高湿度環境における運動時の体温調節

丹 羽 健 市* 中 山 昭 雄*

THERMOREGULATION DURING EXERCISE IN HIGH HUMIDITY ENVIRONMENTS.

KEN-ICHI NIWA AND TERUO NAKAYAMA

Thermoregulatory responses during one hour pedalling on bicycle ergometer were measured in a climatic chamber of 26°C at various humidity levels. Work intensities were 30, 40, 50, 60 and 70% of $\dot{V}O_2\text{max}$. Relative humidities were 30, 60 and 90%.

1) Oxygen intake remained nearly constant at the same work load and was not influenced by humidity level.

2) At work intensities of more than 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ the elevation of rectal temperature was augmented by increased humidity.

3) The secretion of sweat increased, but the evaporation of sweat decreased with increased humidity, particularly at work intensities of 60% and 70% of $\dot{V}O_2\text{max}$.

(J. Physical Fitness Japan 1978, 27: 11~18)

I. は じ め に

外部環境因子のうちで運動時の生体反応と密接に関係しているのは気温、気湿および気圧である。そのうち気温と気圧については、従来から詳細に研究され¹⁾⁹⁾¹⁵⁾¹⁷⁾¹⁹⁾²¹⁾、種々の環境因子と運動時の生体反応との関連が明らかにされてきた。しかしながら、気温、気圧に関する研究が進む一方で重要性において優るとも劣らない湿度に関する総合的な研究は、わが国において著しくおこなわれている。これは、実験条件としての温度、湿度、気流等を種々組合せた環境条件の設定が困難であったからであろう。近年、人工気象室の設備が改良され、安定した環境条件を設定することが可能になった。著者らは数年来、運動時の体温のセットポイントに関する総合的な研究を行っているが、そのなかで、種々の温湿度条件のもとで運動を行った際の生体におよぼす湿度の影響を熱平衡の面から観察してきた。本報告では、室温を一定にした異なる湿度条件のもとで、種々の強度の運動を負荷し、その際の代謝、体熱量の変化、輻射および対流ならびに蒸発による熱放散を算出し、

運動強度の違いによる湿度の影響について熱平衡の面より定量的な検討を加えた。

II. 実 験 方 法

A. 環境条件

実験は環境条件の設定が可能な人工気象室で実施した。環境条件は室温を 26°C に一定にし、湿度（相対湿度）は30%, 60%, 90%の3条件を設定した。室内の気流は、いずれの環境条件の場合も 0.6m/sec であった。

B. 被験者

被験者は18~21才の健康な男子大学生（体育専攻生）3名で、6~8年間にわたって、ある種の競技を継続している人たちである。各被験者の身体的特性は<表1>に示した。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

Subj.	Age, yr	Ht, cm	Wt, kg	$\dot{V}O_2\text{max}$, l/min
N. M.	20	171	60	3.7
Y. S.	19	173	65	3.2
K. F.	21	176	74	3.2

C. 運動強度

運動強度は各被験者の最大酸素摂取量のほぼ30%, 40%, 50%, 60%, 70%に相当する5つの異なる強度の運動であり, Monark 社製自転車エルゴメーターを用いて行った。運動は60分間でペダリングの速度を 50rpm とし, ペダリングを一定に保ち易くするためメトロノームで指示した。

D. 実験手順

被験者はあらかじめ所定の環境条件に設定された気象室に実験開始60分前に入室した(上半身裸体, 下半身は水泳パンツ着用)。その間に, 熱電対の貼付ならびに挿入, 呼吸マスクの装備を行った。装備終了後, 被験者はベッドバランスに固定した自転車エルゴメーター上で10分間の安静状態を測定した後, 運動を開始した。

E. 測定項目と方法

1. 酸素摂取量

安静時ならびに回復時の呼吸採取は5分ごとに, 一方, 30%, 40%, 50% $\dot{V}O_2\max$ の運動の場合では5分ごとに3分間の呼吸を, 60%, 70% $\dot{V}O_2\max$ の運動では5分ごとに2分間の呼吸を異なるバックに採取した。採取された呼吸は直ちに1回転5lの湿式実験用ガスメーターによって計量し, その一部をサンプルとして労研式大型呼吸ガス分析器により分析し, 酸素摂取量ならびに炭酸ガス排泄量を算出した。

2. 直腸温および皮膚温

直腸温の測定は熱電対の先端をアラルダイトで塗り固め, 直腸内に約8~10cm 挿入した。皮膚温の測定は Hardy と DuBois⁵⁾の身体8ヶ所(頭, 胸, 背, 腕, 手, 大腿, 下腿, 足)に熱電対の先端を貼付し, 直腸温とともに自動精密温度測定器(感度0.01°C, 精度±0.1°C, 大倉電器 K.K.製)で1分ごとに打点記録した。平均皮膚温は $\bar{T}_s = 0.07 T_{\text{head}} + 0.14 T_{\text{arms}} + 0.05 T_{\text{hands}} + 0.17 T_{\text{back}} + 0.18 T_{\text{chest}} + 0.19 T_{\text{thighs}} + 0.13 T_{\text{legs}} + 0.07 T_{\text{feet}}$ の式に基いて求めた。各皮膚温に掛ける係数はその領域が全体表面積に占める割合を示す。

3. 体重計測

体重減少は運動前後の体重測定(精度±50gの体重計)から計測するとともに, ベッドバランス(感度1g, 精度±2g, 米国 James Potter 社製)を介して実験中連続記録した。ベッドバランスを

Work intensity was 50% of $\dot{V}O_2\max$.

Ta : ambient temperature.

R.H. : relative humidity. Subject Y.S.

Fig. 1. A protocol of continuous recording of the body weight loss. To rebalance the moisture lost by the subject, a weight of 200, 200 and 30 g were added to the platform of the bed balance.

介しての体重減少の記録例を<図1>に示した。

4. 発汗量

総汗量(分泌した汗量)は体重計で計測した体重減少から呼吸性の体重減少を差引いて, また, 有効汗量(放熱に關与した汗量)はベッドバランスを介して計測した体重減少から呼吸性の体重減少を差引いて算出した。呼吸気道からの水分喪失による体重減少は $m'e = 0.019 \dot{V}O_2 (44 - p_a)^{6)}$ の式により ($m'e$ は気道からの水分喪失量, $\dot{V}O_2$ は酸素摂取量 l/min, p_a は環境の水蒸気圧 mmHg を示す), また, 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 $m'r = \dot{V}O_2 (R \cdot \rho_{O_2} - \rho_{CO_2})^{6)}$ の式により求めた。($m'r$ は毎分当りの体重減少 (g), R は呼吸商, ρ_{O_2} は酸素密度 1.43 g/l STPD, ρ_{CO_2} は炭酸ガス密度 1.96g/l STPD を示す)

5. 熱平衡の計算

運動時の熱平衡は次の式より算出した。

$$M = E \pm R \pm C \pm W \pm \Delta S \quad (\text{単位は } w/m_2)$$

M : metabolic heat production

E : evaporative heat loss

R : radiative heat loss

C : convective heat loss

W : useful work accomplished

S : body heat storage

産熱は代謝量 (M) から熱に転換された仕事量 (W) を差引いて求めた。蒸発 (E) による wet の熱放散は水分 1 g につき 0.585Kcal を乗じて,

また、体表面からの dry の熱放散 ($R + C$) は直接測定することが望ましいが蒸発熱量 (E) と体熱量の増減 (ΔS) を産熱量から差し引いて間接的に求めた。体熱量の変化量 (ΔS) は平均体温 ($\bar{T}_b = 0.65T_{re} + 0.35T_s$)²⁾ の変化を求め $\frac{d\bar{T}_b}{dt} \times \text{比熱}$ (0.83) $\times$ 体重の式より算出した。なお、本実験は昭和52年3月1日～3月27日の比較的寒い期間に行われた。

III. 実験成績

A. 各測定値の一般的な概要

各湿度条件のもとで運動を行った際の酸素摂取水準、直腸温、平均皮膚温、平均体温ならびに放

Ta : 26°C, R.H. : 30%. Subj. N.M.

$\dot{V}O_2$: oxygen intake. $\bar{T}_s$: mean skin temperature.

$\bar{T}_b$: mean body temperature.

T_{re} : rectal temperature.

SR : effective sweat rate.

Fig. 2. Physiological responses during one hour pedalling at different work intensities.

Ta : 26°C, R.H. : 60%. Subj. N.M.

Fig. 3. Physiological responses during one hour pedalling at different work intensities.

熱に関連した発汗の時間経過を<図 2, 3, 4>に、また、<表 2>には運動終了直前の反応水準を運動強度ならびに湿度条件ごとに示した。

1. 代謝反応

酸素摂取水準は湿度条件にかかわらず運動開始 5～15分で運動強度に応じてほぼ最高値に達し、以後、ほぼ同水準で経過した。運動終了直前の酸素摂取水準は、湿度条件にかかわらず $30\% \dot{V}O_{2max}$ の運動では平均 $0.89 \sim 0.93$ l/min, $40\% \dot{V}O_{2max}$ では $1.20 \sim 1.27$ l/min, $50\% \dot{V}O_{2max}$ では $1.60 \sim 1.68$ l/min, $60\% \dot{V}O_{2max}$ では $1.98 \sim 2.05$ l/min, $70\% \dot{V}O_{2max}$ では $2.42 \sim 2.50$ l/min の範囲にあり、各湿度間に有意な差異は認められなかった。

2. 体温反応

1) 直腸温

直腸温は運動開始 5分以降、運動強度に応じて上昇する。しかし、その上昇勾配は30分以降、緩

Ta: 26°C, R.H.: 90%. Subj. N.M.

Fig. 4. Physiological responses during one hour pedalling at different work intensities.

かになる。運動開始30分以降の上昇勾配は、湿度条件にかかわらず30% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では平均0.06~0.1°C/30min, 40% $\dot{V}O_2\text{max}$ では0.05~0.15°C/30min, 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ では0.2~0.3°C/30min, 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ では0.3~0.4°C/30minの範囲にあり、各湿度間に有意な差異は認められなかった。しかし、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では湿度30%で平均0.5°C/30min, 湿度60%で0.7°C/30min, 湿度90%で1.1°C/30minと高湿に伴って上昇し、湿度30%と90%との間に有意な差異が認められた ($p<0.05$)。一方、運動終了直前の水準は湿度条件にかかわらず30%, 40%, 50%, 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では、それぞれ、平均37.6~37.7°C, 37.8~37.9°C, 38.0~38.2°C, 38.5~38.8°Cの範囲にあり、各湿度間に有意な差異は認められなかった。しかし、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では湿度30%で平均39.1°C, 湿度60%で39.3°C,

湿度90%で39.8°Cと高湿に伴ってその水準は高く湿度30%と90%との間に有意な差異が認められた ($p<0.05$)。

2) 平均皮膚温

平均皮膚温は、いずれの運動強度においても運動開始10~15分を境に上昇から下降に転ずる例が多く、その傾向は、特に湿度30%, 60%において著明であった。一方、運動終了直前の水準は湿度条件にかかわらず、30% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では平均33.3~33.9°C, 40% $\dot{V}O_2\text{max}$ では33.0~33.8°C, 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ では33.4~33.7°Cの範囲にあった。しかし、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では、湿度30%で平均34.2°C, 湿度60%で34.4°C, 湿度90%で34.9°C, また、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では湿度30%で平均34.4°C, 湿度60%で34.7°C, 湿度90%で36.1°Cと高湿度ほどその水準は高く、特に70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の場合では湿度30%と90%との間に有意な差異が認められた ($p<0.05$)。

3) 平均体温

50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以下の運動では湿度条件にかかわらず運動開始25分以降に最高値に達し、以後その水準を維持する例と下降する例が認められた。しかし、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の運動では高湿度ほど運動開始30分以降の上昇勾配は大きく、特に70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であった(湿度30%で平均0.5°C/30min, 湿度60%で0.55°C/30min, 湿度90%で0.9°C/30min)。一方、運動終了直前の水準は、湿度条件にかかわらず30% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動の場合では平均36.1~36.4°C, 40% $\dot{V}O_2\text{max}$ では36.2~36.4°C, 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ では36.5~36.9°C, 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ では37.0~37.5°Cの範囲にあり、各湿度間には有意な差異が認められなかった。しかし、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動の場合では、湿度30%で平均37.5°C, 湿度60%で37.7°C, 湿度90%で38.5°Cと高湿に伴ってその水準は高く、湿度30%と90%との間に有意な差異が認められた ($p<0.05$)。

3. 有効汗量(蒸発した汗量)

有効汗量は運動開始直後から急激に増大し、湿度30%, 60%の場合では15分後に(図2, 3), 湿度90%の場合では(図4), 25分後に運動強度に応じてほぼ一定の水準に達した。一方、運動終了直前の水準は高湿度ほどその水準は低く、特に

Table 2. Measured values during last period of one hour exercise at different work intensities in environments of 26°C with various relative humidities.

	30% $\dot{V}O_2\text{max}$	40% $\dot{V}O_2\text{max}$	50% $\dot{V}O_2\text{max}$	60% $\dot{V}O_2\text{max}$	70% $\dot{V}O_2\text{max}$
Oxygen intake (l/min)					
R.H. 30%	0.9 ± 0.04	1.27 ± 0.06	1.68 ± 0.05	2.05 ± 0.06	2.48 ± 0.13
R.H. 60%	0.89 ± 0.03	1.20 ± 0.01	1.60 ± 0.06	1.98 ± 0.09	2.42 ± 0.09
R.H. 90%	0.93 ± 0.03	1.26 ± 0.04	1.65 ± 0.05	2.02 ± 0.08	2.50 ± 0.14
Sweat rate (g/min)					
R.H. 30%	4.8 ± 0.6	7.0 ± 0.8	8.9 ± 0.9	11.0 ± 1.0	13.0 ± 1.2
R.H. 60%	4.5 ± 0.3	6.5 ± 0.6	8.2 ± 0.7	10.6 ± 0.8	12.1 ± 0.9
R.H. 90%	4.1 ± 0.3	5.9 ± 0.5	7.7 ± 0.5	9.8 ± 0.8	11.1 ± 1.0
Rectal temperature (°C)					
R.H. 30%	37.6 ± 0.1	37.9 ± 0.2	38.1 ± 0.2	38.5 ± 0.1	39.1 ± 0.2
R.H. 60%	37.7 ± 0.1	37.9 ± 0.1	38.0 ± 0.3	38.6 ± 0.2	39.3 ± 0.2
R.H. 90%	37.6 ± 0	37.8 ± 0.1	38.2 ± 0.3	38.8 ± 0.2	39.8 ± 0.3
Mean skin temperature (°C)					
R.H. 30%	33.3 ± 0.4	33.0 ± 0.1	33.4 ± 0.5	34.2 ± 0.7	34.4 ± 0.4
R.H. 60%	33.9 ± 0.2	33.5 ± 0.2	33.7 ± 0.4	34.4 ± 0.4	34.7 ± 0.4
R.H. 90%	33.9 ± 0.1	33.8 ± 0.4	34.6 ± 0.3	34.9 ± 0.4	36.1 ± 0.5
Mean body temperature (°C)					
R.H. 30%	36.1 ± 0.2	36.2 ± 0.1	36.5 ± 0.2	37.0 ± 0.3	37.5 ± 0.4
R.H. 60%	36.4 ± 0.1	36.2 ± 0.1	36.5 ± 0.3	37.1 ± 0.4	37.7 ± 0.2
R.H. 90%	36.3 ± 0.1	36.4 ± 0.2	36.9 ± 0.2	37.4 ± 0.2	38.5 ± 0.4

Table 3. Sweat volume secreted and sweat volume evaporated at different work intensities in environments of 26°C with various relative humidities.

Ta : 26°C	Total sweat rate (g/hr)			Effective sweat rate (g/hr)		
	R.H. 30%	R.H. 60%	R.H. 90%	R.H. 30%	R.H. 60%	R.H. 90%
30% $\dot{V}O_2\text{max}$	266 ± 3	268 ± 5	283 ± 6	258 ± 13	242 ± 2	223 ± 3
40% $\dot{V}O_2\text{max}$	388 ± 10	365 ± 10	394 ± 50	328 ± 35	323 ± 5	298 ± 39
50% $\dot{V}O_2\text{max}$	513 ± 50	616 ± 100	717 ± 130	502 ± 31	468 ± 26	439 ± 33
60% $\dot{V}O_2\text{max}$	666 ± 40	773 ± 140	962 ± 120	586 ± 43	561 ± 24	536 ± 30
70% $\dot{V}O_2\text{max}$	940 ± 100	1080 ± 110	1282 ± 180	741 ± 28	676 ± 25	602 ± 21

70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であった (表 2)。

4. 総汗量 (分泌した汗量) と有効汗量 (蒸発した汗量) の比較

＜表 3＞に総汗量と有効汗量を運動強度ならびに湿度条件ごとに示した。総汗量は、いずれの運動強度の場合とも高湿に伴って増大し、特に70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であり、湿度30%で平均 0.94l/hr, 湿度 60%で 1.08l/hr, 湿度 90%で 1.28l/hr と増大した。一方、有効汗量は高湿

に伴って逆に減少し、特に 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であった (湿度 30%で平均 0.74l/hr, 湿度 60%で 0.67l/hr, 湿度 90%で 0.60l/hr)。

B. 運動時の熱平衡

熱平衡の計算は運動開始30分後から終了時までの30分間の資料を基にして行った。＜図 5＞は種々の湿度条件下で種々の強度の運動を行った際の産熱量ならびに呼吸気道と体表面からの蒸発による放熱量、輻射および対流による放熱量、そして体熱量を示した。

Fig. 5. Heat production and heat loss during one hour exercise at different work intensities in environments of 26°C with various relative humidities.

1. 産熱量

代謝量から熱に転換されて外になされた仕事量を差引いた産熱量は、30% $\dot{V}O_2\text{max}$ 運動で平均144~151w/m²、40% $\dot{V}O_2\text{max}$ で196~208w/m²、50% $\dot{V}O_2\text{max}$ で253~273w/m²、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ で322~336w/m²、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ で391~402w/m²の範囲にあり、湿度条件にかかわらず運動強度に応じてほぼ一定であった。

2. 蒸発による放熱量

体表と呼吸気道からの蒸発による放熱量は、いずれの運動強度においても高湿に伴って減少の傾向を示し、特に、その傾向は70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であり湿度30%と90%との間に有意差が認められた(湿度30%で平均362w/m²、湿度60%で338w/m²、湿度90%で311w/m²)。

3. 輻射および対流による放熱量

体表面からの輻射および対流による放熱量は、湿度条件にかかわらず30% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動では23~42w/m²、40% $\dot{V}O_2\text{max}$ では23~35w/m²、50% $\dot{V}O_2\text{max}$ では20~36w/m²、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ では13~41w/m²、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ では8~24w/m²の範囲にあり、いずれの運動強度においても各湿度間に有意な差異は認められなかった。

4. 体熱量

30% $\dot{V}O_2\text{max}$ および40% $\dot{V}O_2\text{max}$ (湿度条件90%を除く)の運動では湿度条件にかかわらず負の値(平均-13~-4w/m²)を示し体温降下が認められた。一方、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の運動では高湿に伴って体熱量の増大が認められ、特に70% $\dot{V}O_2\text{max}$

maxの運動において著明であり、湿度30%と90%との間には有意な差異が認められた(湿度30%で平均32w/m²、湿度60%で36w/m²、湿度90%で63w/m²)。

IV. 考 察

運動時の熱平衡に関する研究は数多く報告され⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁶⁾¹⁸⁾²⁰⁾、熱平衡に関係する各因子の分析ならびに各因子と環境温との関係が明らかにされてきた。しかしながら、運動時の熱平衡と湿度との関係を定量的に捉えた研究はほとんど例をみない。著者らは先に、種々の温湿条件のもとで一定強度の運動を負荷し、熱平衡の各因子におよぼす湿度の影響について検討した。その結果、中等度(26°C)以下の環境温では湿度変化の影響は殆んど認められないが、高温環境(34°C)では湿度が高くなるにつれ蒸発による熱放散は妨げられ、体熱量が著しく増大することを指摘した¹³⁾。本実験では室温を26°Cと一定にした3つの異なる湿度条件を設定し、そのなかで種々の強度の運動を負荷した。これは、中等度の環境温で一定強度(50% $\dot{V}O_2\text{max}$)の運動を行った際、湿度変化の影響は認められなかったとはいえ、運動強度が異なれば、湿度変化の影響も異なるであろうと考えたからである。本実験での運動強度は各被験者の $\dot{V}O_2\text{max}$ のほぼ30%、40%、50%、60%、70%に相当する強度の運動であった。

従来、環境温度そのものは運動時の代謝量にほとんど影響をおよぼさないことは指摘されている³⁾⁴⁾。本実験における代謝量は、いずれの運動強度の場合とも各湿度間に有意な差異は認められなかった。従って、代謝量が湿度変化と直接的な関係を持つとは考えられない。むしろ、湿度変化によって直接的な影響を受けるのは熱放散のルートおよび体熱量である。すなわち、呼吸気道ならびに体表面からの蒸発による放熱量は、いずれの運動強度の場合とも高湿に伴って減少し、特に60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の運動において著明であった。一方、輻射、対流による放熱量は、いずれの運動強度の場合とも湿度変化の影響は殆んど認められなかった。また、体熱量は、特に60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の運動において高湿に伴って増大した。

一般に運動時の体温上昇は体温調節の不全によ

るのではなく、むしろ運動強度に比例し、環境温 5~30°C 内では環境温に関係なく同じであることが指摘されている¹²⁾。本実験でも 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以下の運動では、湿度条件にかかわらず運動開始 30分以降から体温は運動強度に応じてほぼ一定の水準に達した。しかしながら、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の運動では高湿条件ほど、直腸温の上昇勾配ならびにその水準は高い傾向を示した。この傾向は、特に 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であり、湿度 90%では被験者全員が 39.5°C を越える水準に達した。

従来、運動時の体温は 39~40°C が怒限界と考えられている¹⁴⁾。従って、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ 、湿度 90%の場合においては、被験者全員が熱放散能力の上では限界に達していたものと考えられる。このような高湿下での著しい体温上昇は、おそらく、発汗による体熱放散の有効度と関係しているのだろう。すなわち、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動における分泌された汗量(総汗量)を湿度条件ごとに比較すると高湿ほど大である。一方、蒸発した汗量(有効汗量)は、逆に低湿ほど大である。このことは高湿に伴って汗の蒸発能力は低下し、蒸発による熱放散が妨げられていることを意味している。

湿度 90%の条件下で 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動を行った際に分泌された汗が、かりに全部蒸発したとすると(体重平均 66kg, 比熱 0.83 として)、体温は 13.7°C 低下することになる。しかし、実際は 6.4°C の体温低下に相当する有効な熱放散が行われたにすぎない。一方、産熱による体温上昇は 10.9°C に相当する。従って、産熱による体温上昇度から有効な汗の蒸発による体温低下度を差引くと 4.5°C の体温上昇を招来したことになる。このように、充分すぎる多量の発汗にもかかわらず蒸発が不十分なために体温が上昇し、上昇した体温が更に発汗を増大させるという悪循環が行われている。

久野⁷⁾は汗の食塩含有量について報告し、発汗開始初期では 0.2~0.3%ほどにすぎないが漸次増加し、最高発汗の頃では 0.7%にも達することを指摘した。本実験では汗の食塩含有量を測定していないが、かりに 0.4%として 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動について考えると、湿度 30%では 3.8g/hr、湿

度 60%では 4.3g/hr、湿度 90%では 5.1g/hr となる。従って、中等度の環境温(26°C)とはいえ、高湿下で激しい運動を長時間にわたって継続することは、生体にとって必要な水分と塩分を失い、体熱量の増大とあいまって生体はきわめて危険な状態におこまれることになる。よって、中等度の環境温とはいえ、高湿度のもとで 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の強度の運動を行う場合には、運動の継続時間ならびに水分、塩分の補給について十分な配慮が必要となろう。

V. 要 約

環境温を一定(26°C)にした 3つの異なる湿度条件のもとで種々の強度の運動を負荷し、その際の代謝、体熱量の変化、wet ならびに dry の熱放散を算出し、運動時の生体におよぼす湿度の影響を熱平衡の面から定量的な検討を加えた。得られた結果は次の通りである。

1. 運動中の酸素摂取水準は湿度条件にかかわらず運動強度に応じてほぼ一定であった。
2. 直腸温ならびに平均皮膚温は運動強度に応じて湿度変化の影響は異った。すなわち、50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以下の運動強度では湿度変化の影響は殆んど認められないが、60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の運動では高湿に伴って上昇し、特に 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動で著明であった。
3. 総汗量(分泌された汗量)は高湿に伴って増大し、一方、有効汗量(蒸発した汗量)は高湿に伴って減少する傾向を示した。その傾向は、特に 60%、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動において著明であった。

(受付 昭和52年12月8日)

(稿を終えるにあたり、献身的な協力を惜しまなかった被験者の諸兄に深謝致します)

引 用 文 献

- 1) Åstrand, P.-O. (1954): The respiratory activity in man exposed to prolonged hypoxia. *Acta Physiol. Scand.*, **30**, 343-368
- 2) Burton, A.C. (1935): The average temperature of the body tissues. *J. Nutr.*, **9**, 261-280
- 3) Dill, D.B., Edwards, H.T., Bauer, P.S. and Levenson, E.J. (1931): Physical performance in relation external temperature. *Arbeitsphys*

- iol., **4**, 508-518
- 4) Gray, E.L., Consolazio, C.F. and Karl, R.M. (1951) : Nutritional requirements for man at work in cold temperature and hot environments. *J. Appl. Physiol.*, **4**, 270-275
 - 5) Hardy, J.D. and DuBois, E.F. (1938) : The technic of measuring radiation and convection. *J. Nutr.*, **15**, 461-475
 - 6) Mitchell, J.W., Nadel, E.R. and Stolwijk, J.A.J. (1972) : Respiratory weight losses during exercise. [Fanger, P.O. (1970) : Danish Technical Press, Copenhagen より引用]
 - 7) 久野 寧 (1963) : 汗の話, 8 版, 「発汗と体液との関係」 光生館 83-101
 - 8) 河合正光 (1955) : マラソン競走に及ぼす環境温の影響について. *体力科学* **5**(2), 62-66
 - 9) Nielsen, B. and Nielsen, M. (1965) : Body temperature during work at different environmental temperature. *Acta Physiol. Scand.*, **56**, 120-129
 - 10) Nielsen, B. and Nielsen, M. (1965) : On the regulation of sweat secretion in exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **64**, 314-322
 - 11) Nielsen, B. (1966) : Regulation of body temperature and heat dissipation at different level energy and heat production in man. *Acta Physiol. Scand.*, **68**, 215-227
 - 12) Nielsen, M. (1938) : Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit. *Skand. Arch. Physiol.*, **79**, 193-230
 - 13) 丹羽健市 : 運動時の熱平衡におよぼす湿度の影響. 大阪大学医学雑誌 **30**, 1-4 (1978) に掲載予定
 - 14) 緒方維弘 (1964) : スポーツ医学, 第 4 版, 「スポーツと体温調節」 体育の科学社, 394-414
 - 15) Robinson, S., Turell, E.S. and Gerking. (1945) : Physiologically equivalent conditions of air temperature and humidity. *Am. J. Physiol.*, **143**, 21-32
 - 16) Snellen, J.W. (1966) : Mean body temperature and the control of thermal sweating. *Acta Physiol. Pharmacol. Neerl.*, **14**, 99-174
 - 17) Strommre, S., Andersen, K.L. and Elsner, R. W. (1963) : Metabolic and thermal responses to muscular exertion in the cold. *J. Appl. Physiol.*, **18**, 756-762
 - 18) Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D. (1966) : Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 967-977
 - 19) Vogel, T.A., Hansen, T.E. and Harris, C.W. (1967) : Cardiovascular responses in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *J. Appl. Physiol.*, **23**, 531-539
 - 20) Winslow, C-E.A. and Gagge, A.P. (1941) : Influence of physical work on physiological reactions to the thermal environment. *Am. J. Physiol.*, **134**, 664-681
 - 21) West, J.B., Lahiri, S., Gill, M.B., Milledge, J.S. Pugh, L.G. and Ward, M.P. (1962) : Arterial oxygen saturation during exercise at high altitude. *J. Appl. Physiol.*, **17**, 617-621