青年女子の最大酸素摂取量に及ぼす高温の影響

栃原 裕

昭和大学医学部衛生学教室

Maximal Oxygen Uptake of Young Females in a Hot Environment

Yutaka TOCHIHARA

Department of Hygiene, School of Medicine, Showa University
Shinagawa-ku, Tokyo, 142 Japan

Maximal oxygen uptakes ($\dot{V}O_{2max}$) of 26 female students, athletes ($n=13$) and nonathletes ($n=13$), were measured by progressive bicycle exercises in neutral (T_a : 25°C) and hot (T_a : 35°C) environments. Heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP) and rectal temperature (T_{re}) were recorded continuously during exercise.

$\dot{V}O_{2max}$ of nonathletes were not significantly decreased in hot environment. On the other hand, athletes decreased significantly $\dot{V}O_{2max}$ by 6.5% in hot environment. There was no difference between groups in maximal HR in neutral or hot environments. In neutral environment, SBP of athletes at maximum work loads were significantly higher than those of nonathletes, but in hot environment, there was no difference between groups. T_{re} of athletes at maximum work loads were significantly higher than those of nonathletes in both environments due to long exercise time. But in both groups, there was no difference of T_{re} between environments.

緒言

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は、各人の持続的全身作業能を評価する上で、最も有効な指標の1つとされている(北川と猪飼, 1972)。ところが、この $\dot{V}O_{2max}$ が、高温により影響を受けるかどうかの研究は少なく、しかも常温時にくらべ高温時に最大酸素摂取量は減少するとした報告 (Klausen *et al.*, 1967; Pirnay *et al.*, 1970; Gupta *et al.*, 1977) と高温時においても変化しないとの報告 (Williams, 1962; Rowell *et al.*, 1966) とがあり、見解が定まっていない。この一因には、高温条件(気温や気湿)や曝露時間の相違、それに対象者の高温馴化の程度、体力差等が考えられている。Sakate (1978) は、最大酸素摂取量に対する気温の影響を調べ、 $\dot{V}O_{2max}$ と気温との間には有意な2次回

帰式が得られ、気温25°Cにおいて各人の最大酸素摂取量は最高になることを示した。また最大酸素摂取量の減少を認める気温の臨界温は30~40°Cの間にあると推測した。そこで本研究では、従来研究されることが少なかった女子、それも運動者と非運動者の二群を対象とし、室温25°C、35°Cの条件下で最大酸素摂取量を測定した。

本研究の目的は、高温条件が女子の $\dot{V}O_{2max}$ に及ぼす影響を、同時に測定した循環機能、体温等との関係で検討することである。

方法

被検者：運動者と非運動者各13名、計26名の女子大生を被検者とした。運動者は、大学のバドミントン部員で、1日約2時間、週に5日のトレーニングを5

Table 1. Physical characteristics of subjects

		Age (yrs)	Ht (cm)	Wt (kg)	Body** density (g/ml)	% Fat** (%)	LBM*** (kg)
Nonathletes n=13	Mean	20.2	158.4	52.7	1.0356	27.2	38.2
	SD	1.6	6.0	6.3	0.0113	4.8	3.0
Athletes n=13	Mean	20.1	158.3	54.7	1.0484	21.8	42.6
	SD	0.9	4.3	5.1	0.0118	4.9	2.7

P<0.01, *P<0.001 ; difference between groups.

年間以上行なっている者であった。非運動者は、過去3年間以上、特別な身体的トレーニングを実施していない者である。身体的特徴を表-1に示した。除脂肪体重(LBM)は体重から脂肪重量を除いたものである。身体脂肪比率(%Fat)は、水中体重法により、身体密度を測定し、Brožek *et al.* (1963)の式より推定した。残気量は、水中体重測定時に同時に求めた。年齢、身長、体重には両群間に差異はない。有意差(P<0.01)が認められたのは、身体密度、%Fat、LBMについてであり、運動者は非運動者に比べ、身体密度が大きく、%Fatが低く、LBMが重い。

手順：室温は25℃、35℃の2条件で、相対湿度60%であった。着衣はセパレート型水着とした。各室温下20分間の椅坐安静の後、座位自転車エルゴメータ運動(50rpm)を50Wから開始し、以後3分毎に25W漸増する連続多段階負荷を疲憊に致るまで行なわせた。運動中、被検者には声をかけて、各人の最大能力を発揮させるようにした。呼気量は連続呼気流量計(フクダ産業CR-20)により、呼気中のO₂濃度はポーラログラフ法、CO₂濃度は赤外線法(フクダ産業BM-79)により実験中連続測定を行なった。心拍数(HR)は心電図から求め、血圧は左上腕で運動中1分毎に測定した。脈圧とHRとの積(PPHR)も1分毎に求めた。肛門内10cmの直腸温はサーミスタ温度計により1分毎に連続測定した。

なお、各室温での実験は、数日あけて行ない、かつ実施順はランダムとした。

結 果

各室温18分間安静後における両群の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、肺換気量($\dot{V}e$)、呼吸商(RQ)、HR、収縮期血圧(SBP)、PPHR、Treの平均値と標準偏差値を表

-2に示す。 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}e$ 、RQ、PPHR、Treには、両群間、両室温間ともに有意差は認められない。SBPは両群とも室温間に有意差はないものの、25℃の条件下では運動者のSBPは非運動者よりも有意(P<0.05)に大きい。HRは両群とも35℃の方が有意(P<0.05)に高く、しかも両室温とも非運動者のHRは運動者よりも有意(P<0.05)に高い。

75W運動負荷時の諸生理反応の平均値を表-3に示す。この値は運動開始後5~6分目の値で、全ての被検者がこの運動負荷を遂行出来た。 $\dot{V}O_2$ 、SBP、PPHR、Treには、両群間、両室温間ともに有意差は認められない。 $\dot{V}e$ とRQは両群ともに室温差は認められないものの、両室温とも、運動者の値が有意(P<0.01)に小さい。HRは両群とも35℃の方が有意(P<0.05)に高く、両室温とも非運動者のHRは運動者よりも高度に有意(P<0.001)に高い。

最大運動負荷時の運動耐容量及び諸生理反応の平均値を表-4に示す。 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}e$ 、RQ、HRは運動終了前30秒間の値を2倍したものであり、その他は運動終了直前の値を示す。運動耐容量は、両室温とも運動選手が有意(P<0.001)に大きく、非運動者の運動耐容量は運動者の62%にすぎない。ただし、運動耐容量には両群とも室温間に有意差はない。 $\dot{V}O_{2max}$ は、両室温とも運動者が有意(P<0.001)に非運動者よりも大きい。非運動者の $\dot{V}O_{2max}$ には室温差は認められないものの、運動者では35℃時に25℃時の6.5%減の有意(P<0.01)な低下を示した。肺換気量は、両室温ともに運動者が有意(P<0.01)に非運動者よりも大きく、また両群とも、高温時には換気量の有意(P<0.05)な低下が認められた。

RQ、HRには両群、両室温とも有意差は認められず、平均値で各々1.15、187拍/分であった。SBPは、両群

Table 2. Mean and SD of physiological reactions at rest.

	ATHLETES				NONATHLETES			
	25°C		35°C		25°C		35°C	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
$\dot{V}O_2$	244.5	28.3	245.7	43.8	220.7	48.2	220.2	49.4
$\dot{V}e$	8.29	1.02	8.40	1.54	7.89	2.06	8.08	2.31
RQ	0.844	0.054	0.833	0.057	0.833	0.040	0.845	0.056
HR	71.38	8.43	82.00	14.62	81.46 ^a	11.59	94.00 ^a	14.14
SBP	121.1	11.6	116.8	13.2	111.2 ^a	6.5	112.2	9.7
PPHR	2678	875	3123	1176	2702	779	3465	1355
Tre	37.31	0.34	37.30	0.32	37.32	0.24	37.30	0.26

$\dot{V}O_2$: oxygen uptake (ml/min), $\dot{V}e$: pulmonaly ventilation (l/min), RQ : respiratory quatinent, HR : heart rate (beats/min), SBP : systolic blood pressure (mmHg), PPHR : pulse pressure x HR, Tre : rectal temperature (°C)

*($p < 0.05$), **($p < 0.01$) ; difference between conditions, a ($p < 0.05$). aa ($p < 0.01$) ; difference between groups.

Table 3. Mean and SD of physiological reactions during 75W work load.

	ATHLETES				NONATHLETES			
	25°C		35°C		25°C		35°C	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
$\dot{V}O_2$	1050	54.1	1068	59.6	1072	78.2	1052	100
$\dot{V}e$	26.7	2.36	27.5	3.6	32.0 ^{aa}	3.9	33.0 ^{aa}	4.9
RQ	0.917	0.047	0.891	0.039	0.986 ^{aa}	0.056	0.997 ^{aa}	0.049
HR	122.2	12.8	129.4	16.4	145.9 ^{aa}	16.3	154.1 ^{aa}	16.1
SBP	150.2	16.5	144.2	12.6	146.0	9.7	146.5	12.2
PPHR	7984	2607	7718	2746	8549	1566	9146	1999
Tre	37.31	0.37	37.37	0.32	37.29	0.26	37.32	0.27

Same marks are used as in Table 2.

Table 4. Mean and SD of physiological reactions during maximum work load.

	ATHLETES				NONATHLETES			
	25°C		35°C		25°C		35°C	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
ET	19.3	2.9	18.6	3.2	12.0 ^{aa}	1.7	11.8 ^{aa}	2.0
$\dot{V}O_2$	2440	310	2280	290	1810 ^{aa}	190	1760 ^{aa}	250
$\dot{V}e$	86.4	10.7	81.8	11.9	73.5 ^{aa}	11.5	66.5 ^{aa}	13.6
RQ	1.144	0.066	1.139	0.060	1.153	0.053	1.148	0.029
HR	188.5	5.1	187.4	5.3	185.5	10.2	186.9	11.3
SBP	182.0	16.8	174.2	19.5	160.9 ^{aa}	17.5	162.5	16.6
PPHR	18176	4782	16053	4102	13110 ^{aa}	3080	13789	3767
Tre	37.85	0.54	37.86	0.36	37.43 ^a	0.27	37.52 ^a	0.33

ET : exercise time (min), Same marks are used as in Table 2.

とも室温間に有意差は認められない。25℃時に示された運動者の有意 ($P < 0.01$) に大きい SBP は、35℃には認められない。PPHR は、運動者のみ35℃時に有意 ($P < 0.05$) に低下した。このため25℃に認められた両群間の有意な差異は、35℃には得られなかった。Tre は、両室温ともに運動者の方が有意 ($P < 0.05$) に高かったが、両群とも室温間に差異は認められない。

考 察

Gimenez *et al.* (1981) は、およそ9分で疲憊に致する20W/min 漸増負荷法と、およそ18分で疲憊に致する30W/3 min 漸増負荷法によって得られた $\dot{V}O_{2max}$ には差は認められないことを示した。また、各条件下の最大負荷時の HR, RQ は各々187拍/分、1.15で最大負荷時の $\dot{V}O_2$ は、ほぼ各人の $\dot{V}O_{2max}$ を示すものと思われる (Atomi and Miyashita, 1974, 1980)。常温時における非運動者の $\dot{V}O_{2max}$ (1.81 l/min) は、同年代の日本人女子平均値1.85 l/min (飯塚1980) とほぼ一致しており、非運動者はほぼ日本人の平均的な体力を持つ被検者群と思われる。また運動者の $\dot{V}O_{2max}$ (2.44 l/min) は、Atomi and Miyashita (1974) の活動的な20歳台女子の平均値1.92 l/min よりもかなり大きく、彼女らがすぐれた運動選手であることを示している。

安静時、75W運動負荷時のHRには、室温差、群差が認められた。高温時の心拍数が常温時に比べ高値を示し (Rowell *et al.* 1966)、また最大下作業時の心拍数は、絶対的負荷量よりもその相対的負荷量に比例するということは良く知られた事実である (Åstrand and Rodahl, 1970)。しかしながら、最大負荷時のHRには、室温差、両群差は認められない。このことは Pirnay *et al.* (1970) も指摘したところで、最高心拍数は、高温や常温、運動者や非運動者にかかわらず変化しない様である。安静時及び75W運動負荷時のSBP, PPHR には、両群間、両室温間に目立った差異は認められない。最大負荷時のSBPは運動者25℃182.0mmHg, 35℃174.2mmHg, 非運動者25℃160.9mmHg, 35℃162.5mmHgであった。両群とも室温間に有意差は認められないものの、両群間の差異は25℃時においてのみ認められた。これは非運動者のSBPが高温時にほとんど変化しなかったのに対し、運動者では低下傾向にあったことの反映である。

高温時の $\dot{V}O_{2max}$ は、運動者のみにおいて6.5%の有

意な減少を示した。Pirnay *et al.* (1970) は、あらかじめ高温による負荷を加えた場合には、 $\dot{V}O_{2max}$ が高温時に減少するが、高温曝露すぐに最大作業を行なっても $\dot{V}O_{2max}$ の低下を生じないことを示した。また Craig and Froehlich (1968) は、高温下での運動耐容量は運動開始直前のHRやTreが高い場合減少し、高温時の運動耐容量の減少は、循環機能の余力の減少の結果によるものであるとした。しかしながら、本実験では、高温時の安静時心拍数増加は10拍/分程度で、しかも高温時に $\dot{V}O_{2max}$ の減少が認められなかった非運動者の方が初期心拍数は高値を示した。また運動前のTreは各条件とも平均値で37.3℃で温熱負荷が大きかったとは考えられない。このため運動者のみに認められた $\dot{V}O_{2max}$ の減少の理由に、高温時の初期条件の差は考えられない。最大作業時に認められた (Table 4) 運動者と非運動者との差異の目立ったものは運動耐容量の差であった。疲憊に到るまでの時間は、両室温とも非運動者は運動者の約62%にすぎなかった。一般により長時間の高温曝露及び運動は、人体により大きな高温ストレスを与えることが予測される。本実験においても、安静時及び最大下作業では、運動者は非運動者よりも優れた高温耐性を示したのに対し、最大負荷時には、運動者の方がより循環器への負担が大であることが予測された。つまり、最大負荷時には、運動者のSBPが高温時に低下傾向を示し、特に脈圧とHRの積であるPPHRは、運動者のみ高温期に有意に低下を示した。PPHRは一般に心拍出量と近似した変動を示すことが知られている (Hamilton, 1962)。運動者の高温下での高温曝露時間がより長く負荷強度がより大きいことが、彼女らの心臓への負荷を増大させ、PPHRの有意な低下を生じたのであろう。

高温時の $\dot{V}O_{2max}$ の低下は、皮膚血流量の増大により、作業筋への血流配分が低下すること、もしくは一回拍出量そのものが低下することによると予測されている。いづれにしても、本実験で示された結果からは、高温時 $\dot{V}O_{2max}$ の変動は、運動能力の差異というより、 $\dot{V}O_{2max}$ が得られた高温ストレスの大小により決定される様である。

本研究は、昭和大学 大中忠勝、山崎信也、日本女子体育大学 市原温美、小林章子各氏との共同研究である。

文 献

- Atomi, Y. and M. Miyashita, 1974: Maximal aerobic power of Japanese active and sedentary adult females of different ages (20 to 62 years), *Med. Sci. Sports*, 6(4), : 223-225.
- Atomi, Y. and M. Miyashita, 1980: Effect of training intensity in adult females on aerobic power, related to lean body mass., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 44: 109-116.
- Åstrand, P.-O. and K. Rodahl, 1970: Text book of work physiology., McGraw-Hill Book Company, New York: 165.
- Brožek, J., F. GRANDE, J.T. Anderson and A. Keys, 1963: Densitometric analysis of body composition., *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- Craig, F.N. and H.L. Froehlich, 1968: Endurance of preheated men in exhausting work., *J. Appl. Physiol.*, 24(5): 636-639.
- Gimenez, M., W. Salinas, E. Seruera and C. Kuntz, 1981: $\dot{V}O_{2max}$ during progressive and constant bicycle exercise in sedentary men and women., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46: 237-248.
- Gupta, J.S., G.P. Dimri and M.S. Malhotra, 1977: Metabolic responses of Indians during sub-maximal and maximal work in dry and humid heat., *Ergonomics*, 20(1), 33-40.
- Hamilton, W. F., 1962: Handbook of Physiology, circulation, Waverly press, Maryland: 555-558.
- 飯塚鉄雄, 1980: 日本人の体力標準値第三版, 不昧堂, 東京: 268-271.
- 北川薫, 猪飼道夫, 1972: 青少年期における最大酸素摂取量と形態との関連性, *体育学研究*, 17(3): 159-166.
- Klausen, K., D.B. Dill, E. E. Phillips, Jr., and Don McGregor, 1967: Metabolic reactions to work in the desert., *J. Appl. Physiol.*, 22(2): 292-296.
- Pirnay, F., R. Deroanne and J. M. Petit, 1970: Maximal oxygen consumption in a heat environment., *J. Appl. Physiol.* 28(5): 642-645.
- Rowell, L.B., H.J. Mamx, R.A. Bruce, R.D. Conn and F. Kusumi, 1966: Reduction in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise., *J. Clin. Invest.*, 45(11): 1801-1816.
- Sakate, T., 1987: The effect of air temperature on physical working capacity., *J. Human Ergol.*, 7; 127-134.
- Williams, C.G., G.A. G. Brebell, G.H. Wyndham, N.B. Strydom, J.F. Morrison, J. Reter, P. W. Fleming, and J. S. Ward, 1962: Circulatory and metabolic reaction to work in heat., *J. Appl. Physiol.*, 17(4): 625-638.

(1982年12月15日受付)