寒冷環境下での安静時及び身体作業時の代謝と循環機能について

成相隆之

九州芸術工科大学 人間工学教室

Metabolic and Cardiovascular Responses at Rest and during Submaximal Work in the Cold environment

Takayuki NARIAI

Department of Ergonomics, Kyushu University of Design Sciences

Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815 Japan

The metabolic and cardiovascular responses of 5 male students, 21-24 years of age, were studied at rest and during submaximal work when they were exposed to ambient temperatures of 6°C and 26°C with relative humidity 50%. On entering the experimental condition, each subject was seated on the bicycle ergometer for 40-41 min rest period, and then performed 8-9 min bout of bicycle ergometer work with pedaling frequency 50 r.p.m., at loads of 300, 600 and 900 kgm/min. Metabolic and cardiovascular parameters were observed during the last 3-4 min of each rest and work period.

In the condition of 6°C, at rest and 300, 600 kgm/min, oxygen uptake, cardiac output and stroke volume increased when compared with the values observed at 26°C. However, at 900 kgm/min, no difference was found between 6°C and 26°C. On the other hand, when these cardiovascular parameters were plotted against oxygen uptake, no difference between 6°C and 26°C was found in cardiac output and arterio-venous oxygen difference. However, at the same values of oxygen uptake within the range up to 2.0 l/min, stroke volume at 6°C was 20-30 ml/beat larger and heart rate at 6°C was 15-20 beats/min smaller than the values seen at 26°C.

緒言

寒冷環境への人間の暴露において見られる代謝性の産熱の増加は、末梢血流の減少による皮下組織での断熱性の増大と並んで、寒冷環境下での主要な体熱平衡の維持作用であると言われている (Åstrand と Rodahl, 1970).

寒冷環境下での安静時の酸素摂取量の増加は、現在までに多くの研究者によって観察されてきている (Adams と Heberling, 1958 ; Keatinge ら, 1964 ; Raven ら, 1970, 1975). その中でも, Raven らは 5°C (相対湿度 70%) の環境条件への安静状態での暴露において、酸素摂取量の増加は心拍出量及び一回拍出量の

増加と同時に観察されたということを報告している.

しかしながら、寒冷環境下での安静状態において観察されたこれらの代謝や循環機能の調節は、同じ寒冷環境下で身体作業を行う場合には変化するであろうと推察出来る. すなわち、身体作業は運動性の産熱を伴い、それは作業強度の増加に比例して増加するだろうということが考えられるからである.

本研究の目的は、6°C の寒冷環境と 26°C の常温環境において、安静と 3 種類の強度の身体作業の間の代謝と循環機能の反応を観察し、もし、これらの機能に及ぼす寒冷の効果が存在するならば、それらは作業強度の違いによってどのように変化するであろうか、とい

うことを検討することである。

方 法

被験者は年齢21—24歳の5名の健康な男子学生であった。被験者の年齢、身長、体重、藤本らの式（藤本ら、1968）により推定した体表面積を表1に示した。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subject.	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	Body Surface Area* (m ²)
Hi.	21	170	58.2	1.63
Sh.	23	176	60.7	1.69
Id.	23	177	65.8	1.76
Ta.	23	172	57.6	1.63
Na.	24	165	55.3	1.56
Mean	22.8	172.0	59.5	1.65
S.D.	1.0	4.3	3.6	0.07

* According to Fujimoto et al. (1968).

環境条件は、人工気象室を使用し、寒冷環境として気温6℃（相対湿度50%）、常温環境として気温26℃（相対湿度50%）の2条件を設定した。

被験者はランニングシャツ、ショートパンツそして運動靴を着用し、各環境条件に暴露後40—41分間、自転車エルゴメータのサドルに座って安静を保ち、その後8—9分間の自転車エルゴメータ作業を行った。そ

の作業負荷は、ペダル回転数毎分50回転での300、600、900kg m/minの3種類であった。

これらの安静と作業の最後の3—4分間に、ダグラスバッグ法によって酸素摂取量を、胸部誘導心電図によって心拍数を、そしてCO₂再呼吸法（Godart-Stat-ham社製、Capnograph使用）によって心拍出量を測定した。

また、心拍出量と心拍数の測定値から一回拍出量を、酸素摂取量と心拍出量の測定値から動静脈血酸素較差を算出した。

結果と考察

6℃と26℃の環境条件における安静と300、600及び900kg m/minの作業での酸素摂取量、心拍出量、動静脈血酸素較差、心拍数、一回拍出量の5名の被験者の平均値と標準偏差を表2に示した。なお、両温度条件での平均値間の差の検定には、対応のあるt検定の手法を用いた。

この表に見られるように、6℃での酸素摂取量は26℃での値と比較して、安静と300及び600kg m/minの作業において有意に高かった（ $p < 0.05$ ）。しかしながら、900kg m/minの作業では、両温度間に差異は認められなかった。

心拍出量は、6℃では26℃での値と比較して、安静時に有意に増加した（ $p < 0.01$ ）。また、300及び600kg m/minの作業時の心拍出量についても、26℃の値と比較すると、6℃では1.0 l/min以上の増加が見られた

Table 2. Oxygen uptake and circulatory responses at 26°C and 6°C

		Rest	300 kgm/min	600 kgm/min	900 kgm/min
$\dot{V}O_2$ (l/min)	26°C	0.257 ± 0.035	0.897 ± 0.069	1.431 ± 0.040	2.160 ± 0.101
	6°C	0.413 ± 0.120**	1.129 ± 0.148*	1.702 ± 0.135**	2.099 ± 0.105
$\dot{Q}$ (l/min)	26°C	3.756 ± 0.515	9.239 ± 1.383	13.167 ± 0.603	16.937 ± 1.446
	6°C	6.109 ± 1.835**	10.686 ± 1.888	14.347 ± 1.917	16.902 ± 1.374
a-vO ₂ diff. (ml/l)	26°C	68.81 ± 7.36	98.63 ± 14.88	108.94 ± 7.70	128.35 ± 12.89
	6°C	68.35 ± 6.58	106.72 ± 11.94	119.28 ± 6.31	124.71 ± 10.10
HR (beats/min)	26°C	72.3 ± 12.8	97.8 ± 8.5	121.4 ± 12.2	155.6 ± 13.3
	6°C	63.9 ± 10.0**	88.8 ± 14.1	112.6 ± 14.4*	149.8 ± 16.3
SV (ml/beat)	26°C	53.27 ± 11.02	94.78 ± 15.38	109.49 ± 13.95	109.30 ± 11.08
	6°C	95.31 ± 22.08**	121.23 ± 17.93**	128.36 ± 17.32	113.53 ± 11.29

Values are means ± SD. *Significance in difference between 26°C and 6°C: $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

$\dot{V}O_2$ = oxygen uptake, $\dot{Q}$ = cardiac output, a-vO₂ diff. = arterio-venous oxygen difference

HR = heart rate, SV = stroke volume

が、900kg m/minの作業では両温度間に差異は見られなかった。

動静脈血酸素較差には、安静と全ての作業強度において両温度間に顕著な差異は観察されなかった。

6℃での心拍数には、26℃での値と比較して、安静と全ての作業強度において6～9拍/分程度の減少が見られたが、それらの減少は安静と600kgm/minの作業において統計的に有意であった ($p < 0.05$)。

一回拍出量は、6℃では26℃での値と比較して、安静と300kgm/minの作業において有意に増加した ($p < 0.01$)。また、600kgm/minの作業時の一回拍出量も、26℃での値と比較すると18ml/拍程度の増加が見られたが、900kgm/minの作業では両温度間に差異は認められなかった。

図1は、安静と各作業強度における代謝と循環機能の各変数の6℃の値から26℃の値を減じ、その差の大きさをそれぞれの変数の26℃安静値とする相対値で表わしたもので($(6℃での値 - 26℃での値) / 26℃安静値$)、それらの数値の5名の被験者の平均値をプロットしたものである。

Fig. 1. Relative differences in metabolic and cardiovascular responses between 6°C and 26°C. Each value of difference is expressed in ratio to the value of rest at 26°C.

この図に見られるように、酸素摂取量に見られた両温度間での差異は、安静と300及び600kgm/minの作業では比較的大きな値を示しているが、900kgm/minの作業ではその差異は減少し、わずかな負の値を示しているにすぎない。また、心拍出量と一回拍出量に見られた差異は、安静時で最も大きく、作業時には作業強度の増加に伴って縮小してゆく傾向を示した。また、心拍数と動静脈血酸素較差に見られた差異は比較的小さく、かつ、顕著な変化を示さなかった。

以上の結果より、安静と300及び600kgm/minの作業において見られた6℃での酸素摂取量の増加には、動静脈血酸素較差よりも心拍出量が、また、心拍数よりも一回拍出量がより大きな役割を果たしていると考えられる。この結果は、Ravenら(1970, 1975)によって得られた結果と本質的によく一致している。

また、安静と300, 600kgm/minの作業で見られた6℃での代謝と循環機能の変化は、900kgm/minの作業ではほとんど見られなかった。このことから、作業時の人間の代謝や循環機能に及ぼす寒冷の影響は、作業の強度によって異なるということが考えられる。そして、このような傾向は、寒冷環境下での作業の強度と代謝の関係を観察したAndersenら(1963)やStrommeら(1963)、また、寒冷水中での作業時の代謝と循環機能の変化を観察したMcArdleら(1976)の結果とよく一致している。

図2は6℃と26℃の環境条件での安静や各作業強度において得られた心拍出量、動静脈血酸素較差、心拍数、一回拍出量の値を酸素摂取量に対してプロットしたもので、各変数の値はそれぞれの変数の26℃安静値を1とする相対値で表わされている。

この図に見られるように、酸素摂取量に対してプロットした場合には、心拍出量と動静脈血酸素較差には、観察された酸素摂取量の全範囲に渡って、両温度間に差異は認められなかった。

しかしながら、心拍数には、酸素摂取量の2.0 l/min以下の範囲において、6℃で減少する傾向が見られ、この減少の大きさは15—20拍/分程度の比較的大きなものであった。また、一回拍出量には、2.0 l/min以下の酸素摂取量の範囲において、6℃で増加する傾向が見られ、この増加の大きさは20—30ml/拍程度の大きなものであった。寒冷環境下での心拍数や一回拍出量に見られたこのような変化は、McArdleら(1976)

Fig. 2. Relative changes in cardiovascular responses as a function of oxygen uptake. Each value on the ordinate is expressed in ratio to the value of rest at 26°C.

の研究においても顕著に観察されている。

以上の結果より、同一の酸素摂取量の値に対しては、心拍出量や動静脈血酸素較差には両温度間に差異はほとんど見られず、寒冷による影響は、酸素摂取量の安静値から中程度の値までの範囲で顕著に見られた心拍数の減少と一回拍出量の増加であると考察された。

結論として、寒冷環境への暴露において、代謝や循環系の諸変数に見られた変化は、安静や比較的軽い作

業において顕著であり、比較的激しい作業においては小さいということが考察された。

文 献

- Adams, T. and E. J. Heberling, 1958: Human physiological responses to a standardized cold stress as modified by physical fitness. *J. Appl. Physiol.*, 13(2): 226-230.
- Andersen, K. L., J. S. Hart, H. T. Hammel and H. B. Sabern, 1963: Metabolic and thermal response of Eskimos during muscular exertion in the cold. *J. Appl. Physiol.*, 18(3): 613-618.
- Åstrand, P.-O. and K. Rodahl, 1970: Textbook of work physiology. McGraw-Hill, New York.
- 藤本薫喜・他, 1968: 日本人の体表面積に関する研究 第18編三期にまとめた算出式. *日衛誌*, 23: 7-14.
- Keatinge, W. R., M. B. McIlroy, and A. Goldfien, 1964: Cardiovascular responses to ice-cold showers. *J. Appl. Physiol.*, 19(6): 1145-1150.
- McArdle, W. D., J. R. Magel, G. R. Lesmes and G. S. Pechar, 1976: Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33°C. *J. Appl. Physiol.*, 40(1): 85-90.
- Raven, P. B., I. Niki, T. E. Dahms and S. M. Horvath, 1970: Compensatory cardiovascular responses during an environmental cold stress, 5°C. *J. Appl. Physiol.*, 29(4): 417-421.
- Raven, P. B., J. E. Wilkerson, S. M. Horvath and N. W. Bolduan, 1975: Thermal, metabolic, and cardiovascular responses to various degrees of cold stress. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 53: 293-298.
- Strømme, S., K. L. Andersen and R. W. Elsner, 1963: Metabolic and thermal responses to muscular exertion in the cold. *J. Appl. Physiol.*, 18(3): 756-763.

(1982年11月17日受付)