

寒冷環境下での運動による 末梢皮膚血流変化と『冷え感』について

武庫川女子大学 伊佐治 せつ子
(共同研究者) 同 三宅 宏 司
神戸女子大学 平田 耕 造

The Correlation Between Peripheral Skin Blood Flow and Thermal Sensation during Exercise in a Cold Environment

by

Setsuko Isaji, Koji Miyake
*Department of Human Informatics
Mukogawa Women's University*
Kozo Hirata
*Faculty of Human Economics,
Kobe Women's University*

ABSTRACT

The purpose of the present study was to investigate a correlation between peripheral skin blood flow and thermal sensation during exercise in a cold environment. The climatic chamber was conditioned at operative temperature of $15.0 \pm 1^\circ\text{C}$, Δ relative humidity of $60.0 \pm 5\%$, and still air. Seven healthy untrained females exercised at the heart rate levels of 100bpm, 110bpm and 120bpm by use of bicycle ergometer. The experiments were performed for 45 minutes, 5 minutes of rest, 30 minutes of exercise and 10 minutes of recovery. Tympanic temperature, mean skin temperature, finger skin temperature and skin blood flow were measured and thermal sensation were voted simultaneously by subjects every 5 minutes during exercise. Tympanic temperature was

slightly increased, but mean skin temperature was decreased during exercise. The slight increase of tympanic temperature influenced thermal sensation of the body. The finger skin temperature gradually decreased by 4 °C for 8 minutes after the start of exercise. The skin blood flow measured by laser-Doppler flowmeter suddenly decreased by 0.5 ~ 1.0V at the start of exercise. These decreases seems to be influenced by non-thermal factor. And especially, cold sensation of the hand definitely enhanced during exercise of 100bpm. There was a significant correlation between thermal sensation and, finger skin temperature and skin blood flow, respectively ($R=0.767, 0.766$). These results suggest that the decreased skin blood flow after the onset of exercise caused colder sensation of the hand in a cold.

要 旨

本研究では、冬のような寒冷環境下（気温 15 ± 1 °C・湿度 60 ± 5 % R.H.・風速 0.2m/sec 以下）で軽い運動を行ったとき、運動初期に起こる末梢の皮膚温及び皮膚血流の変化と温冷感覚について検討した。被験者は日常あまり運動しない健康な女子学生7名である。運動はエルゴメーターによる負荷とし、心拍数が100拍/分 (bpm), 110bpm, 120bpmの異なる3種の強度を設定した。実験は、運動前安静5分、その後30分間運動を行い、10分間の安静回復をとる45分間行った。鼓膜温、平均皮膚温、指先皮膚温、指先皮膚血流を測定すると同時に、全身と手の温冷感覚を実験中5分間隔で測定した。鼓膜温は運動によってわずかに上昇したが、平均皮膚温は運動することで減少した。この鼓膜温の上昇は全身温冷感に影響した。運動開始から約8分間に指先皮膚温には約4°Cの低下が観察された。一方、レーザードップラー血流計で測定した指先皮膚血流は、運動開始と同時に0.5~1.0V低下した。これら皮膚温と皮膚血流の減少は運動を開始することによって引き起こされる非温熱的因子によるものと思われる。そして、特に軽い100bpmの運動は手の『冷感』を大きく増大させた。また、手の皮膚温及び、皮

膚血流は手の温冷感覚と高い相関を示した（相関係数0.767, 0.766）。これらの結果から、寒冷環境では運動開始による末梢皮膚血流の減少が『冷感』を増大させることが示唆された。

緒 言

人が運動を開始するとその初期において手足など人体末梢では皮膚温低下が起きる。これは、運動開始によって交感神経の緊張が亢進され、皮膚血管収縮が起こるためであるといわれている。この末梢皮膚温低下は深部体温の上昇を促進し、運動パフォーマンスを上げてゆくと推測される。しかし、寒冷環境下では最も運動パフォーマンスに影響するのは四肢の温度低下によることが報告¹⁾、²⁾され、四肢の皮膚温を上昇させるにはかなり強度の高い運動が必要なことが示されている。また、Virokannas H.³⁾によると、寒冷環境では軽い労働ほど手足の皮膚温低下が大きく、それは『冷感』に影響していることが報告されている。このように、寒冷環境下での運動や労働による手足の皮膚温低下は身体に大きな影響を及ぼすと考えられる。

本研究では、寒冷環境下で汗をかかない軽い運動において、運動初期に起こる手部の皮膚温および皮膚血流量の変化を測定し、その時の温冷感覚

の変化を調べることによって、運動中の末梢皮膚温及び皮膚血流の変化と『冷え感』の関係について検討する。また、運動強度を変化させて、運動開始からの経時的な皮膚温・皮膚血流の変化を温冷感覚と同時に調べることで、運動の強度による時間経過に伴う身体への影響についても考察する。

1. 実験方法

環境条件は、気温 $15 \pm 1^\circ\text{C}$ ・湿度 $60 \pm 5\%$ R.H.・風速 0.2m/sec 以下の人工気候室で、被験者は一定の着衣（下着+半袖ポロシャツ+スポーツウェア上下）条件で実験を行った。実験は被験者が人工気候室入室後30分以上経てから開始し、はじめに椅座安静で5分間、その後自転車エルゴメーター（コンビ株式会社製）による運動を30分間行い、運動終了後10分間の椅座安静の回復期をとり計45分間で終了した。運動強度は自転車エルゴメーターによる負荷とし、心拍数が100拍/分、110拍/分、120拍/分の3種の強度を設定し⁴⁾、運動負荷がこの心拍を超えないように自動調節できるようにした。（なお、心拍数100拍/分、110拍/分、120拍/分の強度の運動を以後100bpm、110bpm、120bpmと表示する。）測定項目は、手部皮膚温（手背、手掌、第3指先手掌側）、指先皮膚血流量（第2指手掌側：レーザードップラー血流計（オメガウェーブ株式会社製））、平均皮膚温（Hardy-Duboisの7点法⁵⁾）、鼓膜温（ファイバー式鼓膜体温計HK-7200（株式会社島津製作所製））、である。また、表1に示した尺度で全身と手の温冷感

表1 温冷感覚尺度

全身の温冷感	手の温冷感
3 非常に暖かい	3 非常に温かい
2 暖かい	2 温かい
1 やや暖かい	1 やや温かい
0 どちらでもない	0 どちらでもない
-1 やや寒い	-1 やや冷たい
-2 寒い	-2 冷たい
-3 非常に寒い	-3 非常に冷たい

覚を実験開始から終了まで5分間隔で測定した。被験者は20～21歳の健康な女子学生7名で、運動クラブなどに所属せずまた、日常的にも特に運動を行わない者である。その身体的特徴を表2に示す。

表2 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m ²)	ローレル指数
a	21	162	55	1.53	129.4
b	21	154	48	1.40	131.4
c	21	162	47	1.43	110.5
d	21	161	52	1.49	124.6
e	20	158	46	1.39	116.6
f	21	154	50	1.42	136.9
g	21	164	51	1.50	115.6

2. 実験結果

図1、図2は運動開始5分前から運動終了後10分安静終了までの45分間の鼓膜温と平均皮膚温の変化である。鼓膜温は運動することによってわずかに上昇したが、運動強度による差は見られなかった。ただ、120bpmの運動では運動後安静にすることで鼓膜温が約0.3℃低下した。一方、平均皮膚温は運動開始と共に徐々に低下し、運動開始9分後には各運動とも約0.7℃低下した。その後の運動でも平均皮膚温が大きく上昇することはなかった。特に100bpmの運動では運動終了時まで約0.7℃の低下のまま回復しなかった。しか

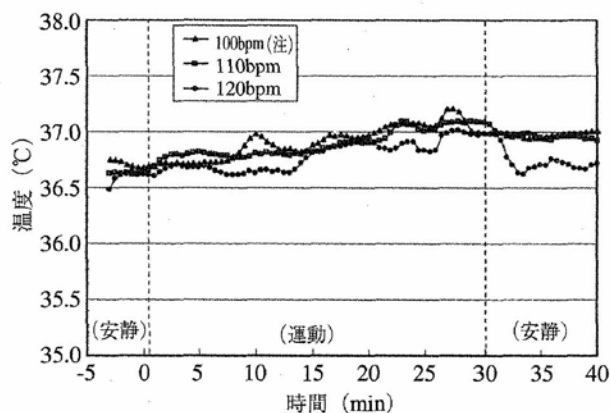


図1 鼓膜温変化

((注) : 100bpmは被験者3名の平均である)

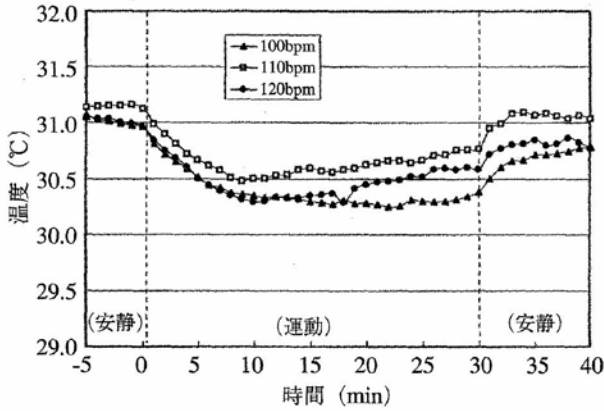


図2 平均皮膚温変化

し、運動終了3分後にはすべての運動で平均皮膚温が上昇し、110bpmでは運動前までに回復した。

図3は運動強度のちがいによる指先皮膚温の変化を運動開始から示している。なお、この図は運動前安静時の被験者間の皮膚温変動を考慮して、運動前安静5分間の平均値からの変化量を示している。また、図中の*印は運動強度による有意差

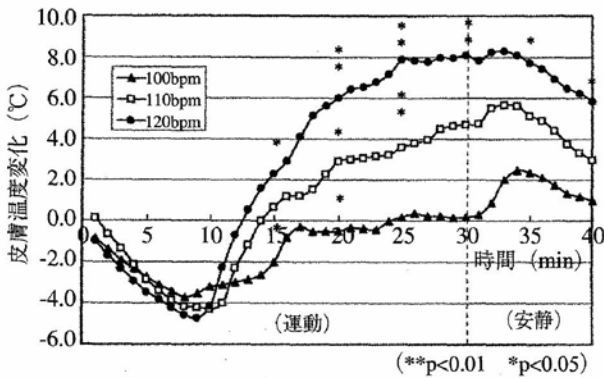


図3 運動強度による指先皮膚温変化

を示している。運動を開始してから皮膚温は徐々に低下し、約8分経過後まで低下し続け、その後上昇しはじめた。上昇の程度は運動強度により異なり、120bpmが最も大きく、運動終了時では約8℃の上昇が見られた。次いで110bpmで、約5℃の上昇となった。しかし、100bpmでは安静時の皮膚温に回復するまでに運動開始後25分を必要とし、運動終了時でもそれほど大きな皮膚温上昇は見られなかった。運動終了してから3分後に、すべての運動で皮膚温の上昇が見られ、それは100bpmで最も大きかった。

図4は運動開始からの指先皮膚血流量の変化である。先の皮膚温同様、運動前5分間の安静時からの変化量で示している。図に示したように、運動開始と同時に急激な皮膚血流低下が起こった。これは皮膚温の緩やかな低下とは明かに異なる現象である。運動開始と同時に皮膚血流低下が発現

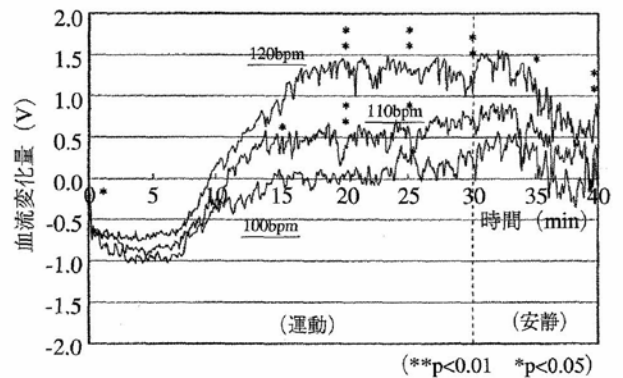


図4 運動強度による指先皮膚血流変化

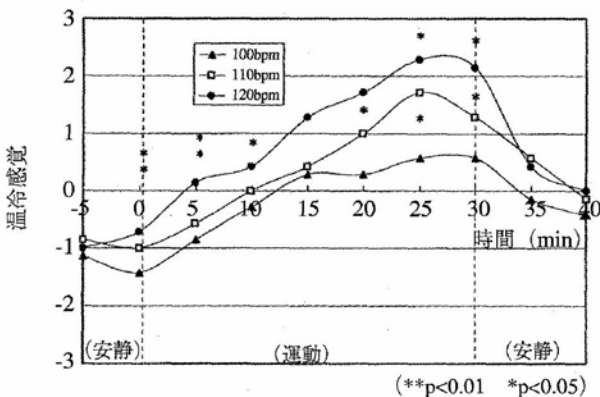


図5 全身の温冷感覚

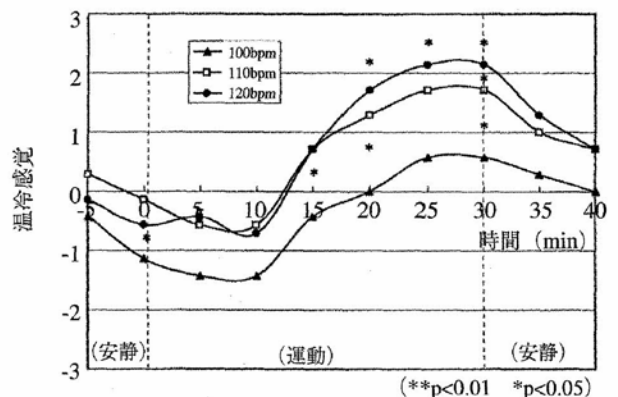


図6 手の温冷感覚

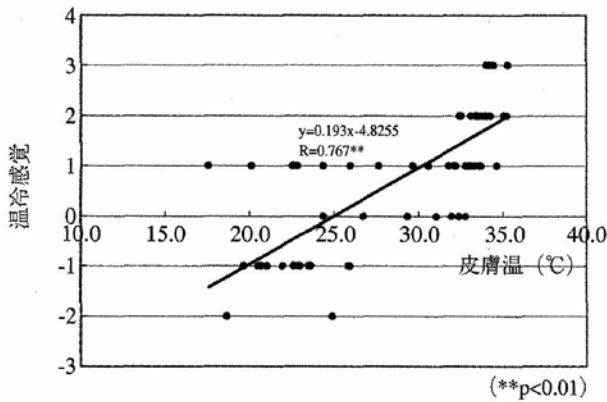


図7 指先皮膚温と手の温冷感覚 (120bpm)

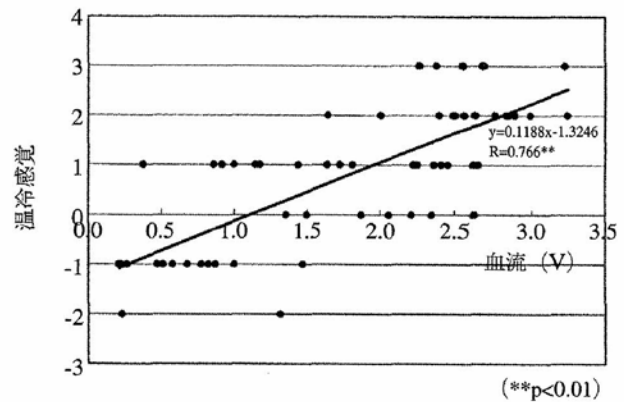


図8 指先血流量と手の温冷感覚 (120bpm)

し、その低下量は運動により0.5～1.0Vであった。この血流低下は運動開始から約7分後まで続き、その後増加した。血流増加の変化は運動強度により差が見られた。すなわち、120bpmでは運動開始20分後には1.0～1.5Vまで増加し、110bpmでは約15分後に0.5Vに増加した。しかし、100bpmでは先の皮膚温同様、運動前安静時の血流まで回復するには運動開始から約15分かかった。そして、その後も安静時の血流量をほぼ維持したままで運動終了まで大きな上昇はなかった。さらに、すべての運動で運動終了後3分間は再度の血流の上昇が見られ、その後低下した。

図5、図6は実験中5分ごとに測定した全身及び手の温冷感覚の変化である。図5に示した全身の温冷感覚は、安静時から運動を開始することで「やや寒い」から徐々に暖かい側に変化し、運動終了によって元に戻る傾向を示した。しかし、図6の手の温冷感覚は、運動5分前の安静時では、ほぼ「0」[「どちらでもない」]の評価であるが、運動開始によって明らかに低下した。特に100bpmでは低下が大きく、運動開始5分後にはほぼ「-1.5」[「やや冷たいより冷たい」]側の評価まで低下した。そして、運動開始10分後から感覚は上昇をはじめ、運動終了前まで上昇した。運動強度による差は110bpm、120bpmでは評価が「1.5」～「2.5」まで上昇し、手の感覚は「やや温かい」以上の評価になったが、100bpmでは感覚の低下が

大きく、上昇に転じた後も評価は「0.5」までの上昇にとどまり、「1」[「やや温かい」]に達しないまま運動を終了した。運動終了後はいずれの運動でも運動前の感覚まで戻る傾向を示した。

運動強度によって差はあるものの、血流と皮膚温さらに、温冷感覚は共に運動開始8分頃までは減少し、運動開始10分後頃には上昇に転じ、運動終了後の安静時には運動前の状態に戻る傾向が示されたのでこれらの対応関係を見た。図7は指先皮膚温と温冷感覚の関係を、また、図8は指先血流量と温冷感覚の関係を示した。いずれも120bpmの場合であるが、相関係数はそれぞれ0.767、0.766で指先皮膚温、指先皮膚血流量は温冷感覚と高い相関があることが明らかとなった。また、それらの相関係数は近似していた。100bpm、110bpmについてもほぼ同様の結果が得られた。

3. 考察

今回の実験では、寒冷環境として人工気候室で、気温15±1℃・湿度60±5% R.H.・風速0.2m/sec以下を設定した。この環境では軽い運動による鼓膜温の上昇はわずかであり、120bpmではその上昇も運動終了によって元に戻った(図1)。しかし、平均皮膚温は運動開始と共に徐々に低下をはじめ、運動開始9分後には約0.7℃も低下した。この低下は今回設定した運動強度(100bpm、

110bpm, 120bpmの3段階)のいずれもほぼ同じであった。運動開始による平均皮膚温の低下は、軽い運動の場合にはその運動強度にあまり影響されないのではないかと考えられる。また、運動による平均皮膚温の低下は30分間の運動中続き、特に今回は軽い運動であったため、運動後半でもわずかな上昇であり、運動終了によってようやく回復した。これら平均皮膚温の変動は、平均皮膚温算出に末梢皮膚温である手背、足背の皮膚温が含まれていて、これらの影響があったためと考える。そして、今回のような軽い運動では運動によって平均皮膚温を上昇するには相当長時間運動を続けなければならないのではないかとと思われる⁶⁾。

これに対して、末梢皮膚温である指先皮膚温の変化を示したのが図3である。図に示したように指先皮膚温は運動開始8分後までにいずれの運動でも約4℃低下した。運動初期に起こる皮膚温低下は運動強度に影響することが知られているが、今回のように軽い運動ではその強度の差は見られなかった。しかし、運動することによって皮膚温低下が約4℃にも達することは注目すべきことであり、その後の運動中の皮膚温上昇が問題になる。ここでは110bpmと120bpmについては皮膚温の回復が顕著に見られ、『冷感』への影響も少ないと考えられる。しかし、100bpmでは皮膚温低下が他の運動と同様に起こり、さらに、運動開始8分後からの皮膚温上昇が少なく、運動前の安静時に戻るまでに約17分かかっていた。その後の運動中もあまり大きな皮膚温上昇が見られないことから、運動前の安静時に比較して運動を行うことによってかえって手の『冷感』を増すことが予測される。

図4に示した指先皮膚血流では、血流低下が運動開始と同時に見られた。運動初期の皮膚温低下が非温熱性因子によるものであることがこの結果からも推測できる。すなわち、運動開始によって皮膚交感神経の緊張が亢進され、交感神経系に強

く支配される指先皮膚血管の収縮が起こり、運動開始と同時に血流が大きく低下したのであろう。指先皮膚血流量が交感神経に強く支配されていることは、精神的刺激の割合が大きいほど末梢皮膚血流の減少が大きいという報告⁷⁾などからも知られている。皮膚血流量の変化は、時間遅れで皮膚温に影響し、先に見たように皮膚温が運動開始から漸進的に減少したと考える。運動開始による指先皮膚血流の低下は運動強度が低いほど大きくなる傾向を示したが、有意な差は見られなかった。また、100bpmの運動では皮膚温同様、運動前安静時の血流に戻るまでに約15分かかり、その後も運動終了まで血流の大きな上昇が見られなかった。このことは手の『冷感』への影響が大きいことを示すものである。

温冷感覚の変化は全身と手では明らかに異なった(図5, 図6)。全身の温冷感覚は運動開始により大きく低下することなく安静時から次第に上昇した。そして、運動中、その感覚の上昇は運動強度による差が見られ、120bpmでは運動終了時にその評価が約3.5も上昇した。ついで110bpmでは約2.8の上昇であり、最も上昇の少ない100bpmでも約2上昇した。全身の温冷感覚のこのような上昇は、今回、鼓膜温のわずかな上昇が影響したものと考えられる。運動中の平均皮膚温の低下は、全身の温冷感覚に影響すると考えられるが、先に述べたように末梢皮膚温の影響が平均皮膚温に現れたものと考えられ、全身の感覚には影響が少なかったと思われる。

次に、手の温冷感覚については指先皮膚温や指先皮膚血流の変化からも推測できるように、運動開始によって感覚が低下しはじめ、運動開始約9分後まで低下した。その後、皮膚温や皮膚血流量の上昇と同期して感覚も上昇し、各運動ともその評価は2前後上昇した。しかし、100bpmでは運動による低下が大きく、回復においても評価が"1"「やや温かい」まで上昇しなかったのである。

すなわち、100bpmのような特に軽い運動では、運動することによって手の『冷え感』は増大することが明らかである。

以上から、運動初期に起こるに非温熱性因子による末梢皮膚温の低下や皮膚血流の減少は末梢の『冷え感』を増大させることが明らかになった。特にその影響は100bpm程度の軽い運動で大きいことが予測された。

さらに、手の温冷感覚と指先皮膚温及び指先皮膚血流量との相関を見たのが図7、図8であるが、いずれも感覚量との相関係数が0.76以上となり、皮膚温、皮膚血流はいずれも手の温冷感覚に対するよい指標であることが確認できた。従来は、皮膚温と温冷感覚の相関のみが示されていたが、皮膚血流の変化は皮膚温に先行すること、また、運動開始直後の非温熱的血管収縮の現象を示すことから考えると、皮膚血流の測定は感覚の変化を知る上で有意義なものであることが示された。

4. まとめ

本研究では、寒冷環境下で特に軽い運動を行った時に、運動初期に起こる末梢の皮膚温低下が温冷感覚にどのように影響するかを検討した。

身体内部温である鼓膜温は運動によってわずかに上昇する傾向を示した。しかし、平均皮膚温は運動開始と同時に徐々に低下し、運動開始9分後には約0.7℃も低下した。この低下は運動中に大きく上昇することはなく、運動終了によって回復した。鼓膜温と平均皮膚温の変化は今回の軽い運動では運動強度による差はないと思われた。そして、鼓膜温のわずかな上昇は全身の温冷感覚に影響するものと思われた。

一方、身体末梢の指先皮膚温及び指先皮膚血流は、運動初期に大きく低下し、7～8分後に上昇に転じ、運動終了時には運動前安静時より上回った。しかし、その変化は運動により異なり、特に軽い100bpmの運動ではむしろ運動することで

手・足の『冷え感』を促進するのではないかと推測された。また、皮膚血流は皮膚温に先行して運動開始と同時にその低下が起こり、運動初期の皮膚温低下が非温熱性因子による皮膚血管収縮作用によるものであることを示した。『冷え感』が冬に身体の末梢部位で多く感じられるという報告⁸⁾は、上記のような軽い運動によって起こる非温熱的血管収縮が末梢皮膚温を低下し、末梢の『冷え感』を増大するためではないかと考えられる。これらは平田⁹⁾が示したように、寒い環境では「寒さ」と「運動」の2つの作用によって皮膚血管に収縮が起こりやすい状態であり、特に運動が軽すぎると体温上昇も小さく手足の温度が低くなるという指摘を裏付けるものである。

そしてまた、手の温冷感覚に対して皮膚温だけでなく皮膚血流がよい相関を示したことは、今後、皮膚血流も温冷感覚の良い指標になると考える。

謝 辞

本研究に対して研究助成を賜りました財団法人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。また、本実験の被験者としてご協力いただいた皆さんに心より御礼申し上げます。

文 献

- 1) Clark R.E., Cohen A.; Manual performance as function of rate of change in hand skin temperature. *J. Appl. Physiol.*, 15, 496-498 (1960)
- 2) Bergh U.; Human power at subnormal body temperatures, *Acta Physiol. Scand.*, 478 [Suppl]1-39 (1980)
- 3) Virokannas H.; Thermal responses to light, moderate and heavy daily outdoor work in cold wether, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72, 483-489 (1996)
- 4) 「新スポーツ医学」前田如矢著, 金芳堂,

- pp105-115 (1997)
- 5) 「被服衛生・機構学」大野静枝,吉田敬一,飯塚幸子,久慈るみ子,多屋淑子共著,朝倉書店, pp8-10 (1989)
 - 6) Virokannas H., Anttonen H.; Body heat balance reflected by skin temperature on the hand in light and heavy work in cold condition, *Arch. Complex Environ. Studies*, 5, 91-95 (1994)
 - 7) Kawasaki S., Aiba T., Sugimoto M., Yamazaki K., Okamoto K., Itoh T., Ando Y.; Event-related variations of peripheral blood flow evoked by an emotional stimulation, *J. Adv. Sci.*, 8, no.1/2, 35-36 (1996)
 - 8) 藤田素子, 細野剛良, 平田耕造; 冷え性の成因に関する基礎的研究, 体力研究, 91, 142-147 (1996)
 - 9) 平田耕造; 寒さと運動・作業, 臨床環境医学, 6, no.1, 14-18 (1997)