

運動時の身体冷却が生理的反応に及ぼす影響

九州大学 藤島和孝

(共同研究者) 同 大柿哲朗

同 小室史恵

Effects of Body Cooling during Exercise on Physiological Responses

by

Kazutaka Fujishima,
Tetsuro Ohgaki and Toshie Komuro
Kyushu University

ABSTRACT

The purpose of this study was to observe the effects of body cooling during submaximal exercise on thermoregulatory responses. Nine healthy male subjects pedalled a bicycle ergometer at the work rate of 55% $\dot{V}O_{2\max}$ for 60 minutes, under the temperate condition: ambient temperature, 24°C and room humidity, 50%.

The subjects were cooled by means of cold packs (147 cm²) for 5 minutes. During exercise, the cooling was performed every 15 minutes through the following procedures 1) a 5-minute's cooling of forehead skin after the initial 15 minutes of exercise, 2) a 5-minute's cooling of lumbodorsal skin after 30 minutes of exercise, 3) a 5-minute's cooling of both forehead and lumbodorsal skin after 45 minutes of exercise. For the recovery period, another 5-minute cooling was given to both forehead and lumbodorsal skin, starting from 5 minutes after the exercise was over.

The results are summarized as follows:

1) The rate of increase in ear canal (Tear) and rectal (Tre) temperatures was slightly reduced by the forehead cooling during exercise. However, as for mean skin ($\bar{T}_{sk}$) and mean body ($\bar{T}_b$) temperatures and heat storage, there were no obvious effects of the cooling.

2) The rate of increase in Tear, Tre and $\bar{T}_{sk}$ was reduced in the experi-

ments for the lumbodorsal cooling and the forehead and lumbodorsal cooling during exercise.

3) Loss of body weight during exercise was approximately 1.1% of the total body weight. No noticeable relationship was observed between body cooling and sweat rate.

4) The rising of heart rate during exercise was slightly inhibited by the series of body cooling.

5) Both forehead and lumbodorsal cooling gave no immediate effects on a decrease of deep temperatures during the recovery period, but elicited a reduction of heat storage as a result of the large decreased rate of $\bar{T}_{sk}$.

The above results suggest that the increases of body temperature and heart rate were restrained by body cooling during submaximal exercise.

緒 言

長距離走などの競技中に身体の一部を冷却する光景をよく見かけるが、この行動に対する科学的根拠はどうなのであろうか。確かに私たちは、運動中や運動後に「顔面または他の部位を冷たいタオルでふくことによって、快適さを感知し」、さらに「腹部より腰背部の暑熱感覚を経験する」ことがある。

運動時の体温上昇および心拍数増加を抑制する手段として、水分摂取や身体冷却の効果が期待されている。運動時の水分摂取が生体に及ぼす影響については、体温上昇および心拍数増加の軽減^{11,15,17,19)}や作業成績の効果^{2,3,5,8)}の面から報告されている。また、運動時の身体冷却に関して、Gisolfi と Copping¹¹⁾ は、最大酸素摂取量の70%に相当する強度で、トレッドミルによる2時間の運動中、冷たいタオルで上体を冷却しても、直腸温の上昇を防止できないと報告している。

本研究は、運動時の前額部ならびに腰背部冷却が深部体温、皮膚温、体熱量および心拍数などの変動にどのような影響を及ぼすかを、体温調節機能の立場から検索するために行った。

方 法

1. 対 象

被験者は、年齢19～23歳の健康な男子大学生9名を対象とした。被験者の身体的特徴は表1に示した。なお、体表面積(SA)は、藤本ら⁹⁾の式から算出した。

2. 運動強度と実験手順

1) 最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)の測定

自転車エルゴメータ(Jonas øglaend 社製, 990型)を用いて、被験者に50rpmでペダリングをさせ、75kpm/minから2分ごとに75kpm/minずつ負荷を漸増させてexhaustionに至らせた。運動中、連続してMijnhardt Oxycon Systems(Mijnhardt 社製, OX-4型)を用いて採気し、30秒間ごとの酸素摂取量($\dot{V}O_2$)を測定し、得られた $\dot{V}O_2$ の最大値を $\dot{V}O_2\max$ とした。 $\dot{V}O_2\max$ の判定規準には、 $\dot{V}O_2$ のlevelling off²¹⁾および呼吸交換比(R)が1.15以上¹⁴⁾を用いた。なお、Oxycon Systemsの校正は、既知の標準ガス、呼気ガス分析器(Beckman 社製, OM-11型, LB-2型)および湿式実験用ガスメータ(品川製作所製, 1回転10L)を用いて行った。な

表1 Physical characteristics of subjects

Subj.	Age (yr)	Ht (cm)	Wt (kg)	SA (m ²)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)
F.M.	19	169.7	68.17	1.74	46.4
M.M.	19	175.7	59.92	1.68	40.3
Y.T.	23	155.4	54.06	1.48	44.3
T.T.	19	174.1	65.91	1.75	44.5
S.T.	21	170.0	60.82	1.66	49.2
F.K.	19	173.0	59.66	1.66	45.3
M.K.	20	170.4	82.66	1.90	37.8
F.D.	19	175.2	70.61	1.81	54.6
W.B.	18	172.2	59.93	1.66	42.5
Mean ($\pm$ SD)	19.7 (1.4)	170.6 (5.8)	64.64 (7.96)	1.70 (0.11)	45.0 (4.6)

お、被験者の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、平均 $45.0 \pm 4.6 \text{ ml/kg/min}$ であった。

2) 相対的負荷強度の決定

exhaustion test 時で得られた $\dot{V}O_2$ と負荷強度との関係から、相対的負荷強度を求めた。この負荷強度を 75 kpm/min 単位で調整し、 $55\% \dot{V}O_2\text{max}$ に最も近い負荷強度を運動強度とした。なお、被験者の運動強度は、平均 $54.0 \pm 3.0\% \dot{V}O_2\text{max}$ であった。

3) 身体冷却の方法

運動中の身体冷却は、 5°C に冷却した cold pack (通称：アイスノン、表面積 147 cm^2) を用いて、1) 運動開始15分後から同20分までの5分間は前額部、2) 同30分後から同35分までの5分間は腰背部、3) 45分後から同50分までの5分間は前額部と腰背部を同時にそれぞれ冷却した。さらに回復期では、同じ方法で前額部と腰背部を運動終了5分後から同10分までの5分間、同時冷却した。

4) 運動時間と環境条件

被験者は、ショートパンツだけを着用し、室温 24°C 、湿度50%にセットされた人工気象室内で、自転車エルゴメータを用いて、 $55\% \dot{V}O_2\text{max}$ に相当する負荷強度で60分間の運動を行った。な

お、実験はすべて7月中旬から下旬に実施した。

3. 測定項目とその方法

測定項目は、体温反応、体熱量、発汗応答、心拍数および酸素摂取量とした。

1) 体温反応と体熱量

外耳道温 (T_{ear}) は、外耳孔から約 $2.0 \sim 2.3 \text{ cm}$ 、直腸温 (T_{re}) は、肛門から直腸内 12 cm の位置でそれぞれ測定した。

皮膚温は胸、上腕、大腿および下腿で測定し、平均皮膚温 ($\bar{T}_{\text{sk}}$) は、4点法²⁰⁾ による $\bar{T}_{\text{sk}} = 0.3 (\text{胸部温} + \text{上腕部温}) + 0.2 (\text{大腿部温} + \text{下腿部温})$ から算出した。

平均体温 ($\bar{T}_{\text{b}}$) は、 $\bar{T}_{\text{b}} = 0.8 T_{\text{re}} + 0.2 \bar{T}_{\text{sk}}$ ¹²⁾ から求めた。体熱量 (S) は、 $S = 0.83 W_{\text{t}} (\text{kg}) \cdot (0.8 \Delta T_{\text{re}} + 0.2 \Delta \bar{T}_{\text{sk}})$ を用いて、単位は W/m^2 に換算した。なお、外耳道温をもとにした平均体温 ($\bar{T}_{\text{b}}(\text{e})$) は、 $0.9 T_{\text{ear}} + 0.1 \bar{T}_{\text{sk}}$ ¹³⁾ から求めた。

体温の測定は、多点式サーミスター (エラグ社製、DU 3-S 型) を使用し、1分ごとに記録した。

2) 発汗応答

発汗量は、体重減少量から呼吸性の体重減少および不感蒸泄を差引いて算出した。

体重減少量は、ビームバランス（新光電子社製、DBS 型、精度 ± 10 g）を用いて、運動負荷前後の体重差から求めた。呼吸性の体重減少のうち、呼吸気道からの水分損失量 ($\dot{m}_e$) は、 $\dot{m}_e = 0.019 \dot{V}O_2 (44 - P_a)^{17}$ の式を用いた。ただし、 P_a は大気の蒸気圧 (mmHg) を示す。また呼吸ガス交換による水分損失量 ($\dot{m}_r$) は、 $\dot{m}_r = \dot{V}O_2 (R \cdot PCO_2 - PO_2)^{18}$ を用いて算出した。ただし、 R は呼吸商、 PCO_2 は炭酸ガス密度 1.96g/l (STPD)、 PO_2 は酸素密度 1.43g/l (STPD) を示す。皮膚からの不感蒸泄は 35g/h と仮定し⁶⁾、体表面積/ m^2 当りに換算した。

3) 心拍応答と呼吸機能

心拍数は胸部双極誘導によって、連続記録した心電図から 1 分ごとに求めた。また酸素摂取量および呼吸商は、前述した Mijnhardt Oxycon Systems を用いて、1 分ごとに連続して呼気ガスの分析を行った。

結 果

1. 各測定値の概要

運動時 (60 分間) ならびに回復期 (20 分間) で 9 名の被験者の平均値による外耳道温、直腸温、平均皮膚温、平均体温および心拍数の変動は図 1 に示した。

1) 体温反応

外耳道温は、数分間の潜時を経て、運動負荷開始 11 分後から有意の上昇を認め、負荷終了時値は $36.90 \pm 0.33^\circ C$ で、負荷前値 $36.33 \pm 0.21^\circ C$ に比べて $0.57^\circ C$ 高かった。負荷終了後では、経時的に下降傾向を示したが、負荷終了 9 分後までは負荷前値より有意に高かった。その後も徐々に下降し、負荷終了 20 分後値は、ほぼ負荷前値に回復した。

直腸温は、数分間の潜時を経て、負荷開始 8 分後から有意の上昇を示し、負荷終了時値は $38.18 \pm 0.33^\circ C$ で、負荷前値 $37.28 \pm 0.25^\circ C$ に比べて

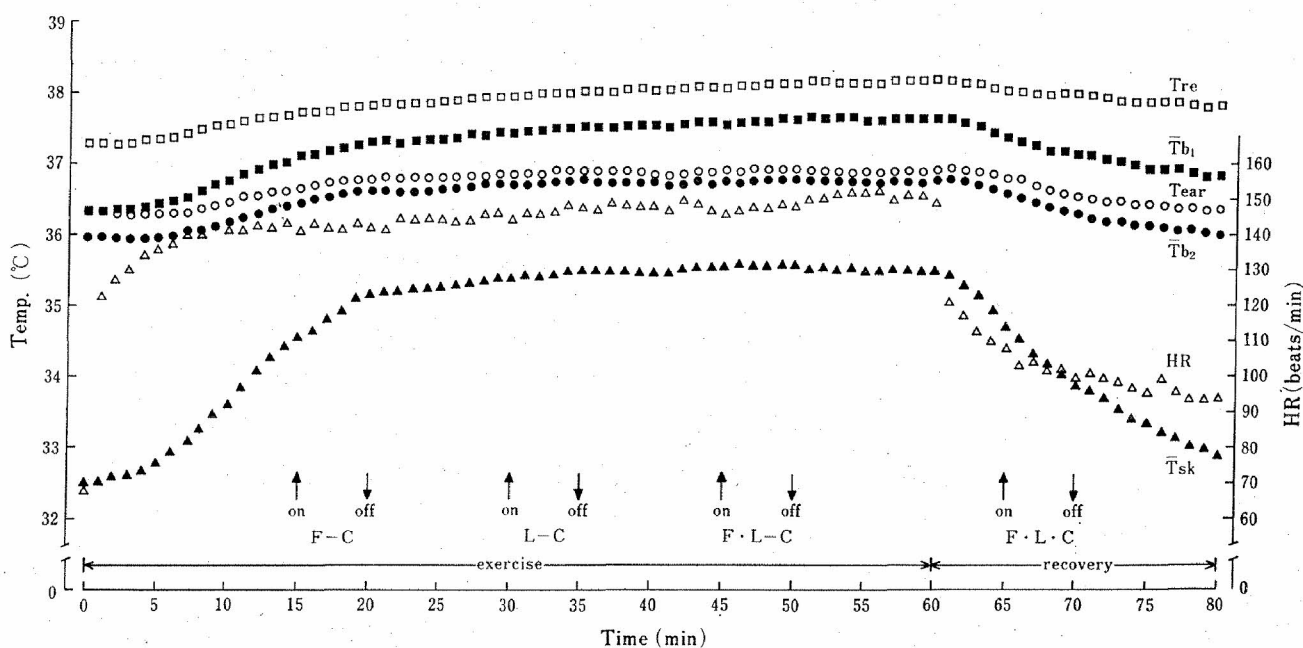


図1 Comparison of means of body temperatures and heart rate due to body cooling during and after exercise of 9 subjects. Tre ($\square$), rectal temp.; $\bar{T}b_1$ ($\blacksquare$), mean body temp.; Tear ($\circ$), ear canal temp.; $\bar{T}b_2$ ($\bullet$), mean body temp.; $\bar{T}sk$ ($\blacktriangle$), mean skin temp.; HR ($\triangle$), heart rate. $\bar{T}b_1$ and $\bar{T}b_2$ were calculated from rectal and ear canal temperatures, respectively. F-C, forehead cooling; L-C, lumbodorsal cooling; F-L-C, both forehead and lumbodorsal cooling. on ($\uparrow$), cooling start; off ($\downarrow$), cooling end.

0.90°C 高かった。負荷終了後では、経時的に下降傾向を示したが、終了20分後値 $37.81 \pm 0.38^\circ\text{C}$ は、負荷前値より 0.53°C 高かった。

平均皮膚温は、負荷開始5分後から有意の上昇を認め、負荷終了時は $35.48 \pm 0.59^\circ\text{C}$ で、負荷前値 $32.52 \pm 0.36^\circ\text{C}$ に比べて 2.96°C 高かった。負荷終了後では、経時的に下降したが、負荷終了19分後値 ($32.94 \pm 0.59^\circ\text{C}$) まで有意に高かった。回復期での各部皮膚温のうち、特に大腿部温の回復が遅延した。

平均体温は、数分間の潜時を経て、負荷開始7分後から有意の上昇を示し、負荷終了時値は $37.64 \pm 0.36^\circ\text{C}$ で、負荷前値 $36.33 \pm 0.25^\circ\text{C}$ に比べて 1.31°C 高かった。負荷終了後では、経時的に下降傾向を示したが、終了20分後値 $36.82 \pm 0.38^\circ\text{C}$ は、負荷前値より 0.49°C 高かった。

2) 心拍応答および酸素摂取量

心拍数は、運動負荷開始直後から有意の増加を認め、その後も経時的にわずかな増加傾向を示したが、負荷終了時までほぼ定常状態を呈した。負荷終了直後から一過性に減少したが、負荷終了20分後値 93.7 ± 8.1 拍/分は、負荷前値 67.9 ± 6.8

拍/分に比べて 25.8 拍/分高かった。

酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_2$) は、運動開始直後から有意の増加を認め、その後もわずかな増加傾向を示したが、負荷終了時までほぼ定常状態を呈した。運動中60分間の $\dot{V}\text{O}_2$ は $1.54 \pm 0.22\text{l/min}$ であった。

3) 発汗応答および体熱量

運動負荷による発汗応答および体熱量の結果は表2に示した。

60分間の運動による体重減少量は $696 \pm 172.2\text{g/h}$ であり、これは体重の 1.1% の減少に相当した。呼吸性の体重減少および皮膚からの不感蒸泄は、それぞれ $54.7 \pm 5.8\text{g/m}^2\cdot\text{h}$ および $20.6 \pm 1.4\text{g/m}^2\cdot\text{h}$ であった。その結果、発汗量(率)は $336.7 \pm 112.9\text{g/m}^2\cdot\text{h}$ となった。

体熱量は $47.6 \pm 11.3\text{w/m}^2\cdot\text{h}$ であった。また被験者ごとで比較した体熱量と発汗量との間に、相関は認められなかった。

2. 身体冷却による影響

運動時ならびに回復期での身体冷却による体温反応、心拍数および体熱量の変化は表3と図2に示した。

表2 Weight loss, sweat rate and heat storage during exercise of each subject

Subj.	TWL		RWL ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$)	IP ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$)	SR ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$)	S ($\text{w/m}^2\cdot\text{h}$)
	(g/h)	($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$)				
F.M.	590	339.1	54.1	20.1	264.9	37.7
M.M.	490	291.7	48.5	20.8	222.4	37.7
Y.T.	1000	675.7	54.3	23.6	597.8	42.1
T.T.	630	361.0	57.1	20.1	282.8	47.3
S.T.	560	337.3	50.0	21.1	266.2	49.5
F.K.	760	457.8	56.3	21.1	380.4	38.0
M.K.	710	373.7	50.2	18.4	305.1	41.8
F.D.	970	535.9	69.1	19.4	447.4	71.5
W.B.	560	337.3	52.8	21.1	263.4	62.6
Mean ($\pm\text{S.D.}$)	696.7 (172.2)	412.1 (116.5)	54.7 (5.8)	20.6 (1.4)	336.7 (112.9)	47.6 (11.3)

TWL, total weight loss; RWL, respiratory weight loss; IP, insensible perspiration; SR, sweat rate; S, heat storage.

表3 Changes in body temperatures, heat storage (S) and heart rate (HR) due to body cooling during exercise

Phase	Cooling area	Period (time)	Tear (°C)	Tre (°C)	$\bar{T}_{sk}$ (°C)	$\bar{T}_b$ (°C)	S (w/m ²)	HR (beats/min)
Ex	Forehead	Bef (10—15)	36.56 (0.25)	36.64 (0.25)	34.22 (0.54)	36.96 (0.17)	21.7 (6.0)	141.6 (11.1)
		Dur (15—20)	35.71 (0.27)	37.76 (0.24)	34.90** (0.43)	37.19* (0.18)	30.3** (5.0)	141.7 (10.7)
		Aft (20—25)	36.77 (0.24)	37.83 (0.27)	35.20*** (0.39)	37.30*** (0.23)	34.3*** (6.2)	143.3 (11.6)
	Lumbo-dorsal	Bef (25—30)	36.81 (0.22)	37.91 (0.25)	35.32 (0.36)	37.38 (0.24)	37.6 (6.4)	144.2 (11.7)
		Dur (30—35)	36.86 (0.24)	37.98 (0.25)	35.43 (0.31)	37.48 (0.24)	40.9 (6.8)	146.2 (12.2)
		Aft (35—40)	36.86 (0.23)	38.03 (0.28)	35.45 (0.29)	37.51 (0.28)	42.4 (8.1)	147.6 (11.2)
	Forehead and Lumbo-dorsal	Bef (40—45)	36.86 (0.25)	38.06 (0.27)	35.49 (0.32)	37.54 (0.27)	43.4 (8.2)	147.0 (12.3)
		Dur (45—50)	36.89 (0.27)	38.11 (0.30)	35.54 (0.39)	37.60 (0.31)	45.5 (8.7)	147.3 (11.5)
		Aft (50—55)	36.87 (0.29)	38.15 (0.32)	35.50 (0.54)	37.62 (0.34)	46.7 (9.6)	150.7 (11.7)
Rec	Forehead and Lumbo-dorsal	Bef (0—5)	36.85 (0.35)	38.11 (0.33)	35.09 (0.56)	37.22 (0.33)	40.6 (9.6)	113.6 (9.8)
		Dur (5—10)	36.62 (0.33)	37.98 (0.37)	34.19** (0.55)	37.03 (0.36)	31.9* (8.4)	101.9* (8.1)
		Aft (10—15)	36.45* _s	37.90	33.55*** _s	36.87* _s	25.2** _s	98.0** _s

Values are means ($\pm$ SD). Ex, exercise phase; Rec, recovery phase; Bef, before cooling; Dur, during cooling; Aft, after cooling; Tear, ear canal temp.; Tre, rectal temp.; $\bar{T}_{sk}$, mean skin temp.; $\bar{T}_b$, mean body temp. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ significantly different from before value. _s $p < 0.05$ significantly different from during value.

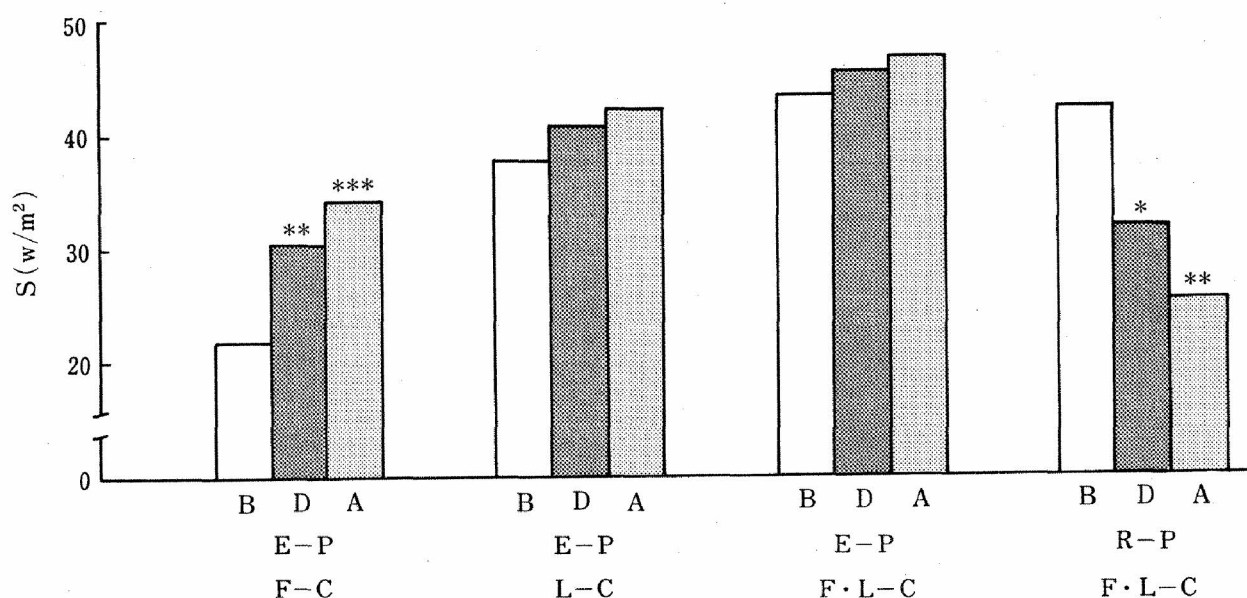


图2 Comparison of means of heat storage (S) due to body cooling for 5 min. B, before cooling; D, during cooling; A, after cooling. E-P, exercise period; R-P, recovery period. F-C, forehead cooling; L-C, lumbodorsal cooling; F·L-C, both forehead and lumbodorsal cooling. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ significantly different from before value.

1) 前額部冷却

運動開始 15 分後から 同 20 分までの 前額部冷却 (5 分間) による影響を, 冷却前・冷却中・冷却後におけるそれぞれ 5 分間の平均値で比較した.

冷却前・後での外耳道温, 直腸温および心拍数は, 冷却前に比べて冷却後でやや高い値を示したが, 有意の差がなかった. 平均皮膚温, 平均体温および体熱量では, 冷却前値よりむしろ冷却後で有意に高く, 前額部のこれらに及ぼす冷却効果は認められなかった.

2) 腰背部冷却

運動開始 30 分後から 同 35 分までの 腰背部冷却 (5 分間) による冷却前・冷却中・冷却後におけるそれぞれ 5 分間の平均値で比較した.

その結果, 冷却前でのそれぞれの値は冷却後に比べて, わずかに高い傾向を示したにすぎなかった.

3) 前額部および腰背部の同時冷却

運動開始 45 分後から 同 50 分までの前額部および腰背部の同時冷却 (5 分間) による影響を, 冷却前・冷却後におけるそれぞれ 5 分間の平均値で比較した.

冷却前での各値は, 冷却後に比べてほとんど差がなく, 特に外耳道温および平均皮膚温は, 冷却中の値よりむしろ低値を示した.

なお, 回復期における運動終了 5 分後から 同 10 分までの 前額部 および 腰背部の 同時冷却 (5 分間) による影響を, 冷却前・冷却中・冷却後でのそれぞれ 5 分間の平均値で比較した. その結果, 平均皮膚温および体熱量における冷却前値と冷却時値ならびに冷却時値と冷却後値との差がそれぞれ小さかった.

考 察

中等度負荷による運動中の深部体温および平均皮膚温が数分間の潜時を経て上昇することは, すでに報告した¹⁰⁾.

本実験では, 運動時の体温上昇が誘起する時間を選定して, この体温上昇過程において身体冷却を試みた.

運動開始 15 分後から 同 20 分までの 前額部冷却 (5 分間) によって, 冷却後 5 分間での外耳道温の平均値 $36.77 \pm 0.24^{\circ}\text{C}$ と冷却前 5 分間での値 $36.56 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ との差は 0.21°C であった. また同様に冷却前後における直腸温でのその差は 0.19°C であり, いずれも有意差がなかった.

平均皮膚温では, 前額部冷却前の 5 分間値 ($34.22 \pm 0.54^{\circ}\text{C}$) に比べて, 冷却時 5 分間および冷却後 5 分間の値は, 0.68°C および 0.98°C それぞれ有意に高かった. しかし, 冷却時と冷却後との間には有意の差がなかった.

平均体温は, 前額部冷却前の 5 分間値 ($36.96 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$) に比べて, 冷却時 5 分間および冷却後 5 分間の値は, 0.23°C および 0.34°C それぞれ有意に高かったが, 冷却時と冷却後との間には有意の差がなかった.

体熱量は, 前額部冷却前の 5 分間の平均値 ($21.7 \pm 6.0\text{w/m}^2$) に比べて, 冷却時 5 分間および冷却後 5 分間の値は, 8.6w/m^2 および 12.6w/m^2 それぞれ有意に高かったが, 冷却時と冷却後との間には有意差がなかった.

前額部冷却による心拍数および酸素摂取量への著明な影響は認められなかった.

以上の点から, 運動時の前額部冷却が外耳道温および直腸温の深部体温上昇を軽減していることを示唆している. また, 著者らが先に報告¹⁰⁾した外耳道温の上昇率と比較して, 今回の前額部冷却による外耳道温の上昇率が小さいことから, 前額部冷却の深部体温への影響があると考えられる. しかし, 前額部冷却の平均皮膚温への直接的影響は認められず, その結果, 平均体温の上昇ならびに体熱量の増加を誘発していると思われる.

運動開始 30 分後から 同 35 分までの 腰背部冷却 (5 分間) によって, 冷却前, 冷却中および冷却

後でのそれぞれ5分間の平均値間には、体温反応、心拍数ならびに酸素摂取量のいずれにも著明な差がみられなかった。これらの結果は、腰背部冷却が運動中の体温上昇を抑制していることを示唆している。

運動開始45分後から同50分までの前額部および腰背部の同時冷却（5分間）によって、冷却前値、冷却時値ならびに冷却後値間の差は、前額部と腰背部での単独冷却時の結果と比較して、非常に小さかった。これらの結果が、複数部冷却による影響であるのか、または一連の前額部冷却および腰背部冷却による持続的影響であるのかは、本実験からは明確にできなかった。しかし、運動時の諸種の身体冷却が体温上昇および心拍数増加を抑制していることは、先に報告¹⁰⁾した運動中の外耳道温ならびに心拍数の変動率と比較しても明らかである。

運動中の体熱量は、前額部冷却前値（5分間）に比べて、冷却時値および冷却後値では有意に増大し、その冷却効果は認められなかった。これは、平均皮膚温の上昇の結果、平均体温が高く、体熱量の増加を誘起していることを示唆した。腰背部冷却ならびに前額部と腰背部の同時冷却による体熱量には、大きな変動はみられなかった。これは、発汗に伴う皮膚冷却効果による平均皮膚温の上昇率低下および一連の身体冷却による直腸温の上昇抑制に起因していると考えられる。

運動中の体重減少量は、平均1.1%に相当し、これは、単位時間当りに換算すると、先に報告した結果¹⁰⁾および丹羽と中山の報告¹⁸⁾とほぼ同じ値であった。体重減少量と身体冷却との関係は、明確にできなかった。また発汗量と体熱量との間には有意な相関は認められなかった。

本実験で観察された身体冷却による運動中の心拍数の抑制傾向は、発汗による皮膚冷却に加えて、身体冷却刺激による末梢血管収縮に伴う皮膚血流量の減少に起因すると考えられる^{1,4)}。

要 約

健康男子9名を対象に、室温24°C、湿度50%の環境下で自転車エルゴメータを用いて、最大酸素摂取量の55%に相当する運動を60分間負荷した。この間、15分ごとに1) 前額部、2) 腰背部、3) 前額部と腰背部を同時に約5°CのCold pack（表面積147cm²）を用いてそれぞれ5分間冷却した。その結果を要約すると次のとおりである。

1. 前額部冷却によって、運動時の外耳道温および直腸温の上昇を軽減した。しかし、平均皮膚温、平均体温および体熱量への影響は認められなかった。

2. 腰背部冷却ならびに前額部と腰背部の同時冷却によって、運動時の外耳道温、直腸温および平均皮膚温の上昇が軽減した。

3. 運動中の体重減少量は、約1.1%に相当したが、身体冷却と発汗量との間に顕著な差は認められなかった。

4. 身体冷却によって、運動時の心拍数増加が抑制された。

5. 運動終了後における前額部および腰背部の同時冷却は、深部体温の低下には直接的影響を及ぼさなかった。しかし、平均皮膚温の低下率が大きく、その結果、体熱量の軽減を誘発した。

以上の結果は、運動中の身体冷却が体温上昇および心拍数増加を抑制することを示唆している。

文 献

- 1) Burtan, A.C. and H.C. Bazett; A study of the average temperature of the tissues of the exchanges of heat and vasomotor responses in man by means of a bath calorimeter. *Am. J. Appl. Physiol.*, **117** : 36—54 (1936)
- 2) Buskirk, E.R., P.E. Iampietro and E.B. David; Work performance after dehydration: Effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J. Appl. Physiol.*, **12** : 189—194 (1958)
- 3) Cade, R., G. Spooner, E. Schlein, M. Pickering

- and R. Dean; Effect of fluid electroly and glucose replacement during exercise on performance, body temperature, rate of sweat and compositional change of extracellular fluid. *J. Sports Med.*, **12** : 150—156 (1972)
- 4) Craig, A.B.Jr. and M. Dvorak; Thermal regulation during water immersion. *J. Appl. Physiol.*, **21** : 1577—1585 (1966)
- 5) Craig, F.M. and E.G. Cummings; Dehydration and muscular work. *J. Appl. Physiol.*, **21** : 670—674 (1966)
- 6) Ekblom, B., C.J. Greenleaf, J.E. Greenleaf and L. Hermansen; Temperature regulation during exercise dehydration in man. *Acta Physiol. Scand.*, **79** : 475—483 (1970)
- 7) Fanger, P.O.; Thermal comfort. Danish Technical Press. Copenhagen (1970)
- 8) Fordtran, J.S., B. Saltin; Gastric emptying and intestinal absorption during prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, **23** : 331—335 (1967)
- 9) 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝; 日本人の体表面積に関する研究, 第18篇, 三期にまとめた算出式. 日衛誌, **23** : 443—450 (1968)
- 10) 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)
- 11) Gisolfi, C.V. and J.R. Copping; Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med. Sci. Sports*, **6** : 108—113 (1974)
- 12) Hardy, J.D. and E.F. Dubois; Basal metabolic, radiation, convection and evaporation at temperatures from 22° to 35°C. *J. Nutr.*, **15** : 477—482 (1938)
- 13) Hardy, J.D. and J.A.J. Stolwijk; Partitional calorimetric studies of man during exposures to thermal transients. *J. Appl. Physiol.*, **21** : 1799—1806 (1966)
- 14) Issekutz, B.Jr. and K. Rodahl; Respiratory quotient during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **16** : 606—610 (1961)
- 15) Londeree, B.R., W.F. Updyke and J.J. Burt; Water replacement schedules in heat stress. *Res. Quart.*, **40** : 725—732 (1969)
- 16) Mitchell, J.W., E.R. Nadel and J.A.J. Stolwijk; Respiratory weight losses during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **32** : 474—476 (1972)
- 17) Moroff, S.V. and D.E. Bass; Effects of overhydration on man's physical responses to work in the heat. *J. Appl. Physiol.*, **20** : 267—270 (1965)
- 18) 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)
- 19) Pitts, G., R. Johnson and F. Consolazio; Work in the heat as effected by intake of water, salt and glucose. *Am. J. Physiol.*, **142** : 253—259 (1944)
- 20) Ramanathan, N.L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.*, **19** : 531—533 (1964)
- 21) Taylor, H.L., F. Buš Kirk and A. Henschell; Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.*, **8** : 78—80 (1955)