

雪国における健康開発とスポーツ

—運動時の体温調節反応に及ぼすスポーツウェアの影響—

山形大学 大貫 義人

(共同研究者) 同 安 喰 功

同 丹 羽 健 市

同 荒 木 善 行

Health Development and Sports in Snow-prone Areas

—Effects of sports wear on thermoregulatory response during exercise—

by

Yoshito Ohnuki, Isao Ajiki*,

Ken-ichi Niwa and Yoshiyuki Araki

Department of Health and Physical Education and

Department of Clothing Sciences, Faculty of*

Education, Yamagata University

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the thermoregulatory responses when the five male students exercised wearing the three different types of clothes, the shorts (N), the training wear (W) and the Gore-tex ski wear (G). We let the subjects one hour exercise in three work intensities of 49.0, 73.5 and 98.0W under the ambient temperature of 21.4°C, relative humidity of 58.8% and wind velocity of 0.1m/sec. At the work intensity of 98.0W, metabolic heat production was not significantly different among the three clothing conditions. Body weight loss of N was significantly less than those of W and G. However, no significant difference was made between W and G. Mean skin temperature wearing G was higher than that of N, but the rectal temperature rose similarly. Clothes wearing resulted in an upward shift of the regression line of body weight loss with

rectal temperature level. But by paying special regard to the fact that an additional amount of the loss was retained by the clothing, the overall regression coefficient turned out to be doubled.

要 旨

男子大学生 5 人を被験者とし、3 種類の被服条件、すなわち、裸体 (N) とトレーニングウェア (W) 及び防寒スキーヤッケ (G) を着用した際の体温調節反応を調べた。環境温 21.4°C 、相対湿度 58.8%、気流 0.1m/sec の条件下で 49.0, 73.5, 98.0W の異なる 3 つの運動強度を 60 分間行なった。98.0W 負荷時の代謝性熱産生量に各被服条件間で差がなかったが、体重減少量は N と W, N と G 間に有意な差がみとめられた。しかし、W と G 間では差がない。また G は N に比し平均皮膚温が高いが直腸温の上昇に変化はない。被服は体温調節系の動作特性を N に比し平行移動させる。さらに、被服内に含まれた水分量を加味すると、反応感度を 2 倍に増加させた。

緒 言

運動時の深部体温は運動強度に比例して上昇するが、 $5\sim 30^{\circ}\text{C}$ の外部環境温に左右されない¹⁾。しかし Lind の詳細な研究²⁾によると、運動時の直腸温上昇に及ぼす運動強度と環境温の関係では、運動強度が大であるほど直腸温の急激な上昇が起こる閾値気温が低いことを示している。最近、丹羽ら³⁾が環境湿度との関係を調べたところ、環境温 30°C 、運動強度 660kpm/min で相対湿度 60% 以上になると、直腸温の急激な上昇がおこることがあきらかになった。運動時の深部体温上昇機構は古くて新しい問題を内在しており、いまだ明確でない。これまでの研究は裸体条件で研究を進めるのが常套手段として行なわれてきた。

今回は着衣条件下で、被服の熱絶縁性を変化量

とし、運動時の深部体温上昇に及ぼす被服の影響を調べた。さらに被服が体温調節系の動作特性に及ぼす変容をもたらすのかについても検討を加えた。

実験方法

被験者は山形大学陸上部に所属し、長距離を専門とする健康な男子大学生 5 名である。彼らの身体特性は年齢 20.4 ± 1.0 歳、身長 $170.6\pm 4.3\text{cm}$ 、体重 $62.33\pm 2.86\text{kg}$ 、体表面積 $1.74\pm 0.06\text{m}^2$ である。

被服条件は ① ランニングパンツのみ着用 (Nude) ② ショーツ、トレパン、トレシャツ着用 (Wear)、③ Tシャツ肌着、防寒ヤッケ、トレパン (Gore) の 3 種とした。なお、環境条件下における総被服重量は、①の場合 $130\pm 5\text{g}$ 、②の場合は $734.1\pm 80.4\text{g}$ 、③の場合は $1161.3\pm 13.9\text{g}$ であった。トレパン、トレシャツは長袖、長ズボンで衿ぐり、袖口、ズボンの裾にそれぞれゴムが入っており、密閉している。その組成は、表組織がポリエステル 100%、裏組織がポリエステル 50% 綿 50% である。また防寒スキーヤッケも長袖で、袖口がとじ、フードはつけず頭部のみ露出した。その組成は表地ナイロン 100%、裏地ポリエステル 100%、中地ポリエステル 100%、ジャージアクリル 85%、ポリウレタン 15%、中綿は天然羽毛 100% でその品質はグース及びダックの新毛で含有率はダウン 75%、ファイバー 5%、フェザー 20% である。なお靴下は着用しなかった。

環境条件は温度 $21.4\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $58.8\pm 3.0\%$ 、気流 0.1m/sec に制御された人工気象室にて実施した。これらの環境条件は安静座位の状

態で快適に感ずる衣服が 1clo と定義されるところから設定された。運動強度は49.0, 73.5, 98.0 Watt の強度の運動を60分間、自転車エルゴメータ（モナーク社製）を用いて行なった。なおペダリングの速度は 50rpm とし、ペダリングの速度を一定に保ち易くするためにメトロノームで指示した。

実験は10月から11月中旬までの秋季に行ない実験時間は午前10時30分から12時、午後1時から2時30分、2時30分から4時、4時から5時30分の4回とし、同一被験者はいつも同一時間に行なうよう調整した。

実験手順はあらかじめ設定された人工気象室に実験開始30分前に入室した。その間に熱電対の貼付ならびに挿入、呼気マスクの装備さらに被服を着用し、5分間の安静後、運動を開始した。

測定項目と方法は以下の通りである。まず代謝性熱産生量は安静時5分、運動時は10～15, 25～30, 40～45, 55～60分の5分間（98.0W時は3分間）ずつ4回呼気を採取し、労研式大型ガス分析

器とレスピライザー（Fukuda, BM-10）の両者で呼気中の酸素、炭酸ガス濃度を分析した。さらに酸素摂取量及び炭酸ガス排出量から計算により代謝量を W/m^2 に換算した。

直腸温は熱電対の先端を約 15cm 挿入し、皮膚温の測定は Hardy & Dubois⁴⁾ の身体8カ所（右半身）に熱電対を貼付し、直腸温と共にデジタル記録計（Procos-VII, Chino 製、精度 $\pm 0.1^\circ C$ ）で1分ごとに記録した。さらに出力をコンピュータに接続し、平均皮膚温と平均体温（ $\bar{T}_b = 0.65 T_{re} + 0.35 \bar{T}_s$ ）をオンラインで算出した。

体重減少量は運動前後の体重測定（精度 $\pm 10 g$ ）から計測し、被服重量とタオルでふいた汗の量はバネばかりで計測した。また呼吸気道からの水分損失及び排出された炭酸ガスと摂取した酸素の重量差による体重減少は、Mitchell⁵⁾ らの報告に準じて計算した。

実験結果

① 代謝性熱産生量

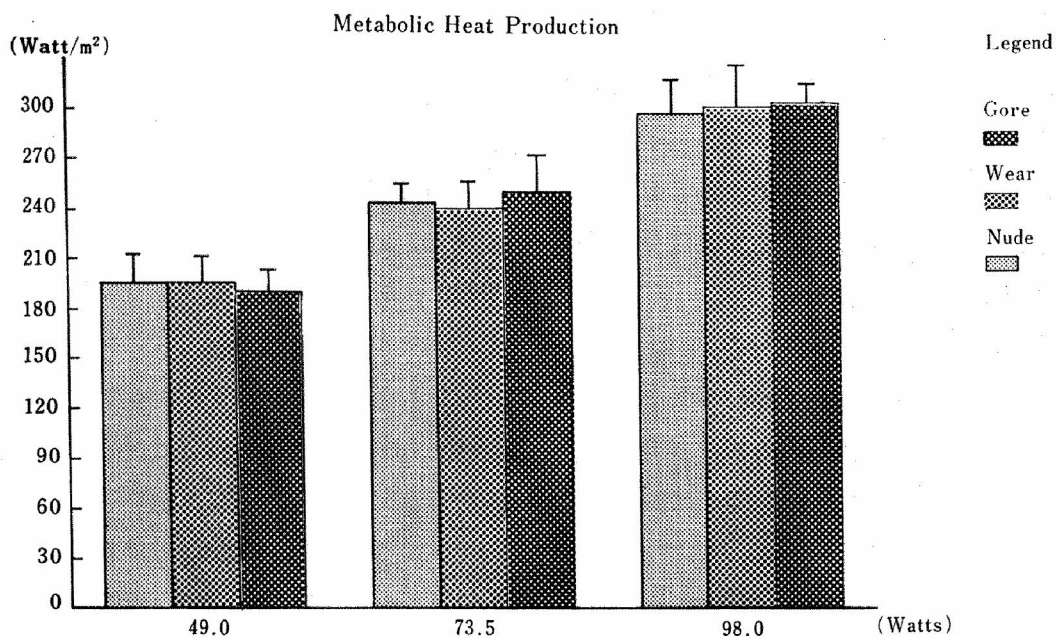


図1 各運動負荷時で被服条件別の代謝性熱産生量（5人の被験者の平均値 \pm SD）

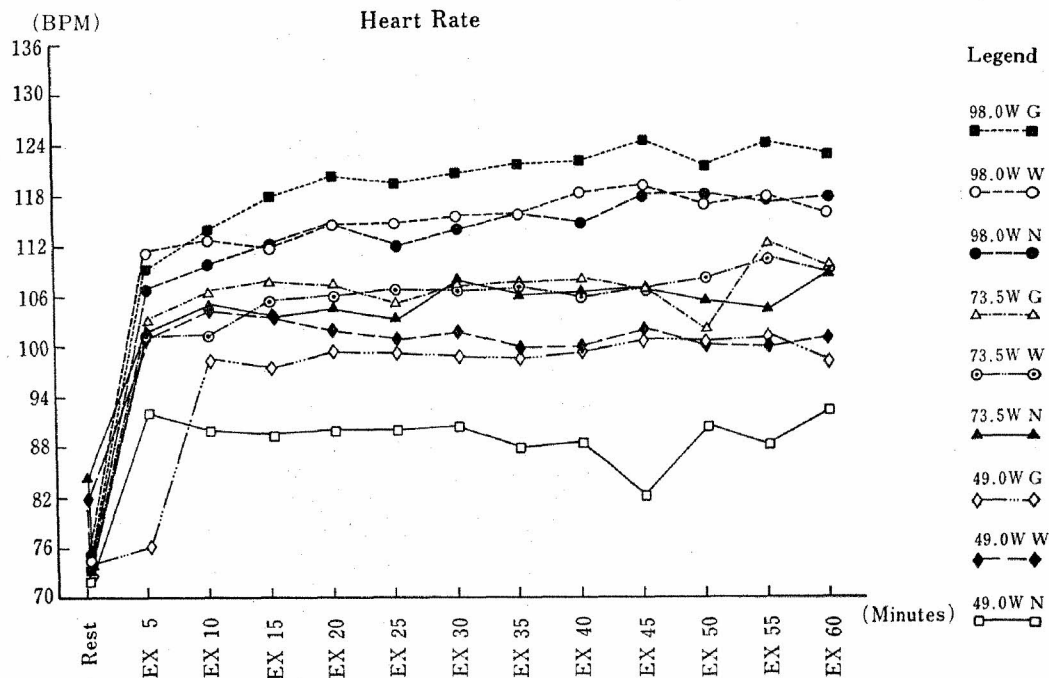


図2 各運動負荷で被服条件別の心拍数（5人の被験者の平均値）

図1は各運動負荷時で被服条件別の代謝性熱産生量を示したものである。49.0Wの運動負荷で190.3~195.2W/m²、73.5Wで239.5~248.9W/m²、98.0Wで295.2~301.5W/m²の範囲にあった。しかし各被服条件下では全て有意な差は認められなかった(p>0.05)。

② 心拍数

図2は各運動負荷時で被服条件別の心拍数を示したものである。記録が安定していた30~40分目を比較の対象にすると49Wの運動負荷で88.5~100.0bpm、73.5Wで106.2~108.2bpm、98Wで115~122.4bpmの範囲にあった。しかし各運動強度別の各被服条件ではすべて有意な差は認められなかった(p>0.05)。

③ 体重減少量

図3は呼吸気道からの水分損失及び排出された炭酸ガスと摂取した酸素の重量差による減少分を差し引き、各運動負荷時で被服条件別の体重減少量を示したものである。

上段は被服をつけて、下段は被服なしで計測し

た運動前後の体重減少量を示してある。すなわち、各運動強度と各被服条件の上、下段間の差は被服に含まれた水分量を示すものである。

上段の49.0W運動強度において、トレパン、トレシャツ(Wear)と防寒スキーウェア(Gore-Tex)の体重減少はそれぞれ248±27g、234±35gでランニングパンツのみ(Nude)の176±26gの減少に比しそれぞれ1%と5%以下の危険率で有意な減少を示した。

また98.0Wの運動強度においてもNude(360±38g)とWear(454±47g)、NudeとGore(442±30g)間にそれぞれ5%と1%以下の危険率で有意な体重減少差が認められた。

しかし、73.5Wの運動強度においてはNude、Wear、Goreの3者間に有意な体重減少差は認められなかった(p>0.05)。下段の被服なしで計測した体重減少量では、運動強度が49.0Wのとき、Nude(176±26g)とWear(274±20g)間、及びNudeとGore(260±65g)間に有意な減少量(p<0.001, p<0.05)があった。しかしWear

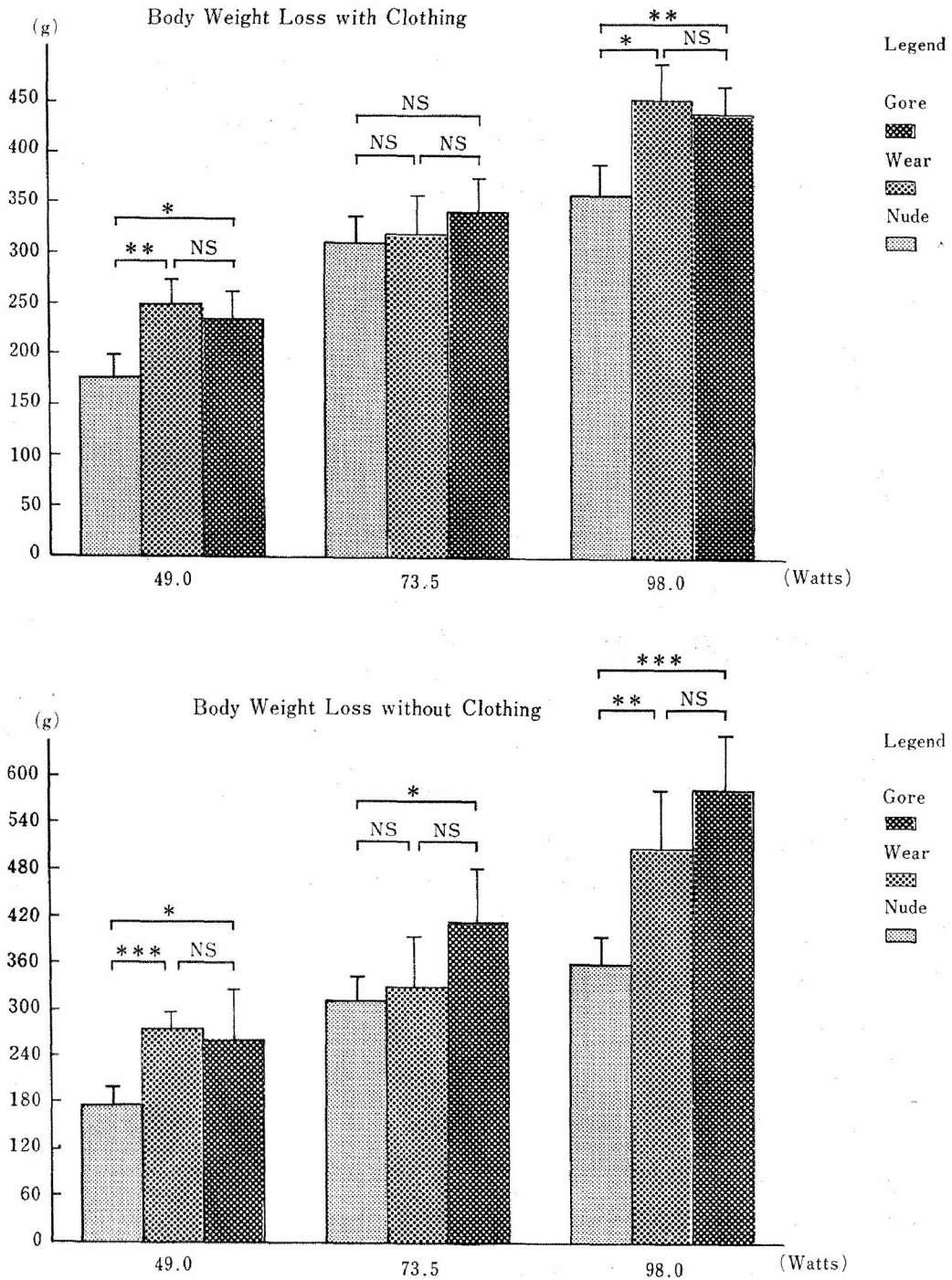


図3 各運動負荷時で被服条件別の体重減少量（5人の被験者の平均値±SD），上段は着衣下で運動前後，下段は着脱前後での体重減少（*** p<0.001, ** p<0.01, *p<0.05, NS p>0.05）

と Gore 間の差は有意でなかった ($p>0.05$)。また 73.5W 時は Nude (312 ± 32 g) と Gore (414 ± 70 g) に差は認められる ($p<0.05$)が他の2者間には差がない。さらに 98.0W 時は Nude (360 ± 38 g) と Wear (508 ± 76 g) 及び Nude と

Gore (584 ± 74 g) に1%と0.1%以下のかなり有意な減少量が認められた。

④ 体温

図4は 98.0W の運動で裸体 (N) と防寒スキーウェア (G) 着用時の一般的体温変動をあらわ

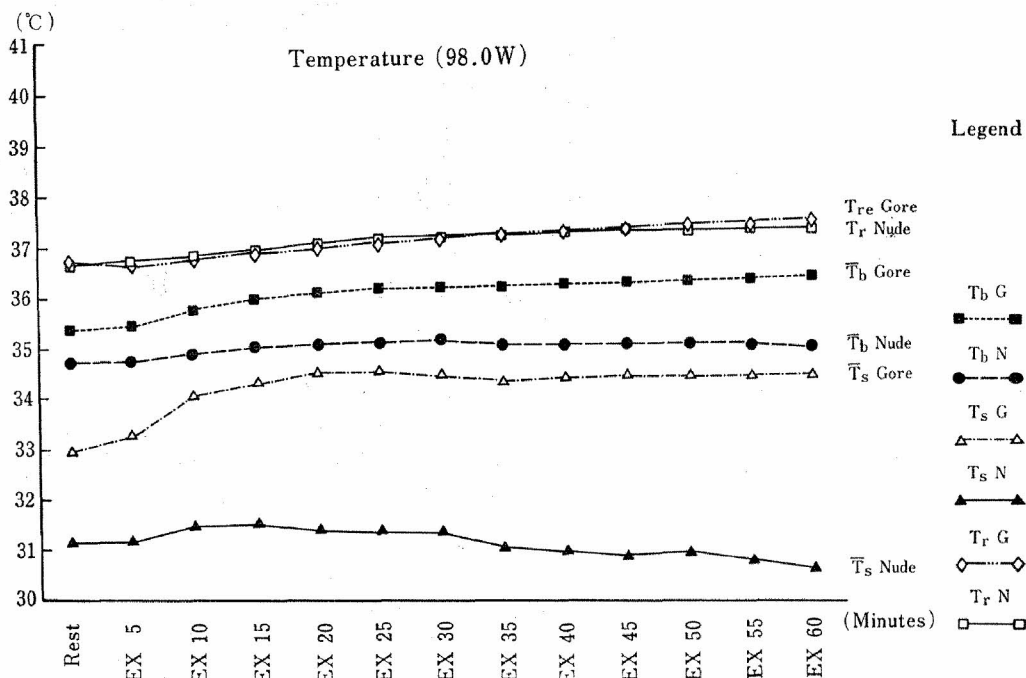


図4 裸体 (N) と防寒スキーヤッケ (G) を着用して98.0W 運動負荷時の直腸温 (T_r), 平均体温 (\bar{T}_b), 平均皮膚温 (\bar{T}_s) の時間経過 (5人の被験者の平均値)

す目的で直腸温 (T_r), 平均体温 (\bar{T}_b), 平均皮膚温 (\bar{T}_s) の5分ごとの時間経過を示した。直腸温は N (T_rN) と G (T_rG) で安静時が $36.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$, $36.7 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 30分経過しても $37.3 \pm 0.3^\circ\text{C}$, $37.2 \pm 0.5^\circ\text{C}$ とほとんど差がない。しかし運動50分以降若干の差が認められ, 運動60分でそれぞれ $37.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$, $37.6 \pm 0.4^\circ\text{C}$ と安静時より 0.9°C 上昇した。しかし, 平均値間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。

また平均皮膚温は N (\bar{T}_sN) と G (\bar{T}_sG) の安静時レベルにおいてすでにそれぞれ $31.2 \pm 0.3^\circ\text{C}$, $33.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ が有意に高い ($p < 0.001$)。その後Gは運動20分で 34.5°C まで上昇しつづけ, 終了 (EX 60) までそのレベルに停った。一方Nは運動10分間程上昇 (0.4°C) するが運動30分以降は下降に転じ, 運動60分では $30.7 \pm 0.9^\circ\text{C}$ となった。

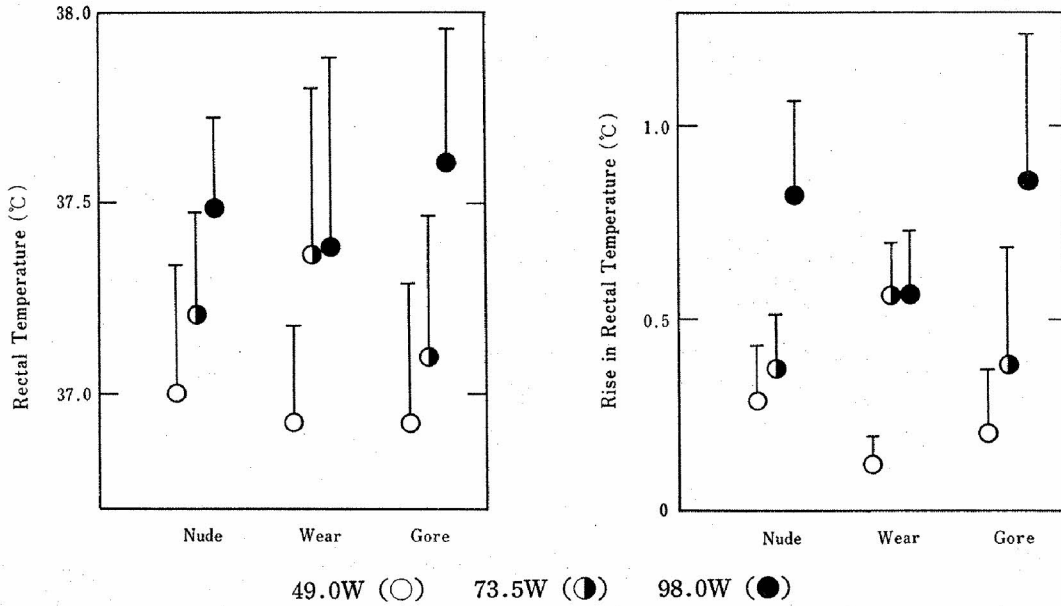
さらに平均体温の時間経過は, 平均皮膚温とは

ほぼ同様であった。すなわち, 安静時において, G (\bar{T}_bG) は $35.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$, N (\bar{T}_bN) は $34.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$ でGがNに比し有意に高い ($p < 0.05$)。その後, 差は拡大し, 運動終了時でNが $35.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$, Gが $36.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ と 1.4°C の差が認められた。

⑤ 着衣量と直腸温

図5はパンツのみ (Nude) とトレーニングウェア (Wear) さらに防寒シャツ (Gore) を着用し, 3つの異なる運動強度を行なった際の運動60分目の直腸温の値 (左図) と上昇度 (右図) を示した。49.0Wの運動負荷時における直腸温は運動終了時で $36.9 \sim 37.0^\circ\text{C}$, 73.5Wで $37.1 \sim 37.4^\circ\text{C}$, 98Wで $37.4 \sim 37.6^\circ\text{C}$ であった。しかし各被服条件下で有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。また運動時の直腸温上昇度で検討しても同様であった ($p > 0.05$)。

⑥ 直腸温と体重減少の関係



49.0W (○) 73.5W (◐) 98.0W (●)
 図5 着衣量と直腸温

図6は運動60分目の直腸温と Gore-Tex 着用時及び裸体時の体重減少量の関係を示したものである。G(N)は Gore-Tex を着用して運動する際、着用前、着用後の体重減少量を示している。G(C)は Gore-Tex を着用した状態での運動前後の体重減少を示した。Nは裸体時である。NとG(C)の間には反応こう配すなわち感度がそれぞれ92.6と99.4(T_{re} の係数)で有意な差はないが切片すなわち閾値に差がみられ、平行移動している。一方G(N)とG(C)の間には、直腸温の生理的範囲内で反応こう配が約2倍に上昇した。

考 察

これまで著者らは運動時の体温調節反応についての研究を数多くした⁶⁻⁸⁾が、被服との関連では言及しなかった。しかしながら昨年の本研究報告書において、登倉らは被服材料学的見地から生理学的手法を用いて寒冷下の運動時および運動直後の体温調節反応に与える衣服の影響を検討した⁹⁾。すなわち16°Cの気温下で一定強度の運動を30分間継続し、その後30分間安静を保った際の

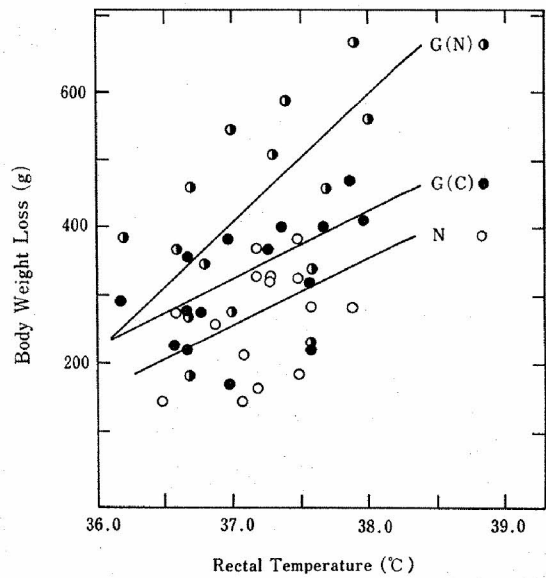


図6 被服条件“Gore”における運動60分目の直腸温と体重減少の関係、G(N)は Gore-Tex の着衣前と脱衣後(○), G(C)は着用のまま(●)の体重減少、Nは裸体時(○), G(N); $BWL = 182.3 T_{re} - 6342.7$ ($r=0.63$), G(C); $BWL = 99.4 T_{re} - 3354.5$ ($r=0.56$), N; $BWL = 92.6 T_{re} - 3164.1$ ($r=0.39$)

体温調節反応に対する3種類のトレーニングウェア(綿、アクリル、親水性を付与したアクリル)の効果を調べた。

その結果、運動後30分間の安静中に、綿のトレ

ーニングウェア着用時の直腸温の下降が有為に小さく、被験者は綿のトレーニングウェアを最も快適と評価したと報告した。

今回の著者の研究目的の一つは、被服材料学的結論もさることながら、被服重量あるいは clo 値の変動によって運動時の深部体温上昇は、脱衣時に比し、いかなる体温調節系の動作特性の駆動を余儀なくされるかを知るためである。すなわち、Lind は 10~32°C の実効温度下で 3 種の異なる強度の運動を負荷した際、運動強度が大であるほど、直腸温上昇が起こる閾値温度が低いことを明らかにしている。この観点からの結果を図 5 に示した。

この図は、被服の熱絶縁性の変動が運動時の直腸温上昇に影響を与えるかどうか検討したものである。結果を統計的に解析したところ、同一運動負荷時において裸体と各被服条件間に有意な変化はみられなかった ($p > 0.05$)。

以上の結果の第 1 の原因は長距離種目を専門とする陸上競技部の学生を被験者にするには、この程度の運動負荷 (98.0W 以下) で熱放散能不全による受動的深部体温上昇を誘発しえないことを示している。しかしながら 1 名の被験者は 98.0W 運動の防寒スキーウェア着用時に 1.5°C の直腸温上昇を招来し、臨界値が近傍であることを示唆した。

第 2 の原因として最近のスキーウェアは軽量で防水性があり、しかも保温や通気性があるので熱絶縁性の変化幅が少なすぎるのかもしれない。この点に関し、著者らは種々のスキーウェアについて、同時に被服内気候の温湿度の計測を行なう必要性を感じ、目下準備中である。

第 3 の原因は、設定気温の問題がある。今回は基礎実験にもなりうると考え、1 clo の定義条件である室温 21.0°C、湿度 50%、気流 10cm/sec の条件で実施した。ちなみに今回の実験時の安静時における平均皮膚温は裸体で、31.2~31.5°C、

トレーニングウェア着用時で 32.5~32.6°C、防寒スキーウェア着用で 32.7~33.4°C (5 名の平均値) であった。安静時の代謝性熱産生量が 1 MET (50kcal/m²/hr) で平均皮膚温が 33.0°C に保たれる被服が 1 clo であると定義されるから、この点からも若干 clo 値が低かったと思われる。

今回の研究の第 2 の目的は、被服が体温調節系の動作特性にいかなる変容をもたらすのかを検討することである。すでに丹羽らは体温日周変動の各期で体温調節系の動作特性を直腸温と蒸発水分量の関係から検討した¹⁰⁾。その結果、体温日周変動の各期に発汗特性曲線の平行移動、すなわち、発汗発現閾値直腸温の移動が認められた。これと同様の処理をして被服着用時にも適合するのどうか確かめたわけである。すなわち今回は被服を着用することで体温調節系の動作特性を直腸温と体重減少量の関係から検討したものである。

図 6 から明らかのように裸体に比し、被服着用のままでの水分損失量を計測すると、反応こう配はかわらず左上方に平行移動する。いいかえれば閾値が低下したのであって、同じ深部体温で比較すると、裸体よりも被服着用時がいつも約 60 g 多く、相加的であることを意味する。一方、着衣前と脱衣後の裸体における体重減少反応こう配は 2 倍に上昇する。被服に汗が付着したためである。いいかえれば体温調節系の感度が上昇し、動作特性は相乗的に作動したといえる。

結 論

雪国における健康開発とスポーツに関する研究の一環として、今回は運動時の体温調節反応に及ぼすスポーツウェアの影響を調べた。特に運動時の深部体温上昇と着衣量の関係から、目的とした調節能不全による直腸温の急な上昇を誘発する閾値被服量は見当らなかった。一方、直腸温と体重減少の関係から、裸体時に比し、被服着用時の体

重減少は左上方に平行移動する。さらに、着脱前後の体重減少の反応こう配は2倍に上昇した。その原因は被服に大量の汗が吸収されたためである。

文 献

- 1) Nielsen, M.; Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskularbeit, *Skand. Arch. Physiol.*, **79** : 193—230 (1938)
- 2) Lind, A.R.; A Physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work, *J. Appl. Physiol.*, **18** : 51—56 (1963)
- 3) 丹羽健市, 中山昭雄, 大貫義人; 運動時の体温上昇と環境湿度, *体力科学*, 31巻, 第6号 : 458 (1982)
- 4) Hardy, J.D. and DuBois, E.F.; The technic of measuring radiation and convection, *J. Nutr.*, **15** : 461—475 (1938)
- 5) Mitchell, J.W., Nadel, E.R. and Stolwijk, J.A.J.;

- Respiratory weight losses during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **32**(4) : 474—476 (1972)
- 6) Nakayama, T., Y. Ohnuki and K. Niwa; Fall in skin temperature during exercise. *Jpn. J. Physiol.*, **27**(4) : 423—427 (1977)
 - 7) 大貫義人, 丹羽健市, 中山昭雄, 平原豊弘; 発汗を伴わない運動時の皮膚温について, *日本生気象学会誌*, 16巻, 第1号 : 36—41 (1979)
 - 8) Ohnuki, Y. and T. Nakayama; Fall in forearm skin temperature during grade walking on a treadmill, *Jpn. J. Physiol.*, **32**(1) : 93—101 (1982)
 - 9) 登倉尋實, 山下由果, 緑川知子; 寒冷下運動時および運動直後の体温調節反応に与える衣服の影響, *デサントスポーツ科学*, 第5巻 : 102—113 (1984)
 - 10) 丹羽健市, 中山昭雄, 大貫義人, 緑川知子; 運動時の体温調節反応の日周変動, *体力科学*, 31巻, 第4号 : 258—265 (1982)