

運動時体熱平衡状態に及ぼす手袋の脱着の影響

	金 沢 経 済 大 学	平 下 政 美
(共同研究)	金 沢 大 学	永 坂 鉄 夫
	同	平 田 耕 造
	同	野 田 祐 子
	同	紫 藤 治
	金 沢 女 子 短 期 大 学	平 井 敦 夫
	金 沢 工 業 大 学	高 畑 俊 成

The Effects of Thermoregulatory Responses with Gloves During Exercise

by

Masami Hirashita

Kanazawa College of Economics

Tetsuo Nagasaka, Kozo Hirata,

Yuko Noda, Osamu Shido

*Department of Physiology, School
of Medicine Kanazawa University*

Atsuo Hirai

Kanazawa Women's Junior College

Toshinari Takahata

Kanazawa Institute of Technology

ABSTRACT

The effects of thermoregulatory responses with glove during exercise were tested in health males. Subjects exercised at approximately 65% $\dot{V}O_{2\max}$ at 10°C in seminude condition. There were no differences between the with and without glove condition in T_{es} , $\bar{T}_{sk}$ and HR. (R+C) increased in without glove condition during exercise. These results suggest that increased (R+C) by exercise may affect on core temperature in more severe condition.

要 旨

健康な男性3名を対象として、

1) 運動時の手指血流量増加が前腕部熱放散量にいかなる影響を及ぼすのか、

2) 前腕部を覆う長手袋の着・脱が運動時の前腕・手部からの熱放散量にいかなる変化を起こすのかを検討した。

手指血流量の増加は、前腕の熱放散量に大きく影響することが、手首の閉塞による実験で明らかとなり、寒冷環境下での運動時に、前腕部を覆う長手袋の効果が示唆された。

さらに、寒冷環境下で、比較的気密性の高い手袋を着用して運動した場合、前腕・手部からの熱放散量は極めて抑制されるが、運動中手袋を脱却した場合、前腕および手からの熱放散量は減少することなしに高いレベルを維持した。これは、一定の条件下では、運動時の前腕・手部からの熱放散量は、体温に影響するものと考えられる。

1. 緒 言

マラソンのような長時間運動時に、正常な熱出納を示すことは、極めて重要なことである。1987年、1月25日、正午の気温 5°C と低い温度のもとで行われた大阪女子国際マラソンで、先頭を走っていたリサ・マーチン選手（オーストラリア）は、快調なペースで39キロ地点に達した。しかしこの直後あらかじめ身に付けていた前腕・手部を完全に覆う手袋（長手袋）を脱いだ直後、マーチンは大きくペースを乱し先頭争いより脱落した。

この原因は、寒冷下で急激な長手袋の脱却による熱平衡の喪失が、大きくパフォーマンスに影響したものと推察される。手は熱放散の重要な部位であることは、すでに報告されている^{1,3)}。

しかし、手の血流が前腕部からの熱放散に及ぼす影響、とりわけ運動時のものは、永坂ら⁶⁾の報告があるにすぎない。

本研究では、

① 運動時の前腕部熱放散量は手指皮膚血流量に対していかなる影響を受けるのか。

② 運動時に前腕部を覆う長手袋を着・脱した場合に、体温調節反応にいかなる変化が起きるのか。について検討した。

研 究

2. 研究方法

1) 被 検 者

本研究では健康な成人男子3名を被検者とした。

2) 測定項目

① 食道温 (T_{es})

T_{es} は鼻孔から約 40cm の食道内にサーミスター（タカラ工業社製）を挿入させ測定した。

② 全身皮膚温 (T_{sk})、平均皮膚温 ($\bar{T}_{sk}$)

T_{sk} はサーミスターにより全身7ヵ所で測定した (T_1 : 前額皮膚温, T_2 : 体幹部皮膚温, T_3 : 前腕部皮膚温, T_4 : 手部皮膚温, T_5 : 大腿部皮膚温, T_6 : 下腿部皮膚温, T_7 : 足部皮膚温)。

$\bar{T}_{sk}$ は各部位の皮膚温から、それぞれ以下の係数をかけて算出した。

$$\begin{aligned}\bar{T}_{sk} = & 0.07T_1 + 0.35T_2 + 0.14T_3 + 0.05T_4 \\ & + 0.19T_5 + 0.13T_6 + 0.07T_7\end{aligned}$$

③ 心拍数 (HR)

HR は胸部双極誘導で導出した心電図出力を心拍計 (AT-600G, 日本光電), DC アンプ (SA 15u, ティアック), A/Dコンバーター (PS 80, ティアック) に入力し, 30秒間の平均値を算出し, 30秒ごとに記録・測定した。

④ サーモグラム

サーモグラフィー (富士通 INFRA-EYE160) を用いて, 1分ごとに皮膚温の分布を記録・撮影した。

⑤ 熱放散量 ($R+C$)

$R+C$ はサーモグラムにより記録した手・前腕

部の皮膚温分布図から、それぞれ、手・前腕部 16cm^2 の平均皮膚温を求め、この部位からの輻射と対流による $R+C$ を次の式によって算出した。

$$\text{手からの } R+C = hr+c (T_{sk} : \text{hand} - T_a)$$

$$\text{前腕からの } R+C = hr+c (T_{sk} : \text{arm} - T_a)$$

$hr+c$ は輻射と対流による熱伝達係数
($8.6\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$)

T_a は環境温

3) 実験手順

実験 I (図1)：前腕部・手の熱放散量の運動時の検討。

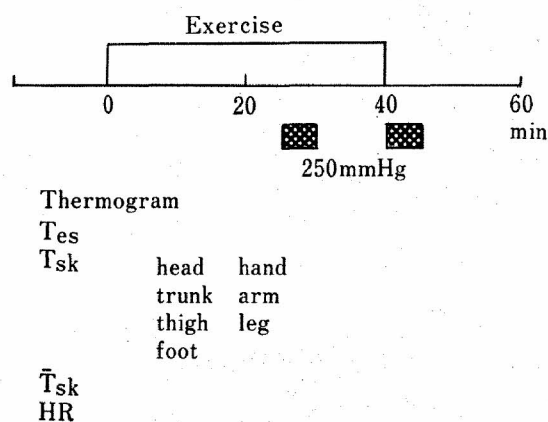


図1 実験Iの手順

被検者を2名とした。被検者は、ランニングパンツのみを着用し、心電図用電極、 T_{es} 用プローブを装着後、あらかじめ環境条件を一定（室温 20°C 、湿度30%）に調節された人工気象室に入室した。 T_{sk} 用サーミスター、手首加圧用カフ装着後、被検者は、両腕を前方に出した状態で自転車エルゴメータ（モナーク社製）に座り安静を保った（図2）。

20分間の安静を保った後、 $50\% \dot{V}O_{2\max}$ で40分間の運動を行い、さらに25分間の安静を保った。運動中、手指血流量の増加後10分間と、運動終了直後から10分間の2回、右手首に装着したカフを250mmHgに加圧し、動静脈の閉塞を行った。この間、サーモグラフィにより、前腕・手部のサ

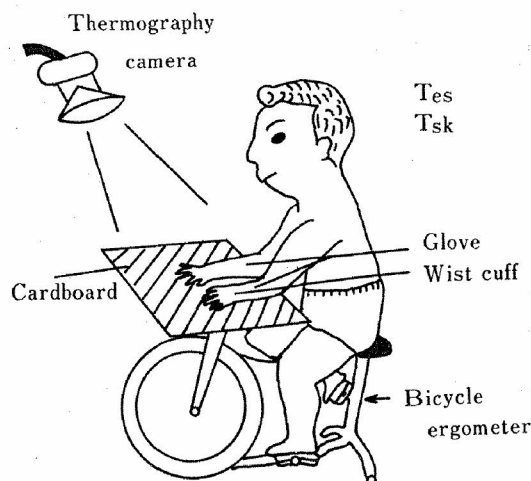


図2 実験風景

ーモグラムを行った。

実験 II (図3)：前腕・手部に及ぼす長手袋の効果の検討（6月13日午前中）

被検者を長距離ランナー1名とした。

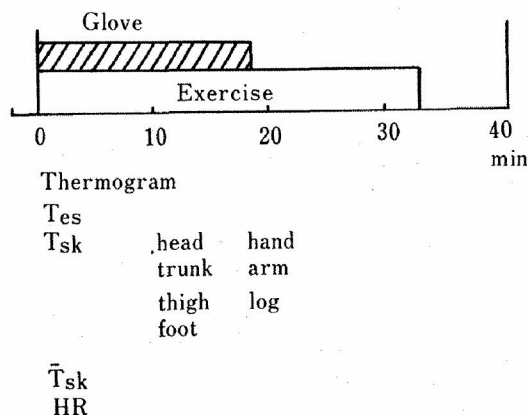


図3 実験IIの手順

被検者は、ランニングパンツと上・前腕および手手を覆う手袋（ロングオーバーミットタイプ：ナイロン100%、モンベル社製）を着用し、心電図用電極、 T_{es} 用プローブを装着後、室温 10°C 、湿度40%に調節された人工気象室に入室した。 T_{sk} 用サーミスター装着後、被検者は、サーモグラムが可能なように両腕を前方に出した状態で自転車エルゴメータに座り、 $65\% \dot{V}O_{2\max}$ の運動を開始した（図2）。手袋の脱却は体温が一定になり始めた18分目で行った。

結 果

図4に、安静時、運動時および回復時の前腕と手背のサーモグラムによる写真を示した。右前腕皮膚温の上昇は、手首の閉塞により完全に抑制され、左前腕（非閉塞）との差は、運動時で 2°C 、回復時で 5°C にも達した。

図5に運動の前腕R+Cに及ぼす手首閉塞の影

響を示した。熱放散量は運動開始後10分ごろから上昇し、その後一様に上昇し、運動終了後10分間くらいまで上昇を示した。

一方、手首の閉塞を行った腕熱放散量は運動中、運動後ともに減少し、手首を閉塞しなかった腕に比べ運動時でも $28\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、安静時 $50\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ の差が観察された。輻射・対流による前腕熱放散量は閉塞により減少し、その量は、運動時で、17

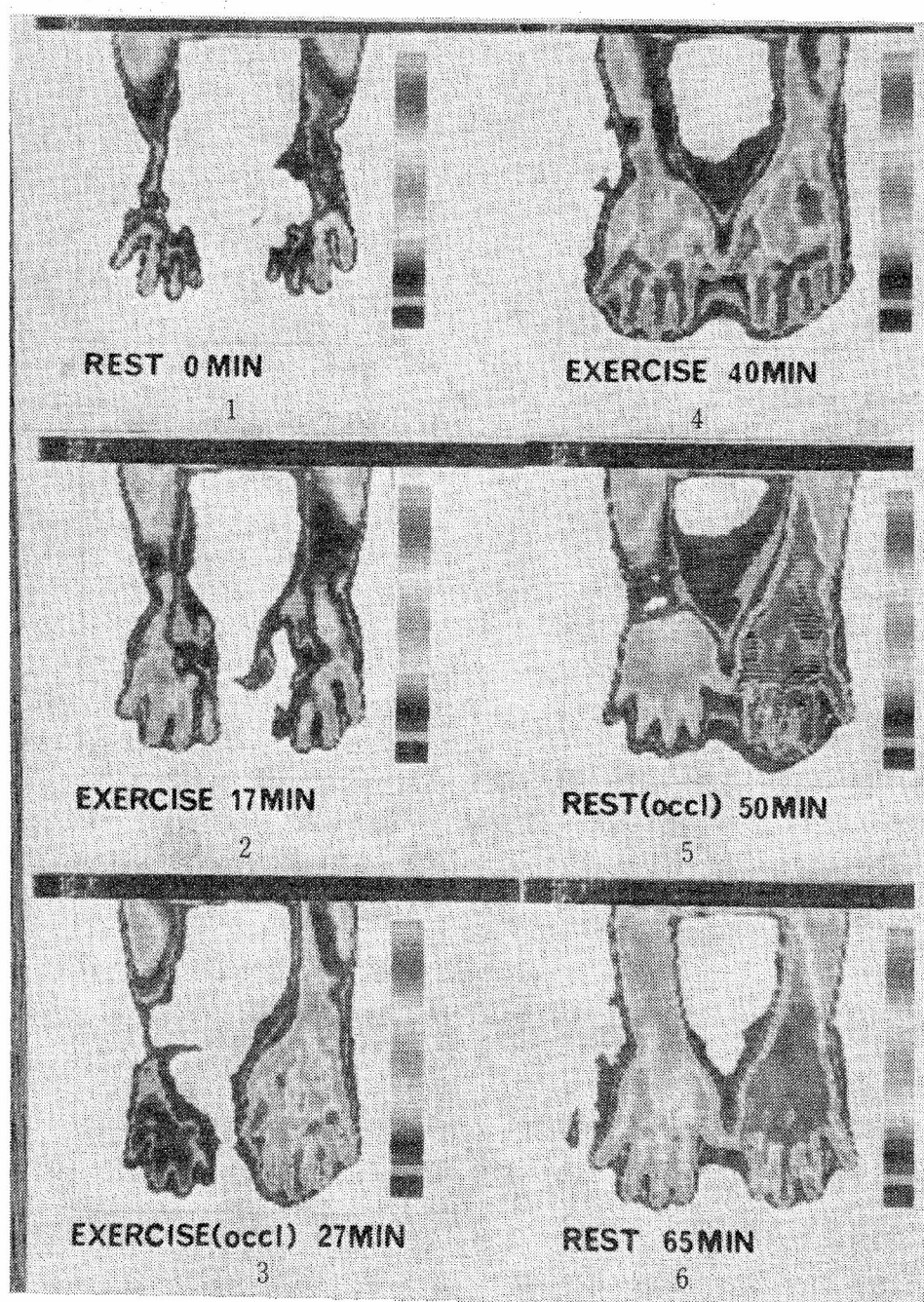


図4 運動時の右手首閉塞によるサーモグラムの比較

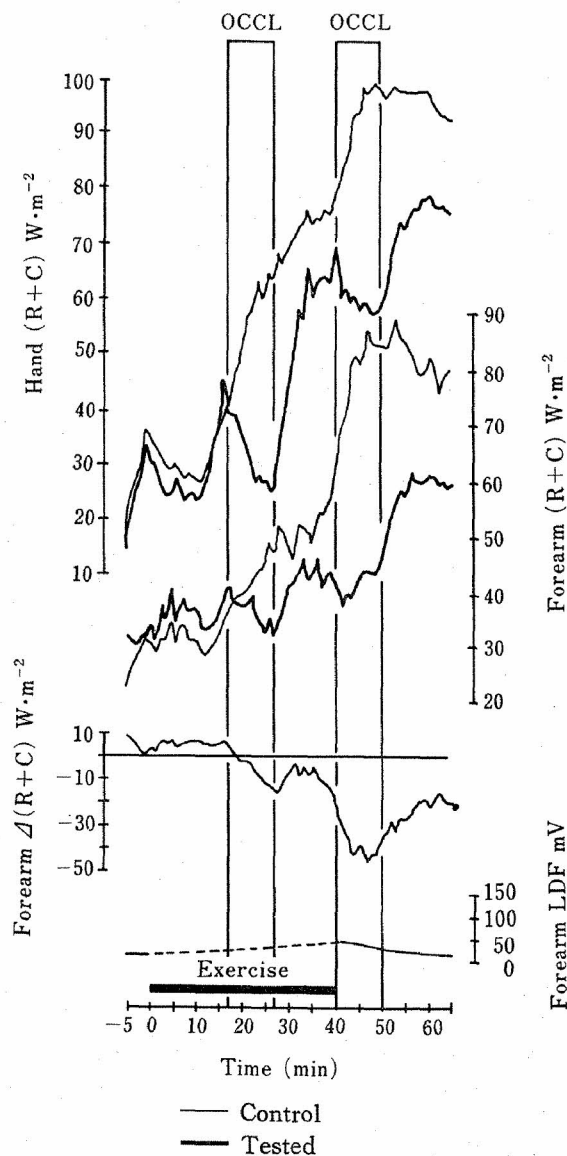


図5 運動時の左右前腕熱放散量に及ぼす手首閉塞の影響

$W \cdot m^{-2}$, 運動後は $43W \cdot m^{-2}$ にも達した。

図6に運動時の手・腕部からの熱放散量を経時的に示した。運動開始後1分目までは手袋着用時, 18分目以後は手袋脱却時を示す。手袋着用時は, 手袋から通過する熱放散量は手で $110W \cdot m^{-2}$, 腕で $95W \cdot m^{-2}$ と少なく, 手袋脱却後は, それぞれ $185W \cdot m^{-2}$, $150W \cdot m^{-2}$ という高い値の熱放散量が直接手腕から観察された。

図7は各部位の皮膚温の経時的変化を示したものである。前額部は運動開始後16分目まではわずかに下降したが, その後の上昇に転じ運動終了時に $33^{\circ}C$ を示した。

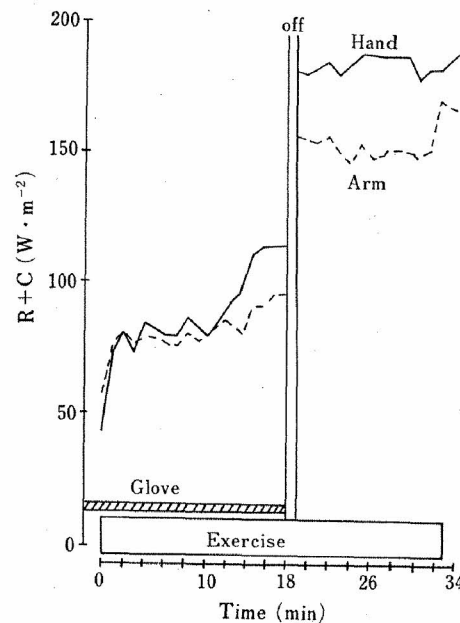


図6 運動時手袋着・脱による手腕熱放散量の変化

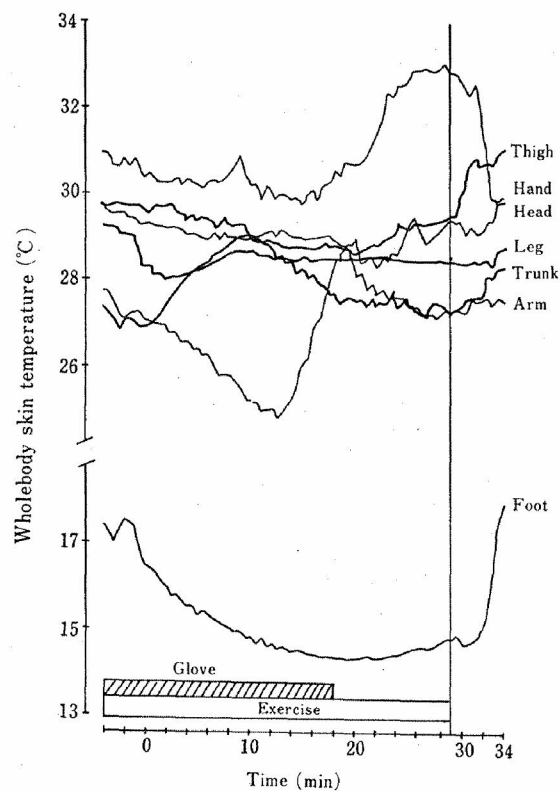


図7 皮膚温の経時的変化

大腿部は運動開始後ゆるやかに下降し, 19分目より上昇に転じ, 運動終了後も上昇し続けた。胸部は運動開始後, 緩やかに下降し, 18分以後はほとんど変化を示さず, 運動終了後わずかに上昇した。

下腿部は, 運動開始後2分まで下降し, その後

上昇に転じ10分目以後は、ほとんど変化しなかった。足は運動開始後徐々に低下し、運動終了時に14°C にいたった。運動終了後急激に上昇した。

手は運動開始後大きな変化は観察されなかった。前腕は運動開始後12分目まで低下しその後急激に上昇し、18分目以降は、ほとんど変化がみられなかった。また、前腕部の皮膚温の変化は、他の部位に比較し大きいことが観察された。

図8に食道温と平均皮膚温の経時の変化を示した。食道温は、運動開始時に36.8°Cであったが、運動開始後1分30秒まで急激に下降し、その後ゆるやかに上昇に転じ、22分以後、ほぼ37.7°Cで定常状態を示した。

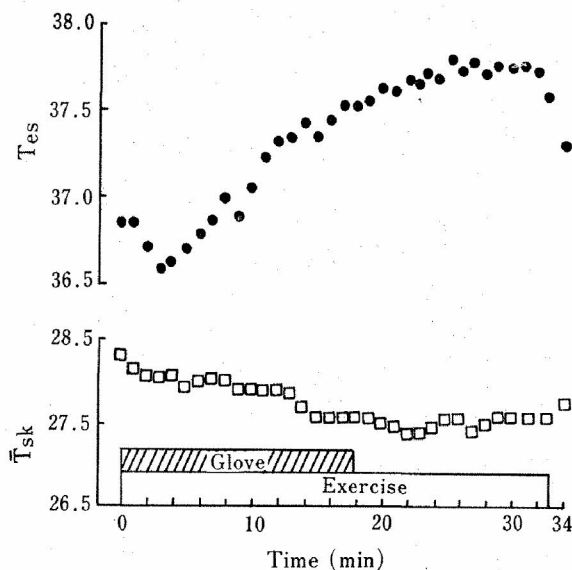


図8 体温、平均皮膚温の経時の変化

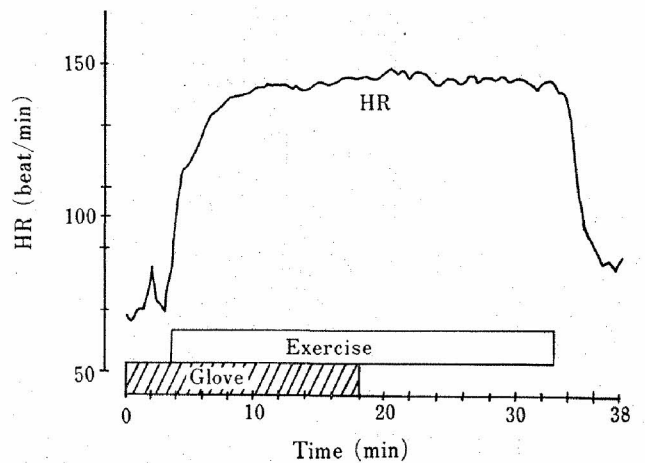


図9 心拍数の経時の変化

平均皮膚温は、運動開始後14分目まで徐々に低下し、その後27.5°Cで定常状態となった。

図9は心拍数の経時の変化を示したものである。心拍数は運動開始後12分目で、ほぼ145拍で一定となった。

考 察

本研究の目的の一つは、前腕部からの熱放散量に運動による手指血流量の増加が影響を及ぼすのかどうかを検討することであった。図5に示すごとく、前腕からの熱放散量の上昇は、手首の閉塞により抑制された。これは、前腕熱放散量は、手指血流量に大きく依存することを示唆するものである。

つまり、図10に示すように、運動による手指血

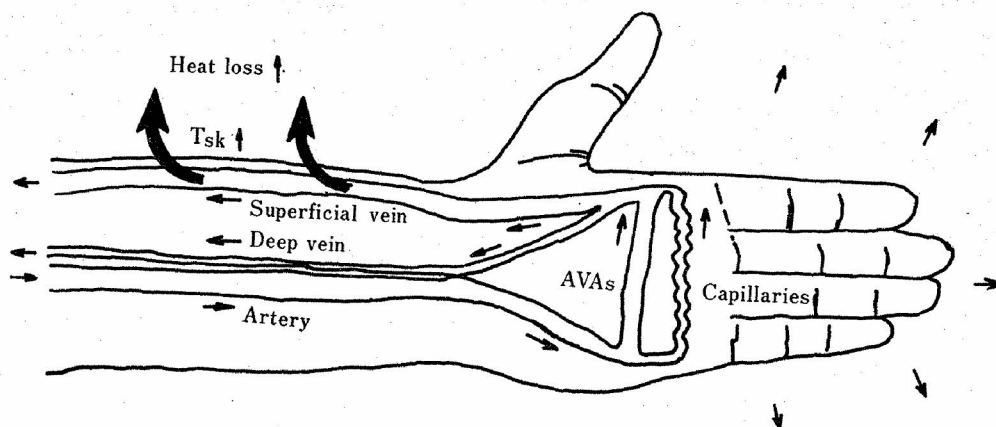


図10 運動時の前腕部放散量増加のメカニズム

流量の増加は、前腕の表在静脈血液温を上昇させ、前腕皮膚温および前腕からの熱放散量に影響し、少なくとも前腕熱放散量の50%は指からの還流血によるものと推察でき、運動時の熱出納に前腕および手の熱放散量は大きく影響するものと思われる。

本研究のもう一つの目的は、前腕部を覆う長手袋の脱・着が、運動時の体温調節反応に及ぼす影響について検討することであった。運動時に長手袋を通過する熱放散量は、手・腕それぞれ $110\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $95\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、長手袋脱却後直接皮膚からの熱放散量は、手、腕それぞれ $185\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $150\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ に達した(図6)。これは、運動時に手袋を脱却しても、手の皮膚血管の収縮が起こるようなことはなく、寒冷な環境であっても、手指皮膚血管が拡張した状態が続き、手・腕部から体熱放散が積極的に進むことを意味する。熱放散が増加すれば体温は下降する。しかし本研究では、手袋脱却後の熱放散の増加が観察されたにもかかわらず体温には変化が見られるまでにはいたらなかった(図8)。環境温度が低ければ低いほど体熱放散は対流に依存する。したがって、手袋などによる対流抑制効果は大きい。本研究の条件下(環境温 10°C 、 $60\%\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ ・自転車エルゴメータ)ではパフォーマンスに変化を与えるまでにいたらなかった(図9)。

しかし大阪女子国際マラソンのごとく

- ① さらに環境温を低くした場合。
- ② 運動強度をさらに大きくした場合(運動時の体温の変動は、運動強度が大きいほど著しい⁹⁾)。
- ③ 運動条件を自転車エルゴメータからトレッドミルにした場合(65%とかなり負荷が強いにもかかわらず心拍数は145拍/分しか上昇しなかった)。
- ④ 送風をした場合(手袋脱却後の対流効果が大きく、ランニングで腕を振るとき風を受ける)。

などの条件下では、手腕部熱放散量は手袋による調節により体温およびパフォーマンスに影響するものと思われる。

本研究に用いた長手袋は通気性の低いものであった(ナイロン 100%)。軍手のような通気性の高い素材の手袋では、運動時に手からの熱放散量は増加する^{2,6)}。これは本研究の結果とは異なり、手袋の材質により、手からの熱放散量は大きな影響を受けることが示唆される。リサ・マーチン選手の手袋の素材は不明だが、運動時に、運動様式や環境温度に合せた適切な素材を被服として使用することは極めて重要と考える。

総 括

1. 運動時の手腕部熱放散の重要性を検討するとともに長手袋の効果について検討した。
2. 輻射・対流による前腕熱放散量は閉塞により減少し、その量は、運動時で $17\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 運動後 $43\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ にも達した。
3. ナイロン製の長手袋を使用した場合と脱却した場合とでは、運動時の熱放散量には、手で $75\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、腕で $55\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ の差がみられ、寒冷下では、手袋を脱却しても運動中は皮膚血管が収縮しないものと示唆された。
4. 以上より手腕部は運動時の熱放散の重要な調節部位と考えられた。

お わ り に

デサントスポーツ科学振興財団に御援助を賜わり深謝いたします。

文 献

- 1) 平下政美, 平田耕造, 平井敦夫, 蜂矢鉄心;「運動時のハンドカロリメトリー」, 金沢経済大学論集, 14(1): 33-46 (1981)
- 2) 平田耕造, 永坂鉄夫, 平井敦夫, 平下政美, 高畑俊成;「直接カロリメータによる運動中の手からの熱放散量—熱放散量の変化からみたスポーツウ

- エアの検討」, デサントスポーツ科学, 2 : 98—104 (1981)
- 3) Hirata, K., Nagasaka, T., Hirai, A., Hirashita, M. and Takahata, T.; Peripheral vascular tone during heat load is modified by exercise intensity. *Eur. J. Appl.*, 51 : 7—15 (1983)
- 4) Hirata, K., Nagasaka, T., Hirai, A., Hirashita, M. and Takahata, T.; Suppression of finger vasodilator response during exercise in proportion to its intensity. In *Thermal Physiol.* Edited by J.R.S. Hales. Raven Press, New York. 381—384 (1984)
- 5) Hong, S.-I. and Nadel, E.R.; Thermogenic control during exercise in a cold environment. *J. Appl. Physiol.*, 47 : 1084—1089 (1979)
- 6) 永坂鉄夫, 平田耕造; 局所温熱負荷時の手指AVA 及び毛細管の血流量変化, 日本生気象学会雑誌, 39 (1987)
- 7) 登倉尋実, 後藤亮子; 軍手着用が安静時間女子の手からの dry heat loss に与える影響, 日本家政学会総会要旨集, 109 (1985)