温環境下運動時の体温上昇に及ぼす体格の 影響について

菊池安行¹⁾・勝浦哲夫¹⁾・岡田 明²⁾

¹⁾千葉大学工学部工業意匠学科人間工学教室

²⁾日本大学医学部第2解剖学教室

The Effects of Physique on the Increase in Body Temperature during Exercise in a Warm Environment.

Yasuyuki KIKUCHI¹⁾, Tetsuo KATSUURA¹⁾ and Akira OKADA²⁾

1) Department of Industrial Design, Faculty of Engineering, Chiba University
Yayoi-cho, Chiba, 260 Japan

2) Second Department of Anatomy, Nihon University School of Medicine
Ohyaguchi-Kamimachi, Itabashi-Ku, Tokyo, 173 Japan

Twelve male adults, aged 18-31 yr, exercised on a bicycle ergometer for 32 min at each of the two kinds of work loads, i.e., 300 and 600 kgm/min, in a warm environment (DBT=29.2±1.44°C, WBT=22.8±2.05°C). Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) and increase in rectal temperature (ΔTr) were measured at the last of the exercise. The skinfold thicknesses were measured at six sites, i.e., triceps, chest, abdomen, iliac, subscapula, and thigh. Mean skinfold thickness (MSF), body density, body fat (Fat), lean body mass (LBM) and body surface area (BSA) were calculated from the prediction equations. The multiple correlations for ΔTr , $\dot{V}O_2$, weight (wt) and MSF, and for ΔTr , $\dot{V}O_2$, Wt and Fat were found to be significant ($R=0.874$ and $R=0.871$), and the multiple regressions of ΔTr (°C) on $\dot{V}O_2$ (ml/min), Wt (kg) and MSF (mm), and on $\dot{V}O_2$, Wt and Fat (kg) were calculated as, $\Delta Tr=1.85+0.000661 \dot{V}O_2-0.0418 Wt+0.0289 MSF$, and $\Delta Tr=2.01+0.000658 \dot{V}O_2-0.0472 Wt+0.0568 Fat$. These equations may indicate that the increase in body temperature is accelerated by the thick subcutaneous fat and/or by the rich adipose tissue.

体型、体格により耐寒性、耐暑性が異なることは十分に考えられることである。動物の体型、体格が居住地域の気候と関連することは Bergmann の法則や Allen の法則が示唆するところである。ヒトにおいても、一般に寒帯に居住するヒトは四肢が短かく、皮下脂肪が厚い傾向にあり、逆に、熱帯に居住するヒトは四肢の皮下脂肪が薄いと言われている (近藤, 1963)。実際、沖縄住民の皮下脂肪は本土生まれの住民と比較し薄いこと (堀ら, 1974)、あるいはタイ人の皮下脂肪はタ

イ在住日本人より薄いこと (堀ら, 1976) が報告されている。一方、太った人は痩せた人よりも高温下の作業がより大きな負担になると言われており、Haymes *et al.* (1975) は高温環境下の運動中、太った少年の直腸温上昇量は痩せた少年のものより大きいことを見い出している。こうしたことから、皮下脂肪厚、体重、体表面積などの体型、体格が耐暑性に影響を及ぼしていることが予想される。本研究はこうした体型、体格と耐暑性の関連を明らかにすることを目的とし、温環境下運

動中の体温上昇を測定し、検討した。

方 法

被検者は健康な日本人青年男子12名で、うち4名は約1年半の間を置き2回実験を行った。これらの16名の被検者の年齢、身長、体重、及び藤本ら(1968)の式により算出した体表面積を第1表に示した。各被検者の皮脂厚は皮脂厚計(Holtain 社製)を用いて身体右側を計測した。計測部位は、上腕背部(肩峰と肘頭間の後部中央点)、胸部(鎖骨と乳頭の間)、腹部(臍部右方約2.5cm)、腸稜部(腸骨稜隆起と肋骨下部間の腋窩中央線上)、大腿前部(中央点)、及び肩甲骨下部(水平軸より45°の角度でつまむ)の6部位であった。

被検者はショートパンツのみを着用し、自転車エルゴメータ上での安静の後、300kgm/minと600kgm/minの2強度の運動を各々32分間実施した。運動前安静時と運動終了直前の直腸温をサーミスタ温度計で測定した。また、運動30~32分目の呼気をダグラスバッグに採取し、乾式ガスメータ、レスピライザー(フク

ダ産業, BM-10)を用い酸素摂取量を求めた。実験は温環境下で行われ、実験中の温熱条件の平均値と標準偏差は乾球温 $29.2 \pm 1.44^{\circ}\text{C}$ 、湿球温 $22.8 \pm 2.05^{\circ}\text{C}$ であった。

結果と考察

堀ら(1974)の式より算出した平均皮脂厚, Nagamine & Suzuki(1964)の式を用いて推定した体密度, これを用いて Brožek *et al.* (1963)の式より算出した体脂肪量と除脂肪量を第2表に示した。算出された体密度の平均値は1.069g/mlであり、これを日本人青年男子を対象とした従来の報告と比較すると、堀ら(1974)による1.074g/mlや、高崎ら(1979)による1.073g/mlよりやや小さく、Nagamine & Suzuki(1964)の1.069g/mlと一致する。いずれにしても、今回の被検者は日本人青年男子の標準的体格を有するものと思われる。

Table 2. Estimated values of mean skinfold thickness (MSF; mm), body density (g/ml), body fat (kg), and lean body mass (LBM; kg).

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA(m ²)
A	18	168.9	53.3	1.556
B	21	171.0	56.0	1.604
C	21	170.2	63.2	1.687
D	21	162.0	51.3	1.489
E	22	168.0	60.8	1.644
F	21	170.4	67.6	1.740
F'	23	170.4	69.7	1.763
G	23	181.5	58.5	1.701
H	23	170.0	57.2	1.613
I	22	179.2	69.5	1.821
I'	24	179.2	66.4	1.785
J	26	165.0	55.0	1.554
J'	27	165.0	56.8	1.576
K	30	169.5	59.0	1.632
K'	31	169.5	58.5	1.626
L	31	167.8	71.0	1.760
mean	24	170.5	60.9	1.659
SD	3.9	5.316	6.26	0.09552

BSA = body surface area, calculated from the formula of Fujimoto *et al.* (1968).

Subject	MSF*	body density**	body fat***	LBM***
A	8.1	1.072	6.4	46.9
B	6.4	1.079	5.2	50.8
C	6.8	1.075	6.9	56.3
D	7.1	1.077	5.2	46.1
E	13.1	1.062	9.8	51.0
F	17.0	1.057	12.3	55.3
F'	17.2	1.058	12.3	57.3
G	7.3	1.075	6.4	52.1
H	8.4	1.070	7.4	49.8
I	14.8	1.063	10.9	58.6
I'	12.2	1.064	10.2	56.3
J	9.0	1.070	7.1	47.9
J'	9.9	1.072	6.9	49.9
K	7.2	1.073	6.9	52.1
K'	7.1	1.072	7.1	51.4
L	17.6	1.058	12.6	58.4
mean	10.6	1.069	8.4	52.5
SD	4.08	0.007183	2.6	4.05

* Calculated from the formula of Hori *et al.* (1974).

** Calculated from the formula of Nagamine & Suzuki (1964).

*** Calculated from the formula of Brožek *et al.* (1963).

各被検者の運動終了直前の酸素摂取量, 直腸温, 及び運動前安静値よりの直腸温上昇を運動強度別に第3表に示した. 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$, ml/min) に対する直腸温上昇量 (ΔTr , °C) の重回帰式を求めると,

$$\Delta Tr = -0.300 + 0.000587 \dot{V}O_2,$$

が得られた. 両者の相関は高く ($r=0.666$), 有意 ($p<0.01$) であった. 直腸温上昇と, 体重, 平均皮脂厚, 体密度, 体脂肪量, 除脂肪量, 体表面積各々との単相関係数を求め, 第4表に示した. 体重, 除脂肪量, 体表面積と直腸温上昇量には有意な負の相関が認められた. そこで, 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$, ml/min) と体重 (Wt, kg), 酸素摂取量と除脂肪量 (LBM, kg), 酸素摂取量と体表面積 (BSA, m²), 各々に対する直腸温上昇量 (ΔTr , °C) の重回帰式を求めると,

$$\Delta Tr = 1.19 + 0.000654 \dot{V}O_2 - 0.0259 Wt,$$

$$\Delta Tr = 1.85 + 0.000659 \dot{V}O_2 - 0.0426 LBM,$$

$$\Delta Tr = 2.54 + 0.000656 \dot{V}O_2 - 1.76 BSA,$$

となった. 重相関係数はそれぞれ $R=0.849$, $R=0.870$, $R=0.861$ であり, いずれも高い有意性 ($p<0.01$) を示した. また, いずれの偏回帰係数も有意 ($p<0.05$) であった. 以上の式は, 同一運動強度で産熱量が等しい時は, 体重が大きい程, あるいは体表面積が大きい程, 体温上昇が抑制されることを示しているように思われる.

ここで, さらに直腸温上昇量 (ΔTr , °C) を従属変数とし, 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$, ml/min), 及び体重 (Wt, kg), 平均皮脂厚 (MSF, mm), 体脂肪量 (Fat, kg) 等の体格の指標からなる3独立変数以上の重回帰式を求めると, すべての独立変数の偏回帰係数が有意 ($p<0.05$) である式は, 以下の2式のみであった. すなわち, $\Delta Tr = 1.85 + 0.000661 \dot{V}O_2 - 0.0418 Wt + 0.0289 MSF$, $\Delta Tr = 2.01 + 0.000658 \dot{V}O_2 - 0.0472 Wt + 0.0568 Fat$, である. 重相関係数はそれぞれ $R=0.874$ ($p<0.01$), $R=0.871$ ($p<0.01$) であった. これらの式で注目されるのは, 平均皮脂厚と体脂肪量の偏回帰係数の符号が正であることである. これは, 産熱量, 体重が等しい時, 皮脂厚が厚い程, あるいは体脂肪量が多い程, 直腸温上昇量が大きいことを示している. 脂肪組織の熱伝導度は1.38と他の組織に比べ非常に低く, 皮下脂肪が断熱材として機能する (近藤, 1963) ことが想像される. 実際, 皮脂厚と冷水 ($15 \pm 0.1^\circ\text{C}$) 曝露中の直腸温低下度に有意な負の相関があることが報告されている

Table 3. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$; ml/min), rectal temperature (Tr ; °C), and increase in rectal temperature (ΔTr ; °C) at the last of the exercise.

Sub- ject	$\dot{V}O_2$	Tr	ΔTr	$\dot{V}O_2$	Tr	ΔTr
	300 kgm/min			600 kgm/min		
A	806	37.38	0.38	1443	38.15	0.80
B	825	37.90	0.15	1546	38.50	0.80
C	957	37.65	-0.15	1450	37.90	0.38
D	823	38.05	0.44	1462	38.30	1.20
E	876	37.85	0.30	1573	37.85	0.51
F	878	37.60	0.20	1532	38.30	0.50
F'	962	37.18	0.19	1656	37.79	0.44
G	942	38.05	0.25	1614	38.30	0.70
H	886	37.72	0.04	1542	37.93	0.73
I	919	37.42	-0.02	1535	38.00	0.35
I'	945	37.73	0.29	1590	37.55	0.13
J	852	37.60	0.24	1455	38.61	0.79
J'	766	37.82	0.22	1481	38.16	0.49
K	872	37.80	0.20	1658	38.40	0.80
K'	971	37.74	0.36	1481	38.16	0.49
L	1024	37.75	0.15	1708	38.20	0.60
mean	894	37.70	0.20	1545	38.13	0.61
SD	70.1	0.233	0.15	82.5	0.280	0.25

SD=standard deviation.

Table 4. Correlation coefficients with the increase in rectal temperature (ΔTr).

	Weight	MSF	Density	Fat	LBM	BSA
Correlation coefficient	-0.426*	-0.259	0.263	-0.316	-0.459*	-0.446*

MSF= mean skinfold thickness, LBM=lean body mass, BSA=body surface area.

* $P<0.05$

(Keatinge, 1960). しかしながら, 高温環境に曝露された時は皮膚血管の拡張が生じ, 皮下脂肪の断熱効果は減少するものと思われる. 一方, 運動中の皮膚血流量は同一体温の安静時に比べ減少することが Johnson *et al.* (1974) によって報告されている. さらに, 今回の実験が比較的穏やかな温環境下で行われたことから, 皮膚血管拡張はその最大レベルには達していなかった

ものと思われる。したがって、本研究の状況では皮下脂肪がなお有効な断熱材として機能し得たものと思われる。また、脂肪組織の比熱が除脂肪組織の約半分であることも今回の結果の一因である可能性も否定できない。

文 献

- Brožek, J., F. Grande, J. T. Anderson, & A. Keys, 1963: Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- 藤本薫喜, 渡辺 孟, 坂本 淳, 湯川幸一, 森本和枝, 1968: 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(5): 443-450.
- Haymes, E. M., R. J. McCormick, & E. R. Buskirk, 1975: Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boys. *J. Appl. Physiol.*, 39(3): 457-461.
- 堀 清記, 飯塚平吉郎, 中村 正, 1974: 沖縄住民の皮下脂肪厚および体脂肪含有率の比較. *栄養と食糧*, 27(7): 335-339.
- 堀 清記, 斎藤 昇, 吉村寿人, 1976: 熱帯住民の高温環境への適応に関する試論—タイ住民のケース・スタディ—. *東南アジア研究*, 14(1): 123-131.
- Johnson, J. M., L. B. Rowell, & G. L. Brengelmann, 1974: Modification of the skin blood flow—body temperature relationship by upright exercise. *J. Appl. Physiol.* 37(6): 880-886.
- Keatinge, W. R., 1960: The effects of subcutaneous fat and of previous exposure to cold on the body temperature, peripheral blood flow and metabolic rate of men in cold water. *J. Physiol.*, 153: 166-178.
- 近藤四郎, 1963: 皮下脂肪層の生長及びその分布型に関する小考. *人類学雑誌*, 70: 175-188.
- Nagamine, S. & S. Suzuki, 1964: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.*, 36: 8-15.
- 高崎裕治, 鎌滝昭男, 山崎昌広, 1979: 日本人青年男子の体密度推定式, *人類学雑誌*, 87(4): 439-444.

(1982年12月24日受付)