

運動時の前腕部冷却が体温調節性 反応に及ぼす影響

長崎大学 菅原正志

(共同研究者) 同 田井村 明 博

同 今 中 國 泰

Effect of Forearm Cooling on Body Temperature Responses during Physical Exercise

by

Masashi Sugahara, Akihiro Taimura, Kuniyasu Imanaka

Department of Health and Physical Education,

Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University

ABSTRACT

This study was conducted to examine effect of forearm cooling on body temperature responses during exercise in a warm environment. \dot{V}_{O_2} , heart rate, rectal temperature, skin temperature, body weight and local sweat volume during cycling with submaximal intensity (60% $\dot{V}_{O_{2max}}$) of five trained and five untrained students were measured. All subjects exercised on bicycle ergometer for 50 minutes and their left forearm were exposed to cold air (-10°C) in the last 20 minutes during the exercise.

The results were as follows :

1. \dot{V}_{O_2} and heart rate decreased 10% in the trained group, 9% in the untrained group when they were examined 2~3 minutes after the cooling condition started.
2. Rectal temperature and mean skin temperature rose during the exercise and fell immediately after the cooling. The mean truncus

skin temperature also slightly fell after the cooling, but the fall was smaller than those of rectal temperature and mean skin temperature. The skin temperatures of the trained group were consistently higher than those of the untrained group.

3. The decrease in body weight of the untrained group after the exercise were significantly larger than that of the in trained group. The local sweat volume of chest were significantly increasing since the beginning of the exercise, but they were restrained in the cooling condition.

It was suggested that exposing a part of body to cold air during exercise in warm environment decrease stress in the respiratory system and the circulatory system, and restrain rise in body temperature and increase in sweat volume.

要 約

暑熱環境下において、60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ で自転車エルゴメータ運動を50分間行い、運動開始後30分より左前腕部を20分間-10°C寒気暴露し、酸素摂取量、心拍数、直腸温、皮膚温、体重減少量そして局所発汗量を測定し、以下の結果を得た。

1. 運動中に左前腕部を寒気暴露すると、2~3分後に運動群10%、対照群9%の酸素摂取量、心拍数の軽減が起こった。

2. 直腸温、平均皮膚温は、運動後上昇し、寒気暴露後直に低下した。また、同様に躯幹部平均皮膚温も寒気暴露により若干の低下がみられたが直腸温や平均皮膚温の低下より小さかった。皮膚温は、いずれも対照群が運動群より高く推移していた。

3. 運動前後における体重減少量は、対照群に有意に大きかった。また、胸部の局所発汗量は、両群ともに運動開始後有意に増加しているが、寒気暴露後は抑制された。

以上の結果は、暑熱環境下での運動時に身体の一部（前腕部）を冷却することにより、呼吸循環

系の負担の軽減、体温の上昇と発汗量増加を抑制する効果があることを示唆した。

緒 言

皮膚温や発汗量の変化は、運動の強度や環境温度の違いによって顕著にあらわれる。深部体温は、環境温度の変化に対してほとんど変動しないが、運動時には積極的な体温調節機構のはたらきにより、設定温度が引き上げられ、運動に暑熱が加味された状態では、深部体温はいっそう引き上げられる。常温下での運動中、局所を冷却した時の体温調節性反応の観察は、藤島ら²⁾の前額部や腰背部の冷却、平田ら⁴⁾の頭部冷却、Gisolfiら³⁾の上体冷却等があるが、暑熱下での身体運動における前腕部の冷却が、体温調節機構にどの程度の影響があるかを明らかにした報告は少ない。その反応を知ることは、暑熱環境下運動での体温調節反応機序を明らかにする手だてとして興味深い。そこで暑熱下での身体運動時において、前腕部冷却による皮膚温、発汗量、呼吸・循環能を測定し若干の知見を得たので報告する。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は、健康な男子大学生10名である。その内訳は、5年以上運動部に所属し定期的に身体活動をしている者5名、これを運動群とした。また、これまで運動経験のない者5名、これを対照群とした。各被験者の身体的特性を表1に示した。最大酸素摂取量から見た体力は、運動群3.59 l/minが対照群2.79 l/minより有意に大きかった。

1.2 実験の方法

気温30℃前後、相対湿度60%内外、そして気流0.5 m/secの室内に食後2時間以上経過し、さらに測定室に1時間以上滞在させた後運動負荷を実施した。また、実験時の衣服は半そでシャツにランニングパンツとした。

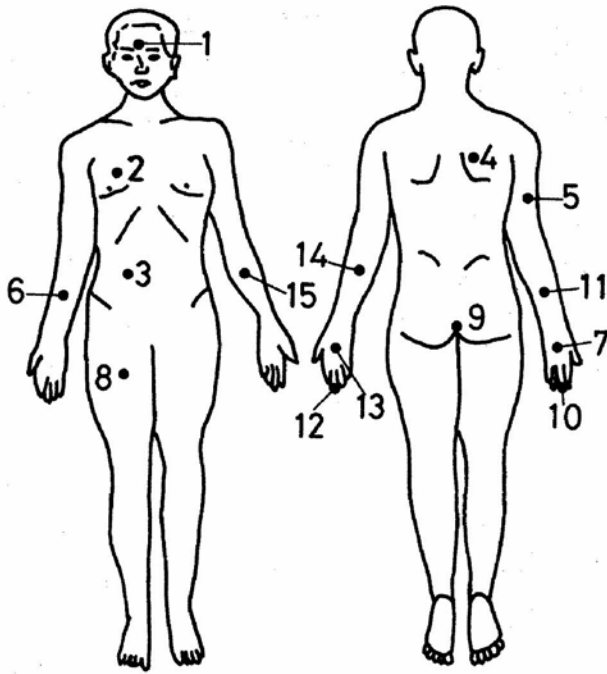
運動負荷は、モナーク製の自転車エルゴメータで行った。各被験者ともに最大酸素摂取量の60%

(以下、60% $\dot{V}O_{2max}$) の運動で実施し、ちなみに、負荷強度は1.5 kp~2.5 kp, 60 rpmであった。運動は、50分間行い、運動開始30分経過後、左前腕部を-10℃の寒気に運動終了までの20分間暴露(Katoの恒温槽)した。また、運動終了後5分間の回復状態を観察した。

実験中の酸素摂取量と心拍数は、ミナト医科学エアロモニタAE-280と日本光電ライフスコープ6で同時に記録した。皮膚温と直腸温は千野製作所製EH-3200で、図1に示す部位を1分間隔で連続記録した。各皮膚温は、緒方の方法⁹⁾により全身平均皮膚温(平均皮膚温)を、額・胸・腹・背・上腕・前腕内面・手背・大腿の8点に面積比率を加重負荷して求めた(上腕・前腕内側・手背は右非寒気暴露側)。また、前腕部平均皮膚温は、中指末節背部・手背・前腕外面・前腕内面の4点、躯幹部平均皮膚温は、胸・背・腹の3点をそれぞれ加重平均して求めた。全身の発汗量は、運

表1 被験者の身体的特性

| 被験者 | 年齢 | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 皮下脂肪厚 (mm) | | | 体脂肪 (%) | LBM (kg) | 最大酸素摂取量 | |
|-----------|------|------------|------------|------------|------|------|------------|-------------|---------|-------------|
| | | | | 上腕 | 背部 | 腹部 | | | (l/min) | (ml/kg/min) |
| 《運動群》 | | | | | | | | | | |
| K. N. | 20.4 | 176.4 | 59.8 | 4.5 | 5.5 | 6.0 | 9.1 | 54.4 | 3.40 | 56.9 |
| Y. N. | 19.9 | 182.0 | 62.5 | 5.0 | 7.5 | 6.5 | 10.2 | 56.0 | 3.49 | 55.8 |
| A. Y. | 21.3 | 169.7 | 56.5 | 4.0 | 7.0 | 5.5 | 9.5 | 51.1 | 3.35 | 59.3 |
| T. Y. | 18.6 | 176.3 | 62.5 | 7.0 | 9.0 | 7.0 | 11.8 | 55.1 | 3.86 | 61.8 |
| Y. A. | 19.4 | 174.0 | 64.0 | 8.5 | 9.0 | 12.5 | 12.5 | 56.0 | 3.85 | 60.2 |
| N | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| \bar{x} | 19.9 | 175.68 | 61.06 | 5.80 | 7.60 | 7.50 | 10.62 | 54.52 | 3.59 | 58.80 |
| SD± | | 3.99 | 2.65 | 1.69 | 1.32 | 2.55 | 1.32 | 1.81 | 0.22 | 2.16 |
| 《対照群》 | | | | | | | | | | |
| K. Y. | 18.5 | 174.3 | 62.8 | 8.5 | 9.5 | 10.0 | 12.7 | 54.8 | 2.76 | 44.0 |
| R. I. | 19.6 | 170.0 | 59.3 | 4.0 | 8.5 | 10.0 | 10.2 | 53.2 | 3.16 | 53.3 |
| S. Y. | 20.9 | 165.5 | 53.9 | 6.5 | 8.0 | 12.0 | 11.1 | 47.9 | 2.59 | 48.1 |
| N. N. | 19.3 | 175.5 | 56.3 | 5.5 | 9.0 | 6.0 | 11.1 | 50.0 | 2.76 | 49.0 |
| T. H. | 22.1 | 168.0 | 54.7 | 7.0 | 7.5 | 6.0 | 11.1 | 48.6 | 2.68 | 49.0 |
| N | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| \bar{x} | 20.1 | 170.66 | 57.40 | 6.30 | 8.50 | 8.80 | 11.24 | 50.90 | 2.79 | 48.68 |
| SD± | | 3.76 | 3.27 | 1.50 | 0.71 | 2.40 | 0.81 | 2.67 | 0.20 | 2.96 |



- | | | |
|-------------|--------------|------|
| 1. 額 | 9. 直腸 | 寒気曝露 |
| 2. 胸 (右) | 10. 中指背部 (右) | |
| 3. 腹 (右) | 11. 前腕外面 (右) | |
| 4. 背 (右) | 12. 中指背部 (左) | |
| 5. 上腕 (右) | 13. 手背 (左) | |
| 6. 前腕内面 (右) | 14. 前腕外面 (左) | |
| 7. 手背 (右) | 15. 前腕内面 (左) | |
| 8. 大腿 (右) | | |

図1 測温部位

動前後の体重変動をドイツ製 Sauter E-1210 で 1 g 単位まで測定した。また、局所発汗量はカプセルを用いた滷紙法 (右側胸部 70 cm²) によった。運動開始より 15 分 (15 分間), 15 分より 30 分 (15 分間), 30 分より 50 分 (20 分間) の滷紙重量をそれぞれ測定し、前後の滷紙重量差から発汗量を算出した。発汗の開始を観察するために日本電子データム製のサーモビューアで皮膚温を記録した。

2. 結果

60% $\dot{V}O_{2max}$ での運動と回復時の酸素摂取量の推移を、図2に示した。運動群の酸素摂取量は、運動開始より 7 分後、対照群は 10 分後に定常状

態となっている。運動が 30 分経過した後、左前腕部を -10°C 寒気暴露すると、運動群、対照群ともに 2~3 分後に運動群 10%、対照群 9% の酸素摂取量の軽減が起こり、その後寒気暴露前のレベルに向かい増加しているが、運動中完全には戻らなかった。また、図3に心拍数の推移を示したが、酸素摂取量とほぼ同じ傾向であった。

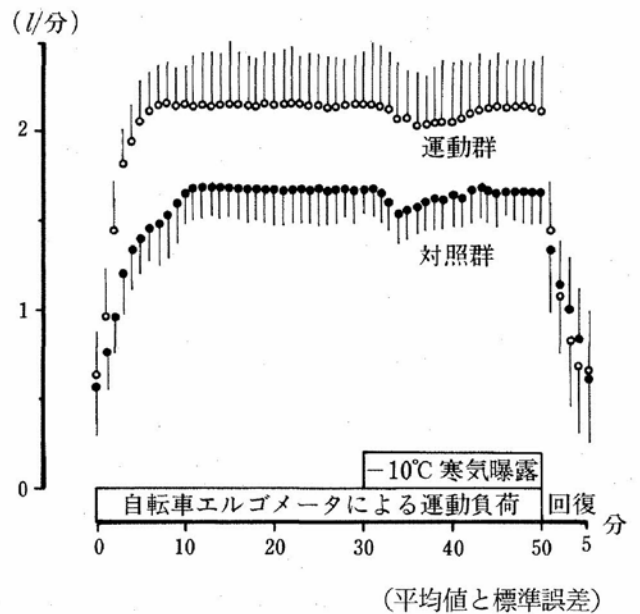


図2 運動および回復時の酸素摂取量 (l/分) の変化

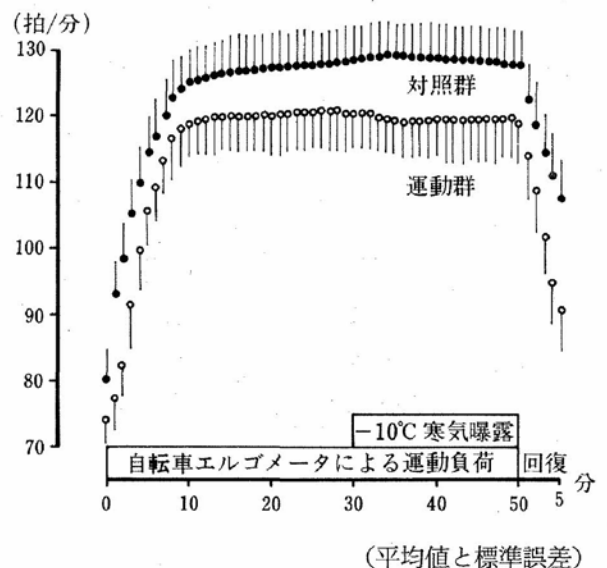


図3 運動および回復時の心拍数 (拍/分) の変化

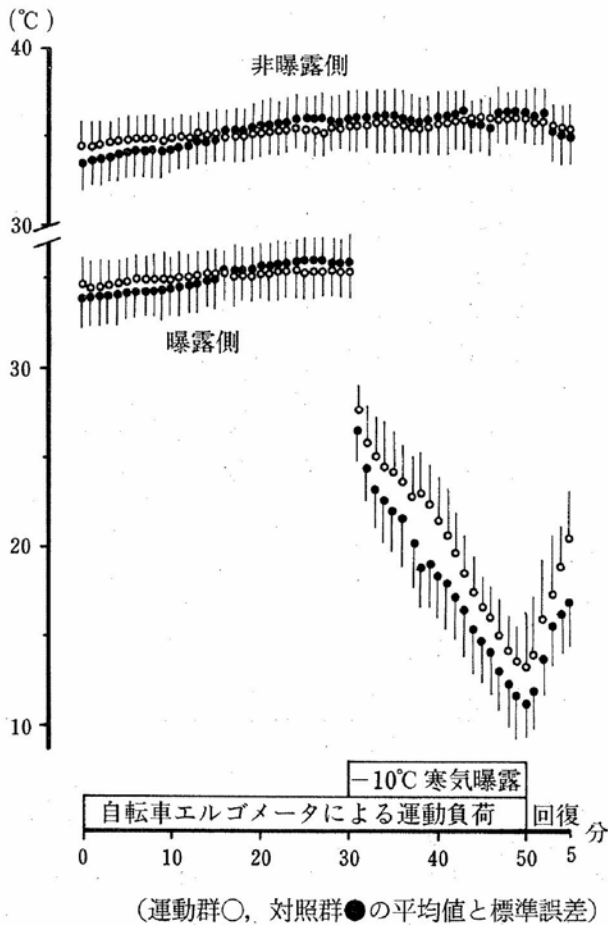


図4 運動および回復時の前腕部平均皮膚温の変化

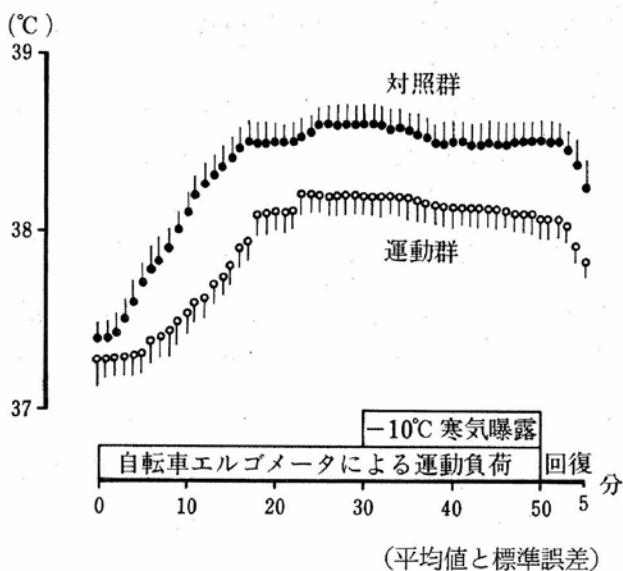


図5 運動および回復時の直腸温の変化

運動中に左前腕部を-10°C寒気曝露した時の、中指背部・手背部・前腕内面・前腕外面4点の平
デサントスポーツ科学 Vol.13

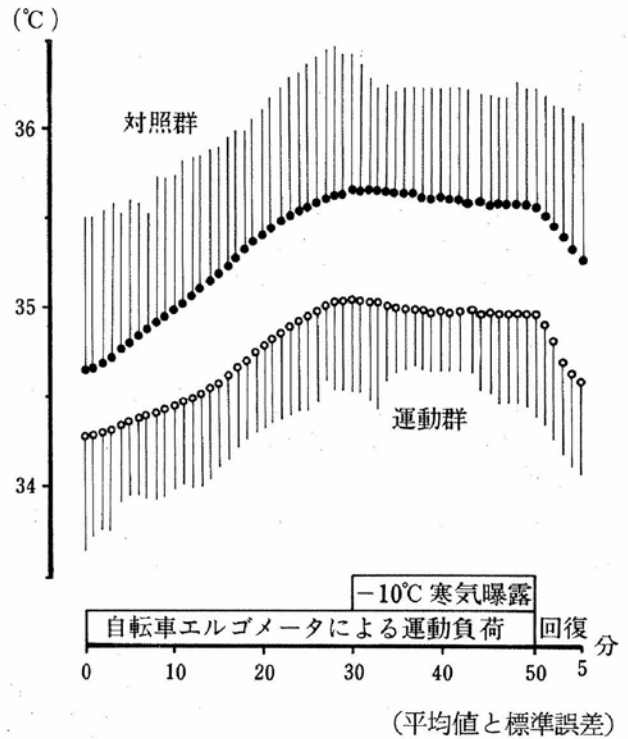
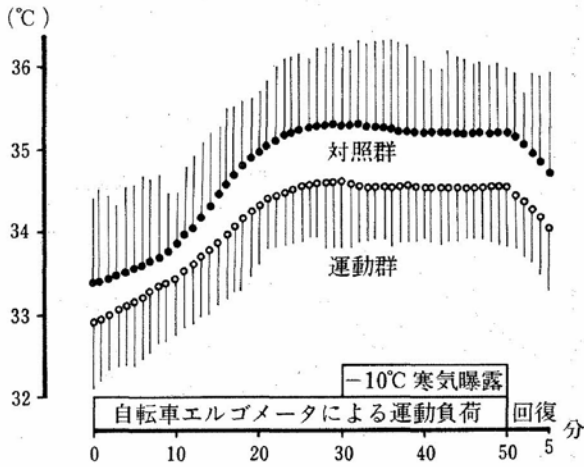


図6 運動および回復時の軀幹部平均皮膚温の変化

均皮膚温(前腕部平均皮膚温)を図4の下段に示した。前腕部平均皮膚温はゆるやかに上昇し、寒気曝露後すぐに低下し、運動群は曝露後7分で、また、対照群は曝露後8分でハンチング反応が出現し、その後は運動終了まで低下した。一方、寒気曝露を受けなかった右前腕部の前腕部平均皮膚温の推移を、図4の上段に示した。運動により上昇し、30分後には安定し、その後横ばい状態を示している。

運動中そして寒気曝露中の直腸温の推移を図5に示した。深部体温の指標としての直腸温は、全般に対照群が運動群より高い。両群とも運動開始18分後に安定し、寒気曝露後3~4分後に低下し、その後上昇することはなかった。

図6に胸・背・腹部3点の平均皮膚温(軀幹部平均皮膚温)を示した。運動時間の経過とともに軀幹部平均皮膚温は上昇し、開始後28分で安定していた。そして、寒気曝露により若干の低下がみられた。全般に対照群の軀幹部平均皮膚温が高



(平均値と標準誤差)

図7 運動および回復時の平均皮膚温の変化

表2 運動前後の体重減少量 (g)

| 《運動群》 | | 《対照群》 | |
|-----------|-------|-----------|-------|
| K. N. | 545 | K. Y. | 840 |
| Y. N. | 537 | R. I. | 784 |
| A. Y. | 597 | S. Y. | 721 |
| T. Y. | 539 | N. N. | 905 |
| Y. A. | 440 | T. H. | 618 |
| N | 5 | N | 5 |
| \bar{x} | 531.6 | \bar{x} | 773.6 |
| SD± | 50.9 | SD± | 98.8 |

表3 運動中における胸部皮膚面の局所発汗量 (g/70cm²)

| 測定時間 | 0～15分 | ～30分 | ～50分 | | 0～15分 | ～30分 | ～50分 |
|-----------|-------|------|------|-----------|-------|------|------|
| 《運動群》 | | | | 《対照群》 | | | |
| K. N. | 1.25 | 2.58 | 1.16 | K. Y. | 2.38 | 3.10 | 2.17 |
| Y. N. | 1.40 | 2.20 | 1.45 | R. I. | 2.10 | 2.47 | 1.68 |
| A. Y. | 1.38 | 2.92 | 2.21 | S. Y. | 2.02 | 3.08 | 2.59 |
| T. Y. | 1.05 | 1.93 | 1.01 | N. N. | 2.47 | 3.05 | 2.88 |
| Y. A. | 1.14 | 2.97 | 1.21 | T. H. | 1.59 | 2.88 | 1.83 |
| N | 5 | 5 | 5 | N | 5 | 5 | 5 |
| \bar{x} | 1.24 | 2.52 | 1.41 | \bar{x} | 2.11 | 2.92 | 2.23 |
| SD± | 0.14 | 0.40 | 0.43 | SD± | 0.31 | 0.24 | 0.45 |

かった。

図7に暴露した左腕側の皮膚温を除く、全身8点より求めた平均皮膚温を示した。運動開始30分前後まで上昇し、寒気暴露後直ちに低下している。対照群が、運動群より平均皮膚温が高いのは共通していた。

運動前後における体重減少量(全身発汗量)を表2に示した。運動群 531.6 ± 50.9 g に対し対照群 773.6 ± 98.8 g と体重減少は、対照群に有意に大きかった。また、運動中における胸部の局所発汗量を、表3に示した。全般に対照群が運動群に比べ有意に多い。両群ともに運動開始15分とその後30分までの15分間との間は、運動群 1.24 ± 0.14 g/70cm² に対し 2.52 ± 0.40 g/70cm²、対照

群 2.11 ± 0.31 g/70cm² に対し 2.92 ± 0.24 g/70cm² といずれも有意に増加しているが、左前腕部の寒気暴露の30分より50分までの20分間は運動群 1.41 ± 0.43 g/70cm²、対照群 2.23 ± 0.45 g/70cm² と15分より30分の15分間よりも有意な減少となっている。また、測定時間の差はあるが、運動開始後15分間と寒気暴露後20分間には両群とも差は認められなかった。運動群の発汗開始時間は運動後 6.1 ± 2.3 分に対し、対照群 3.0 ± 2.2 分と発汗開始時間に有意差があった。

3. 考 察

運動中の体温調節反応に関する研究は、これまで多くの研究者によって報告されている。快適な

環境下において中等度運動の際、深部体温や皮膚温は直ちに上昇せず潜伏時間が存在し、運動開始後数分を経て定常状態が成立し、負荷時間の程度によって再び上昇傾向を示すことは、藤島ら¹⁾、丹羽ら⁸⁾、黒田ら⁹⁾の報告がある。本成績でも直腸温は、対照群が3分後に、運動群は6分後に上昇し始め、その後18～23分後に定常状態が成立している。また、平均皮膚温は運動開始より上昇を始め、直腸温同様18～23分後に一定のレベルに達しているが、運動時の環境温度が30℃という暑熱下であったことが平均皮膚温を運動開始直後より上昇させたと思われる。

酸素摂取量と心拍数は、およそ10分前後で定常状態があらわれて、呼吸循環機能の安定した後に皮膚温の安定が見られたことは興味ある事実である。

運動時の発汗には、皮膚温と直腸温が関与し¹⁰⁾、さらに発汗は皮膚温や直腸温に先立って始まり、運動にともなう神経や筋肉の活動もまた要因となる⁷⁾とする報告がある。また、藤島ら¹⁾も同様な事実を認めている。本成績も発汗開始時間は、運動群と対照群で異なっていたが、いずれの場合も発汗と皮膚温や直腸温の上昇はよく一致していた。

全身寒冷暴露に関する研究は、これまで多くの研究者によってなされ、その反応は運動群が非運動群に比べ優れていたことは高島ら¹²⁾も認めているところであり、その他数多くの研究者も同様の報告をしている。このように、運動鍛錬者や寒冷適応者^{6, 11, 13)}が寒冷ストレスに対し対照者より耐寒性があることは、副交感神経が優位であると考えられる。また、運動時に身体を冷却することは、皮膚温や深部体温の上昇の抑制、そして生体負担の軽減効果があり対照群より運動群の方が反応が大きかったことが推測された。Gisolfiら³⁾は、最大酸素摂取量の70%運動強度で2時間の運動中、上体を冷却しても深部体温の上昇は防止できなかったとしている。

一方、藤島ら²⁾は、至適環境の中で運動中に前額部や腰背部を冷却した結果、直腸温および平均皮膚温の上昇が抑制されたと報告している。本実験では、暑熱環境下での運動時において、呼吸循環系や直腸温、平均皮膚温等が定常状態を呈した後(運動開始30分後)に、左側前腕部(肘より前部)を-10℃の寒気に暴露すると、酸素摂取量、心拍数の減少すなわち呼吸循環系への負担の軽減、直腸温、平均皮膚温の低下が認められたのはこれまで至適温度条件で報告された結果と一致した。また、直腸温、皮膚温ともに運動群が低値を示したのは、熱放散が効率よく行われていることを示している。

暑熱に人が暴露された場合、熱放散を促すために皮膚血管は拡張し皮膚温を上げ、さらに発汗が起こり体温を一定レベルに保とうとする。しかし重要な臓器の体温を維持しようとする働きがあり、躯幹部平均皮膚温の暴露後の低下が他と比べ小さかったのはこれらのことに起因すると思われる。さらに、胸部における発汗量は、暴露後が前より有意に少なかったことは、直腸温および平均皮膚温の低下と同調していた。

4. ま と め

10名の健康な大学生(運動群5名、対照群5名)を被験者として、気温30℃前後、相対湿度60%内外そして気流0.5 m/secの暑熱環境下で、最大酸素摂取量の60%強度で自転車エルゴメータ運動を50分間実施した。30分の運動後、左前腕部を20分間-10℃寒気に暴露し、心拍数、酸素摂取量、皮膚温、直腸温、体重減少量そして局所発汗量を測定した。結果は、以下の通りである。

A. 酸素摂取量と心拍数は、運動開始より7分後、対照群は10分後に定常状態が成立した。運動中に左前腕部を-10℃寒気暴露すると、2～3分後に運動群10%、対照群9%の酸素摂取量、心拍数の軽減が起こった。

B. 直腸温は、全般に対照群が運動群より高く、運動開始18分後に安定した。寒気暴露後は、3～4分後に低下し、その後再上昇することはなかった。測定8点の平均皮膚温は、運動開始後約30分まで上昇し、寒気暴露後直に低下した。また、測定3点の躯幹部平均皮膚温は、開始後28分で安定し、寒気暴露により若干の低下がみられたが平均皮膚温や直腸温の低下より小さかった。皮膚温は、いずれも対照群が運動群より高く推移していた。

C. 運動前後における体重減少量(全身発汗量)は、対照群に有意に大きかった。また、胸部の局所発汗量は、全般に対照群が運動群に比べ有意に多かった。運動開始より15分間とその後30分までの15分間は、いずれも有意に局所発汗量が増加しているが、寒気暴露後は暴露前に比べ少なかった。発汗開始時間は、対照群が運動群よりも早かった。

以上の結果は、暑熱環境下での運動時に身体の一部(前腕部)を冷却することにより、呼吸循環系の負担の軽減、体温の上昇と発汗量増加を抑制する効果があることを示唆した。

文 献

- 1) 藤島和孝, 太田裕造, 小室史恵; 運動負荷時の体温調節反応に関する研究, *デサントスポーツ科学*, **1**, 136-142 (1981)
- 2) 藤島和孝, 大柿哲朗, 小室史恵; 運動時の身体冷却

が生理的反応に及ぼす影響, *デサントスポーツ科学*, **7**, 231-239 (1986)

- 3) Gisolfi, C. V., J. R. Copping; Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat, *Med. Sci. Sports*, **6**, 108-113 (1974)
- 4) 平田耕造, 永坂鉄夫, 野田祐子, 紫藤 治, 平井敦夫, 平下政美, 高畑俊成; 化粧と運動時の選択的脳冷却効果, *デサントスポーツ科学*, **9**, 243-256 (1988)
- 5) 黒田善雄, 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 北嶋久雄, 松井美智子; 運動時における体温の動的様相—運動開始時の深部体温の変化について, *日本体育協会スポーツ科学研究報告*, 1-10 (1976)
- 6) LeBlanc, J., Dulac, S., Côté, J., Girard, B.; Autonomic nervous system and adaptation to cold in man, *J. Appl. Physiol.*, **39**, 181-186 (1975)
- 7) Nielsen, M.; Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit, *Skand. Arch. Physiol.*, **79**, 193-230 (1938)
- 8) 丹羽健市, 中山昭雄; 高湿度環境における運動時の体温調節, *体力科学*, **27**, 11-18 (1978)
- 9) 緒方維弘; 日本人の耐寒性とその測定方法, *日本人の適応能*, 講談社, 18-31 (1970)
- 10) Robinson, S.; The regulation of sweating exercise: In: *Advances in Biology of Skin*. New York, *Pergamon Press*, **3**, 152-162 (1962)
- 11) 菅原正志, 中村 正; 運動鍛錬と寒冷血管反応, *体力科学*, **31**, 1-7 (1983)
- 12) 高島慎助, 佐藤尚武, 沢井敬子; 短時間の全身寒冷暴露による循環および体温の変化(運動群と非運動群の比較), *体力科学*, **32**, 87-96 (1983)
- 13) 高島慎助; 一側手冷水浸漬の心拍数および血圧への影響, *三重大学環境科学研究紀要*, **7**, 41-51 (1982)