

# 長時間運動時の生理反応に及ぼす 湿度の影響とその性差

	昭 和 大 学	枋 原 裕
(共同研究者)	同	大 中 忠 勝
	同	山 崎 信 也
	同	田 中 正 敏
	同	吉 田 敬 一
	国立公衆衛生院	小 川 庄 吉
	日本体育大学	井 川 正 治
	日本女子体育大学	伊 藤 由 美
	同	渡 辺 佳 代 子

## Effects of Air Humidity on Physiological Responses of Men and Women during Prolonged Exercise

by

Yutaka Tochihara, Tadakatsu Ohnaka,  
Shinya Yamazaki, Masatoshi Tanaka and Keiichi Yoshida

*Department of Hygiene,  
School of Medicine, Showa University*

Shoukichi Ogawa

*Department of Physiological Hygiene,  
The Institute of Public Health*

Shouji Igawa

*Laboratory of Physical Fitness,  
Nippon College of Physical Education*

Yumi Ito and Kayoko Watanabe

*Laboratory of Anthropology,  
Japan Women's College of Physical Education*

## ABSTRACT

Six male and 6 female students with similar weight and physical fitness worked out on a bicycle ergometer (100W) for 60 min at different air humidities (rh: 35%, 60% and 85%). Air temperature was kept 30°C. Evaporated sweat rate (ESR), unevaporated sweat rate (USR), rectal temperature ( $T_{re}$ ), mean skin temperature ( $\bar{T}_{sk}$ ), heart rate (HR) and oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) were recorded. There were no significant differences of  $T_{re}$  and  $\dot{V}O_2$  among three humidities for both sexes. USR,  $\bar{T}_{sk}$  and HR at high humidity were significantly higher than those at low humidity for both sexes. The increase in USR at high humidity for men was larger than that for women. There were no significant sex differences of ESR,  $T_{re}$ ,  $\bar{T}_{sk}$  and HR at each humidity. Lower increase in USR and oxygen requirement for women than for men at high humidity would be advantage to temperature regulation in women to prolonged exercise under the condition of humid heat.

## 緒 言

従来からの高温環境下における湿度の人体影響の研究に加え、最近、中等温度域においても、生理・心理反応に及ぼす湿度の影響を論じる研究例が報告されている<sup>1-4)</sup>。しかしながら、そのほとんどは男子を対象としたもので、女子の例は少ない。また、運動時の体温調節に及ぼす体力（最大酸素摂取量）の役割りも明らかにされ、性差を論じる際には、男女の体力差を考慮しなければならないことが認められている<sup>5)</sup>。一般に、体温調節において重要な役割をはたす発汗は、女子の方が男子よりもその量が少ないとの報告が多い<sup>6,7)</sup>。しかしながら、この差も、男女の体格差、体力差に由来することも考えられところである。また、体温調節の上からは、単に発汗量を問題にするのではなく、有効な発汗量（すなわち滴下した汗を除く）が問題となる。本報告では、体格及び鍛練の程度がほぼ等しい男女を被検者として、気温30°Cにおける長時間運動時の生理反応に及ぼす、

湿度の影響を調べ、かつその性差を論じる。

## 実験方法

相対湿度は、35(±5)%, 60(±5)%, 85(±5)%の3条件で、各条件とも気温は30(±0.3)°C、気流は20cm/s以下である。気温28°C、湿度55%の前室で30分間以上安静の後、各条件の室に入室させ、自転車エルゴメータ上で30分間安静を取らせた。しかる後に、100W(50rpm)の自転車エルゴメータ運動を60分間行わせた。被検者は、男女各6名の大学生で、すべてテニスクラブに所属している。被検者の身体的特徴を表1に示した。被検者には、男女の体格がほぼ同じで、しかも同程度に鍛練された者を選んだ。すなわち、除脂肪体重当りの最大酸素摂取量に、男女差がないようにした。ただし、女子の方が体脂肪率が高いため、女子の除脂肪体重は小さく、最大酸素摂取量も少ない。

実験中連続して、総発汗量（体重減少量）をベッドバランス（ポッター社製）により測定し、滴

表1 Physical characteristics of subjects.

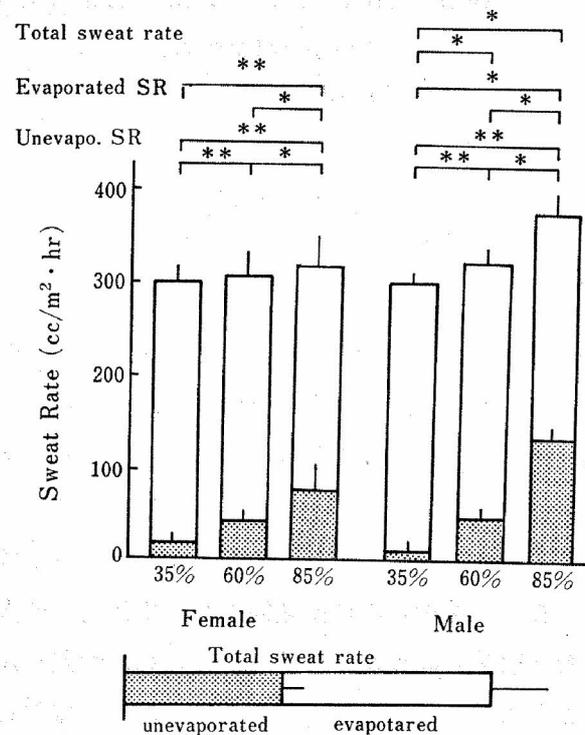
	Male (n=6)	Female (n=6)
Age (years)	21.00±0.68	20.17±0.60
Height** (cm)	169.12±1.53	159.12±2.44
Weight (Wt) (kg)	55.47±1.72	54.67±2.33
BSA (m <sup>2</sup> )	1.585±0.28	1.513±0.04
BSA/Wt (cm <sup>2</sup> /kg)	286.4±4.20	277.5±4.53
% Fat** (%)	14.17±0.48	24.13±1.95
LBM* (kg)	47.65±1.61	41.47±2.02
$\dot{V}O_2$ max* (l/min)	3.03±0.11	2.68±0.08
$\dot{V}O_2$ max/LBM (ml/min/kg)	63.78±2.13	65.53±4.34

Values are means±SE. BSA: body surface area, LBM: lean body mass  
\*p<0.05, \*\*p<0.01 : Significant sex differences.

下した汗量（無効発汗量）は流動パラフィンの重量を連続測定することにより求めた。実験中、心拍数、血圧、直腸温、7部位の皮膚温、酸素摂取量を測定した。心拍数と血圧は、それぞれ胸部誘導心電図、Riva-Roci型血圧計により測定した。直腸温は、肛門下12cmにおいてサーミスタ温度計により求め、平均皮膚温は、Hardy-DuBoisの7点法により算出した<sup>5)</sup>。呼気量は連続呼気流量計、呼気中のO<sub>2</sub>濃度はポーラログラフ法、CO<sub>2</sub>濃度は赤外線法により測定した。着衣は、男子は短パン、女子はビキニ型水着のみとした。実験は、8月初旬から9月中旬にかけて行い、各条件への曝露は日を変えて実施し、かつその曝露順は無作為化した。

結果と考察

図1に、運動時の発汗量（総発汗量，有効発汗量，無効発汗量）を男女別，湿度条件別に，平均値と標準誤差で示した。総発汗量は，高湿になるほど増大する傾向が認められたが，男子の方がこの傾向が著しく，男子のみに湿度間に有意差（p<0.05）が認められた。無効発汗量は，男女ともに高湿になるほど有意（p<0.05）にその値は大きい。また男女とも，湿度85%の有効発汗量は有意（p<0.05）に，他湿度よりも小さい。ただし



\*p<0.05, \*\*p<0.01 ; significant differences

図1 Values are means and SE of sweat rate during exercise.

高湿になることにより増大する無効発汗量の増加量は，男子の方が有意（p<0.05）に大きい。各発汗量には，3条件ともに男女差は認められない。特に，人体からの放熱に関与する有効発汗量は，各条件下ともに男女差は小さい。少なくとも，同程度の体格と体力を持つ者であれば，女子の発汗能力が男子よりも劣ることはないと思われる

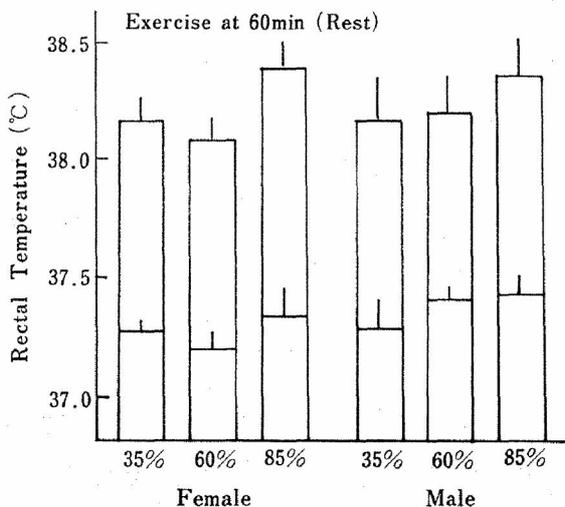
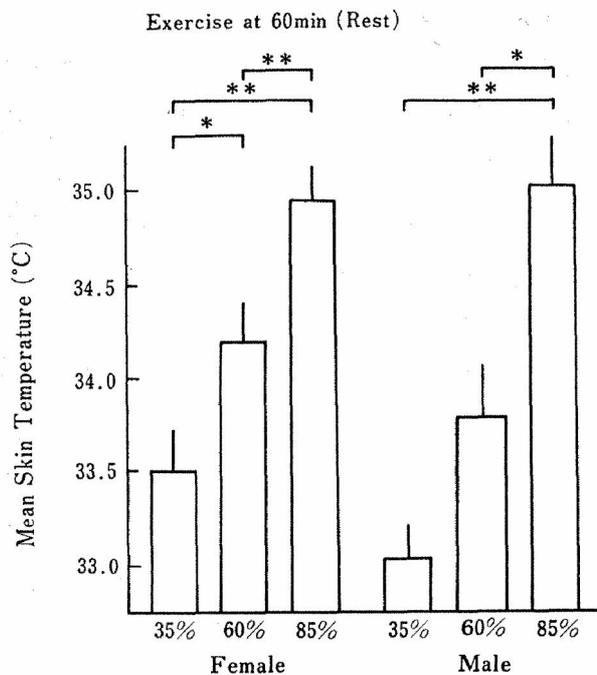


図2 Values are means and SE of rectal temperature.

る。さらに従来指摘された高温時の男子の多量の発汗は<sup>6,7)</sup>、無効発汗量の増大によるところが大きく、Wyndhamら<sup>8)</sup>やShapiroら<sup>9)</sup>が報告したように、男子は特に高湿下において、体温調節上無駄な発汗を分泌し易いと思われる。

図2に、運動前安静時、運動60分目の直腸温を、平均値と標準誤差で示した。運動前安静時の直腸温には、湿度間に有意な差はない。ただ、湿度60%時の直腸温は男子の方が女子よりも有意 ( $p < 0.05$ ) に高値を示した。運動終了時の直腸温は、特に湿度85%時には高値をとる傾向にあったが、男女とも湿度間に有意差はなく、また、同じ条件下における直腸温に性差は認められない。丹羽と中山は<sup>9)</sup>、中等温域 (26°C) の実験で、直腸温は  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の50%以下の運動では湿度変化の影響を受けにくい、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の60%以上の運動においては高湿に伴う直腸温の上昇が著しいことを示した。本実験で用いた運動強度は、男女とも、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の45~47%であり、湿度変化による直腸温の有意な上昇をもたらすほどの強度ではなかったものと思われる。

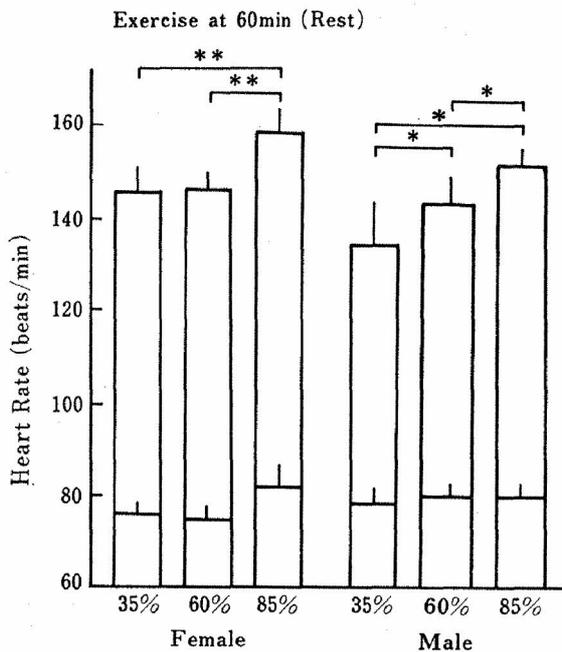
図3に運動60分目の平均皮膚温を同様に示した。男女とも湿度の変化により、平均皮膚温は著明な差を生じ ( $p < 0.05$ )、高湿時ほど高値を示し



\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ ; significant differences

図3 Values are means and SE of mean skin temperature.

た。これは、高湿に伴って汗の蒸発能力が低下し、蒸発による熱放散が妨げられ、その結果皮膚血流量が増大したことの反映と思われる。湿度35%、60%では男子の平均皮膚温は女子よりも低い傾向にあったが、有意差はなく、湿度85%におい



\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ ; significant differences

図4 Values are means and SE of heart rate.

ては両者の差は小さい。

図4に、運動前安静時、運動60分目の心拍数を同様に示した。安静時の心拍数には、湿度差、性差は認められない。運動60分目の心拍数には、明らかな湿度差が認められ、高湿条件ほど高い値を示した ( $p < 0.05$ )。湿度の影響は、直腸温よりも早期に心拍数に表われて来るものと思われ、この高湿時の心拍数の増加は、高湿に伴って皮膚血流量が増大し、心臓への血液環流の減少により一回拍出量の低下が生じ、これを補うための現象と言えよう。

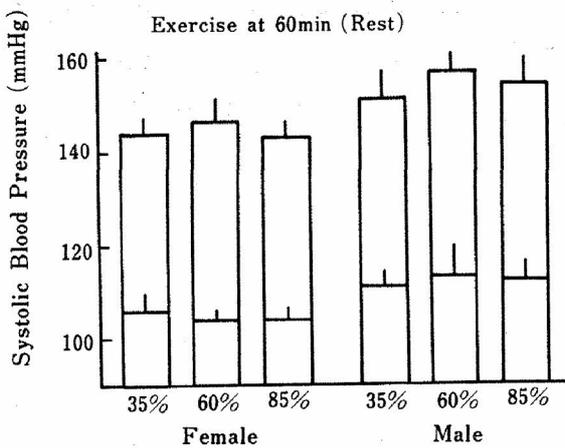
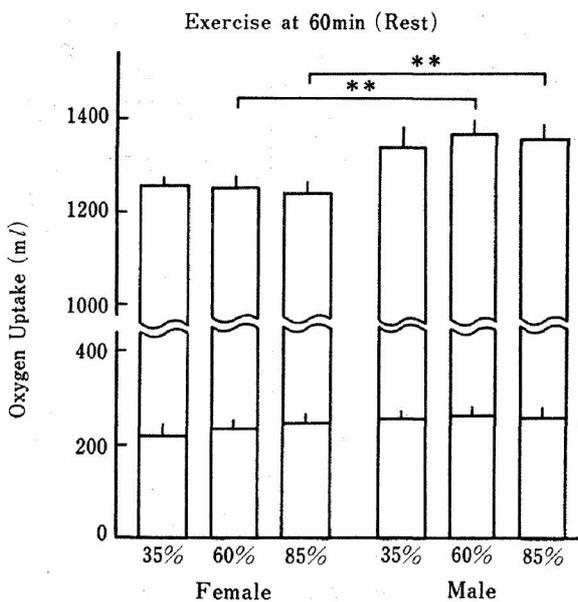


図5 Values are means and SE of systolic blood pressure.



\*\* $p < 0.01$ ; significant difference

図6 Values are means and SE of oxygen uptake.

図5に、収縮期血圧を同様に示した。安静時、運動60分目の各値とも収縮期血圧への湿度の影響はごく小さく、各湿度間に差は認められない。一般に女子の収縮期血圧は、男子よりも低い傾向にあったが、その差は有意ではない。本実験程度の温熱負荷(気温、運動量)時における湿度の変化は、収縮期血圧にほとんど影響を与えないものと思われる。

図6に、酸素摂取量を同様に示した。安静時の酸素摂取量には、男女ともに湿度差が認められない。男子の安静時酸素摂取量は、女子よりもやや多く、湿度60%では有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。運動時の酸素摂取量も、湿度による差異は小さいが、女子では高湿時低下傾向が認められたのが特徴的であった。酸素需要量(運動時酸素摂取量と安静時酸素摂取量の差)は、男子の方が大きく、特に湿度60%、85%では、有意 ( $p < 0.05$ ) に大きい。その結果、湿度60%、85%条件下の運動時酸素摂取量は、有意 ( $p < 0.01$ ) に男子の方が大きい。すでに、高温下における運動継続に伴う酸素摂取量の増加程度は、男子が女子よりも著しいことが報告されている<sup>5,7)</sup>。本実験においても、中高湿時には、同一負荷の運動を行ったにもかかわらず、男子の運動時酸素摂取量は女子よりも大きな値を示した。このことによって、男子はより大きな最大酸素摂取量を有したにもかかわらず、相対的運動強度は、男女ともほぼ45~47%となり、男女差は小さくなったものと思われる。女子のより小さな運動時酸素摂取量は、体温調節上有利な反応と言えよう。

### 結 語

相対湿度 35%、60%、85% (気温 30°C、気流 20cm/s) の3条件下において、体格及び鍛練の程度がほぼ等しい男女学生6名を被検者として、100Wの自転車エルゴメータ運動を60分間行わせた。

1) 直腸温, 収縮期血圧, 酸素摂取量には, 男女とも湿度差は認められない.

2) 男女とも, 高湿になるほど, 無効発汗量, 心拍数, 平均皮膚温は高値を示した.

3) 高湿時の男子のより著しい総発汗量増大は, 無効発汗量の増大によるところが大きい.

4) 男女の体格と鍛練の程度が, 等しければ, 各湿度条件とも, 男女の有効発汗量, 心拍数, 直腸温, 平均皮膚温, 収縮期血圧に大きな差は認められない.

5) 中高湿時の酸素需要量は, 女子の方が小さく, 体温調節上有利な反応と思われた.

#### 文 献

- 1) 渡辺明彦ほか; 中等度環境気温における湿度の人体に及ぼす影響 (第1報), 労働科学, **52**(11): 635—650 (1976)
- 2) 渡辺明彦ほか; 中等度環境気温における湿度の人体に及ぼす影響 (第2報), 労働科学, **53**(3):

199—219 (1977)

- 3) 丹羽健市, 中山昭雄; 運動時の体温調節におよぼす湿度の影響, 日生氣誌, **14**: 13 (1977)
- 4) 丹羽健市ほか; 湿度からみた運動時の体温上昇, 日生氣誌, **20**(3): 69 (1983)
- 5) Tochiara, Y.; Physiological responses of men and women during prolonged 40%  $\dot{V}O_2$  max exercise at different ambient temperatures, *J. Anthropol. Soc. Nippon*, **92**(1): 1—12 (1984)
- 6) Weinman, K.P. et al.; Reaction of men and women to repeated exposure to humid heat, *J. Appl. Physiol.*, **22**(3): 533—538 (1967)
- 7) Hori, S. et al.; Oxygen intake of men and women during exercise and recovery in a hot environment and a comfortable environment, *Environmental Stress*, Academic Press, New York: 39—52 (1978)
- 8) Wyndham, C.H. et al.; Heat reactions of male and female Caucasians, *J. Appl. Physiol.*, **20**(3): 357—364 (1965)
- 9) Shapiro, Y. et al.; Physiological responses of men and women to humid and dry heat, *J. Appl. Physiol.*, **49**(1): 1—8 (1980)