or the forearm. The amplitude of peaks in the low frequency range was slightly higher when less body surface was covered with clothing. These data reflect the increased activity of thermoregulation as a result of exercise and ambient cool condition. It is considered that the influences of changes in these autonomic nervous systems were also shown in the rating of sensation.

要 旨

スポーツウェアの着用形態と運動が皮膚温のゆらぎにおよぼす影響を、皮膚温の周波数解析によって検討した。環境温度25.0℃、水蒸気圧14.3 mm Hg の一定の人工気候室内で、15人の健康な女性が、自転車エルゴメータによる10分間の運動をともなった着用実験を行った。

すべての実験において、皮膚温ゆらぎのパワースペクトルピークが低周波数帯域で観察された。これらのピークの強度は運動前より運動後に高くなり、額や下腕での結果に比べ、とくに手の甲において顕著であった。また、衣服による体表面の被覆面積が少ないときには、低周波数帯域の強度がわずかに増加した。これらの結果は、運動や少し涼しい環境条件による体温調節活動の増加を示したものである。こうした自律神経機能の変化の影響が感覚での評価にも現れたと考えられる。

緒 言

マラソン競技では手袋を着用しているか否かによって体力の消耗が異なり、順位に影響を与える要因となるといわれているように、運動時の体温調節は衣服が体表面を被う部位、面積さらには衣服の保温性能などに影響を受ける。一方、中間環境温度では一般に皮膚血管の拡張と収縮による血流の増加と減少により、皮膚温が上昇または下降して熱放散量が変動する。この皮膚血流による熱放散の調節は、中間環境温度での体温調節にはとくに重要であり、体表温は皮膚血流を反映する。したがって、皮膚温の微小なゆらぎは生体の温度調節に関与する自律神経系の活動を反映すると考えられる。実際、安静時の心電図の R-R 間隔¹⁾や脳波のゆらぎ²⁾など生体のさまざまなゆらぎ現象が観察され、自律神経系の反応指標として用いられている。

そこで本研究は、運動にともなう自律神経機能

に関する情報を得るために、運動時の衣服環境を変え、衣服を含めた外部環境が皮膚温のゆらぎに与える影響を、これまで行われてきた皮膚温の経時変化、感覚変化等の計測とあわせて検討することを目的とする。

1. 実 験

実験は新潟県工業技術総合研究所の人工気候室（タバイエスペック株式会社製 TBE-6 N 1 BDHIDP）内で行った。被験者は18～20歳の健康な女子短大生15名で、平均の年齢（±SD）は18.9 ± 0.6歳、身長159.7 ± 5.8 cm、体重52.8 ± 4.4 kg、体表面積1.49 ± 0.08 m²であった。被験者は実験開始30分以上前に人工気候室に入室し、実験着に着替えた。衣服は市販のトレーニングウェアで、形態は半袖上着と半ズボン、長袖上着と長ズボンの2種類とし、各自のブラジャー、ショーツの上に直接着用し、体表面を被う面積を大きく変えた。各被験者は測定日を変えて2回ずつ実験を行った。

実験着に着替えた後、銅-コンスタンタン熱電対を透湿性サージカルテープで皮膚に装着し、椅座位安静状態を保った。装着部位は1分ごとの平均皮膚温を求めるために胸、上腕、大腿、下腿の4部位と、1秒間隔の皮膚温ゆらぎ測定用に額、左下腕外側、左手の甲の3部位である。感覚申告は電圧変換による感覚測定器を用いて、安静時のみ3分間隔で収録した。また、発汗のめやすとして左肩甲骨にゴアテックス布でカバーした神栄株式会社の温湿度センサー THT-B 130を貼付した。ゴアテックス布は毎回取り替えた。

実験は椅座位安静状態で開始した。被験者は19分にイスを立ち、自転車エルゴメータに移動して20分より30分までの10分間、自転車運動を行った。強度は仕事率が60 watt となるように、ペダルを回転させた。運動終了後、再び椅座位安静状態を30分間保った。

2. 結果と考察

2.1 環境と運動条件

着用実験中の人工気候室床上 1 m の環境の温度と湿度状態を、のべ30回の平均で図1に示す。平均の環境温度は $25.0 \pm 0.01^\circ\text{C}$ 、湿度は 14.3 ± 0.1 mmHg であった。仕事率が 60 watt となるようにペダルを回転させたときの運動時の平均脈拍数は 116 ± 15 拍、仕事率は 59.4 ± 0.8 watt であった。

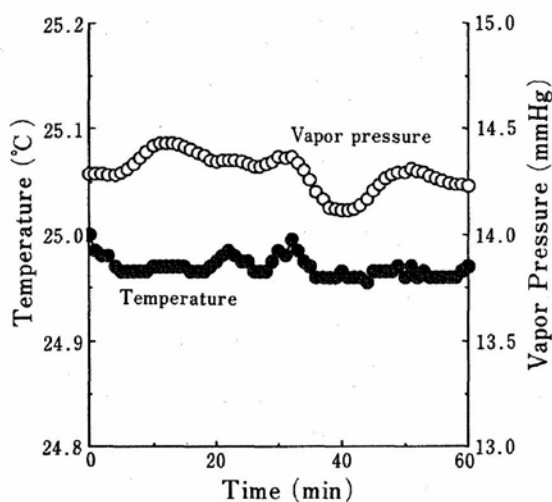


図1 環境の温度と水蒸気圧

2.2 局所皮膚温, 平均皮膚温と温熱感覚

運動時にはその運動状態に応じた代謝量の増加があり、使われたエネルギーは作業効率に応じて仕事と熱となる。体内各所に存在する温度受容器は深部体温と皮膚温を検出し、皮膚血管の径を調節して皮膚血流を変化させたり、汗腺を賦活化して発汗を促したりする。これらの反応により熱放散が促進され、運動時の体温が調節される。熱放散は皮膚温と環境温度との差に依存するので、その間に介在する着衣の熱移動特性が著しく影響する。

着用衣服形態を半袖上着, 半ズボン (Short) と長袖上着, 長ズボン (Long) に変えたときの、体温調節の結果としての皮膚温変動を図2に示す。Ramanathan の4点法³⁾により胸, 上腕, 大腿,

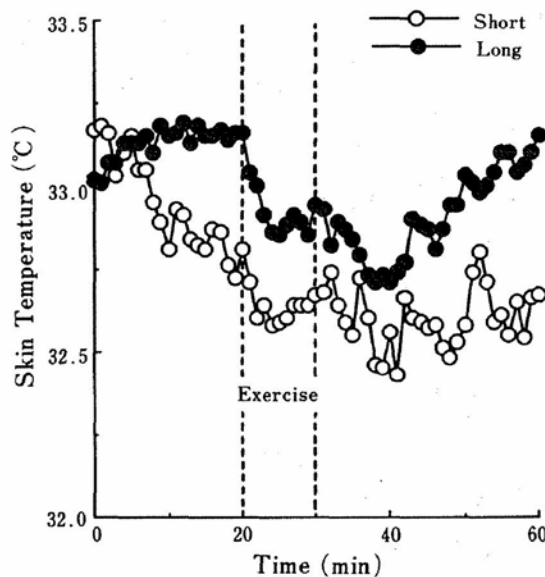


図2 平均皮膚温の経時変化

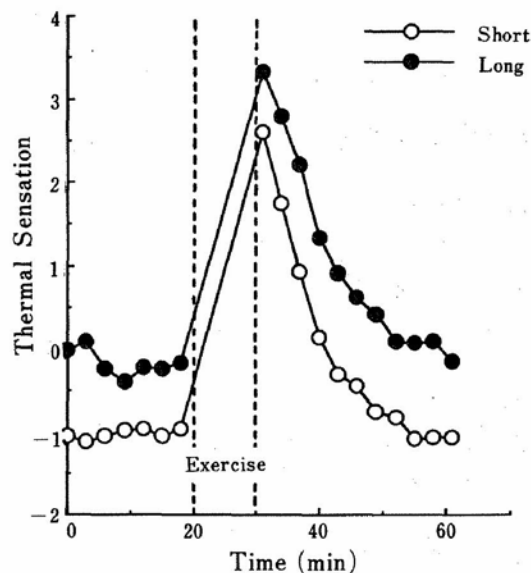


図3 温冷感の経時変化

下腿で測定し算出した身体全体の平均皮膚温の経時変化である。長袖, 長ズボン着用では運動前の安静時に一定の皮膚温を示したが、半袖, 半ズボン形態では実験開始直後から平均皮膚温は低下した。図3は温熱感覚の経時変化で、たて軸の-2は涼しい, -1は少し涼しい, 0はふつう, 1は少し暖かい, 2は暖かい, 3は暑い, 4は非常に暑いを表わしている。図にみられるように、半袖,

半ズボン形態では実験開始時から少し涼しいと申告しており、環境温度を感知する受容器が存在し、かつ効果器としての皮膚温が低いことと一致する。

環境温度10℃で異なる被覆面積の衣服を着用したとき、被覆面積の少ない衣服の方が体幹部の皮膚温と衣服内気候は高く保たれたという報告⁴⁾があるが、環境温度25℃の本実験においても胸の皮膚温、背部の衣服内気候は半袖、半ズボン形態の方が高い温度を示した。上腕は両衣服形態でほぼ同じ温度を示したが、大腿、下腿では長袖、長ズボン形態の方が皮膚温は高く、平均皮膚温として図2のような結果となった。運動開始後の平均皮膚温の低下は、自転車エルゴメータによる下肢運動にともなう対流熱伝達の増加の影響である。運動終了後の平均皮膚温低下は胸部皮膚温の低下の現われで、汗の蒸発によるものと考えられる。

図4は温湿度センサーによる背部の衣服内の水蒸気圧変化を示したものである。運動中に水分量は増加し、運動後は発汗量の減少と衣服を通しての水分移動により徐々に衣服内水分量が低下しているが、これらの汗の蒸発が皮膚温の低下を導いている。

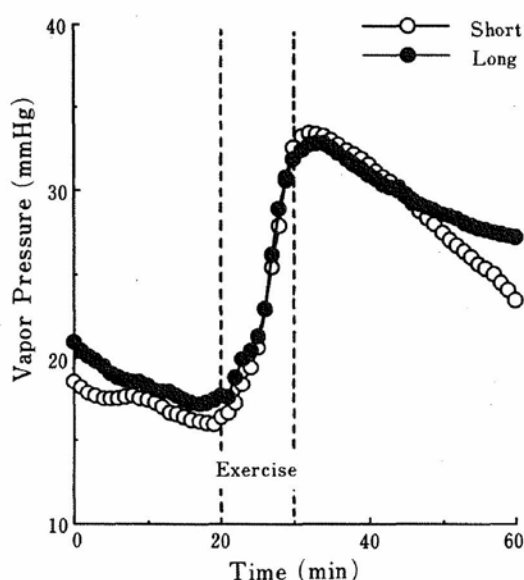


図4 背部衣服内の水蒸気圧変化

2.3 皮膚温のゆらぎ

体温調節機構の変化を皮膚温などからの類推だけでなく、主として皮膚血流量の影響を強く受けている皮膚温変動の周波数解析により検討した。額、左下腕外側、左手の甲の3部位で皮膚温ゆらぎのパワースペクトル強度を比較すると、手の甲での強度が他の2部位より高かった。温度刺激に対する皮膚血管反応には部位差がある⁵⁾ことが知られており、これらの結果といえる。環境湿度変化の刺激による胸と額での皮膚温ゆらぎのパワースペクトル強度は、額の方が高いことが示されている⁶⁾。

運動の影響を、実験開始0～19分と運動終了後31～60分の2つの椅座位安静時で比較した。図5に半袖、半ズボンを着用したときの左下腕外側での皮膚温ゆらぎのパワースペクトル強度分布の一例を示す。運動前後の両安静時において0.065 Hz以下の低周波帯域に主要なピークが存在することがわかる。0.1 Hz 付近（約10秒周期）に認められるピークは血圧の Mayer wave⁷⁾に関連した変動と考えられている。さらに高周波帯域のスペクトル上の0.2～0.3 Hz 付近にみられるピークは

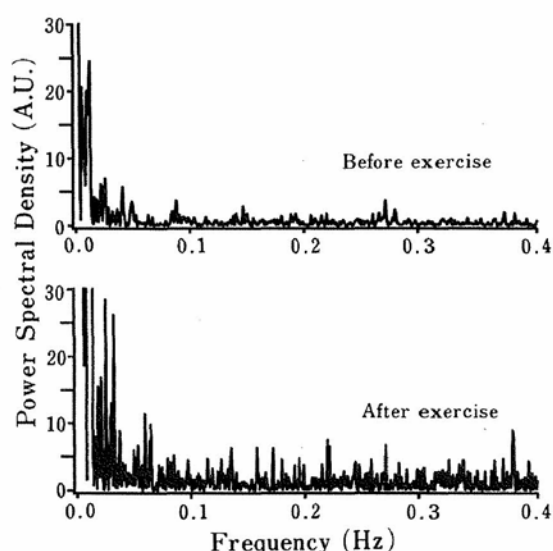


図5 半袖、半ズボン着用時の皮膚温ゆらぎのパワースペクトル密度

呼吸性変動リズムといわれ、どちらもその存在は認められたものの小さいピークであった。運動前後のパワースペクトル強度を比較すると、明らかに運動後は運動前に比べ高くなった。この挙動は3部位において観察された。とくに低周波帯域での増加が顕著であり、体温調節活動が活発になっていることを示している。

図3に示した温熱感覚評価には、この自律神経機能変化が影響していると考えられる。運動終了後の温熱感覚は、そのときの低い平均皮膚温にもかかわらず、両着用形態において暑いから暖かいと非常に高い。胸の局所皮膚温は運動中に上昇せず、運動終了後低下した。一方、全身温冷感と平均皮膚温との関係から、全身温冷感を支配する重要な部位としてあげられている背部⁸⁾の衣服気候は上昇したが、その運動前後の温度差に比べて感覚の変化は大きい。運動初期を除けば運動時の発汗量および発汗中枢活動は深部体温と密接に関係しているという報告⁹⁾もあり、運動後の皮膚温のゆらぎのパワースペクトル強度の増加を考えると、本実験の感覚の変化は運動による体深部での温度受容の影響が大きいといえる。

衣服による体表面の被覆面積の影響は、図6の

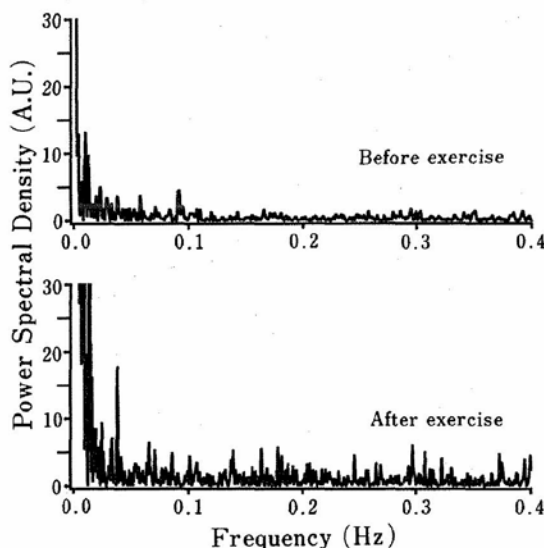


図6 長袖、長ズボン着用時の皮膚温ゆらぎのパワースペクトル密度

長袖、長ズボン着用時のパワースペクトル強度分布と図5との比較で示されるように、運動前も後も被覆面積の小さい方がわずかではあるが、低周波数帯域のパワースペクトル強度が高かった。本実験条件は温熱感覚でみられたように少し寒く、半袖、半ズボン形態の方が体温調節活動が盛んであることが示された。

3. 結 論

1) 胸の皮膚温と背部の衣服内温度は半袖、半ズボン形態の方が高く、大腿、下腿の皮膚温は長袖、長ズボン形態の方が高い値を示した。

2) 運動後の額、左下腕外側、手の甲の皮膚温ゆらぎのパワースペクトル強度は運動前に比べ明らかに高くなり、運動にともなう体温調節活動の働きを明示した。

3) 左下腕外側で衣服の被覆の有無による皮膚温変動を比較した結果、被覆されていない方がパワースペクトル強度はわずかに高くなった。少し寒いという環境条件から考えると、この低周波帯域の強度の増加もまた、体温調節活動の増大である。

4) 運動終了後の高い温熱感覚は、体深部での温度受容の影響が大きいと考えられる。

謝 辞

研究助成をいただいた財団法人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。また、本研究を進めるに当たり、人工気候室の使用にご協力いただきました新潟県工業技術総合研究所の皆さま、実験に協力いただいた県立新潟女子短期大学平成7年度2年生 神田あかねさん、田中麻貴さん、被験者の1年生の皆さまに感謝申し上げます。

文 献

1) 早野順一郎；心拍変動の自己回帰スペクトル分析

- による自律神経機能の評価 - R - R間隔変動係数 (CV-RR) との比較, 自律神経, 25 (3), 334 - 343 (1988)
- 2) 三宅晋司, 神代雅晴; 1/f ゆらぎの快適性に関する一実験的検討 - 1/f ゆらぎの音圧変動をもつ擬似エアコンノイズの生体影響, 人間工学, 27 (1), 1-8 (1991)
- 3) J. R. S. Hales; Thermal physiology, Raven Press, New York, 33-38 (1984)
- 4) W. S. Jeong, H. Tokura; Effect of wearing two different forms of garment on thermoregulation in men resting at 10°C, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57, 627-631 (1988)
- 5) 入来正躬; 新生理科学大系 22 エネルギー代謝・体温調節の生理学, 中山昭雄・入来正躬編, 医学書院, 東京, 111 (1987)
- 6) 菅井清美, 鎮西恒雄; 環境湿度と衣服素材の着用への影響, 織消誌, 36 (1), 95-101 (1995)
- 7) G. Baselli, S. Cerutti, S. Civardi, D. Liberati, F. Lombardi, A. Malliani, M. Pagani; Spectral and cross-spectral analysis of heart rate and arterial blood pressure variability signals, *Comput. and Biomed. Res.*, 19, 520-534 (1986)
- 8) 丸山康子, 田村照子; 不均一温熱刺激に対する皮膚温・温冷感反応, 日生気誌, 26 (3), 143-154 (1989)
- 9) 山崎文夫, 曾根涼子, 池上晴夫; 運動時の体温, 前腕発汗量及び前腕皮膚血流の関係, 日生気誌, 29 (1), 49-55 (1992)