

冬季における運動実施時の安全確保 に関する基礎的研究

神戸大学	井上芳光
(共同研究者) 同	村上宏
大阪経済大学	中尾美喜夫
兵庫教育大学	松下健二
同	荒木勉

Experimental Studies on the Safety in Winter Sports

by

Yoshimitsu Inoue, Hiroshi Murakami

Kobe University

Mikio Nakao

Osaka University of Economics

Kenji Matsushita, Tsutomu Araki

Hyogo University of Teacher Education

ABSTRACT

In an attempt to obtain the fundamental data for the safety in exercise under cold environment, the present study was performed to examine the effect of abrupt change of ambient temperature (T_a) on respiratory-cardiovascular and thermoregulatory responses during exercise. Each of six healthy adult males pedalled a bicycle ergometer for 60 minutes at light and heavy load (approximately 40 and 60% $\dot{V}O_2$ max) in given 5, 10 and 25°C T_a , respectively, after 80-minutes resting in sitting posture under 25°C T_a . Heart rates, systolic blood pressure (SBP), ECG parameters, O_2 consumption, rectal (T_{re}) and mean skin temperatures were measured. At the beginning of exercise, SBP and O_2 consumption were increased

more markedly in 5°C (especially at light load) and 10°C T_a than those in 25°C T_a . The exercise in 5°C and 10°C T_a resulted in lower heart rates than those observed in 25°C T_a . ECG parameters and T_{re} were almost independent of T_a in every experiment. These results suggested that a remarkable initial rise of SBP might be a risk factor against the safety in winter sports.

緒 言

近年、健康の保持増進のために運動やスポーツを日常生活にとり入れる人が多くなってきた。このような状況は好ましいことであり、今後、さらに促進されることが望まれる。それには、運動のもたらす効果のみでなく、安全の確保についても検討されなければならない。とくに、四季の明確な我国では寒期や暑期中でも運動が実施されるから、これらの季節における運動時の安全確保は重要な研究課題であろう。

これまで、高温環境下における運動（労作）の安全性に関しては、熱中症を予防する観点から、産業医学・体力医学の領域で数多くの報告¹⁻³⁾がなされている。反面、寒冷環境に関する研究には耐寒性の向上の方途を探る報告が多く^{4,5)}、実際の運動（労作）時の安全確保を企図した研究報告⁶⁾は少ない。

本研究は、寒冷環境下の運動を安全に実施するための基礎的資料を得ることを目的とした。たとえば、冬季に暖房された室内から屋外に出た直後に運動する場合のように、急激な環境温度の変化（とくにそれが低温側への変化の場合）が運動時の呼吸循環や体温調節反応に及ぼす影響について検討した。

方 法

被験者：

被験者は6～10年間にわたり、競技スポーツを

継続している19～22歳の健康な男子大学生6名であり、その身体的特性を表1に示した。

表1 被験者の身体的特性

subj.	age	Ht. (cm)	Wt. (kg)	$\dot{V}O_2 \max$ ml/kg/min
I. S.	22	167	64.7	53.9
A. O.	22	172	70.4	43.0
Y. M.	22	172	65.7	49.0
T. K.	21	165	65.6	50.3
O. Z.	20	177	68.7	51.9
N. B.	19	172	69.0	47.3

環境条件ならびに運動強度：

被験者（スイミングパンツのみ着用）は、環境温度 25°C の前室で椅座安静状態を80分間保持した。次に、各被験者は環境温度を 5, 10, 25°C（いずれも湿度60%）に設定した人工気象室にそれぞれ日を変えて入り、ただちに自転車エルゴメータによる脚運動を60分間実施したのち、20分間同室内で椅座安静を保った。運動強度は各被験者の $\dot{V}O_2 \max$ の41%（39～46%、490±13.5kpm/min）と62%（58～68%、723±43.4kpm/min）の2種類であり、両運動時のペダル回転速度はいずれも55rpmとした。なお、上記の運動負荷に対する対照として、前述の各温湿度条件下での椅座安静状態の場合についても下記の項目について測定した。

測定項目：

直腸温ならびに9カ所の皮膚温（前額、胸、

腹，背，前腕，手背，大腿，下腿，足背) を，前室での安静時40分目から実験終了時まで1分ごとにサーミスター温度計で測定し，按分比率⁷⁾によって平均皮膚温を算出した。

人工気象室入室5分前から実験終了時にわたって，小型携帯用心電計（フクダ電子，CC₃誘導）を用いて心電図のST変化，またオートカーディナ FCP-200（フクダ電子，標準12誘導）を用いて心電図のPQ，QT，QTc時間および心拍数をそれぞれ自動解析装置により求めた。なお，ST変化は，R波より60msec前の時点を見線として，R波より100msec後の時点で解析した。

また，収縮期血圧を前室では60分目から10分ごとに，人工気象室では入室直後10分間は1分ごとに，その後の10分間は2.5分ごとに，それ以降は5分ごとにバロッチ型血圧計を用いて測定した。

酸素摂取量の測定には，前室においては55分お

よび75分目に各5分間，人工気象室への入室5分後から10分ごとに，運動負荷時の場合には3分間，椅座安静状態の場合には5分間の呼気をそれぞれダグラスバッグに採取し，呼気中のO₂およびCO₂濃度を労研式大型呼気ガス分析器により分析した。

なお，すべての実験を7月上旬から8月下旬までの夏季に実施した。

結果および考察

図1~5には，被験者6名について測定した結果の平均値を示した。

図1は心拍数の経時的变化である。

安静時の場合，5°Cに暴露した初期の心拍数は寒さによる震えのため，25°C下のそれに比して高かったが，10°C下では逆に低い傾向を示した。60分間の平均心拍数およびS.D. (拍/分)は，

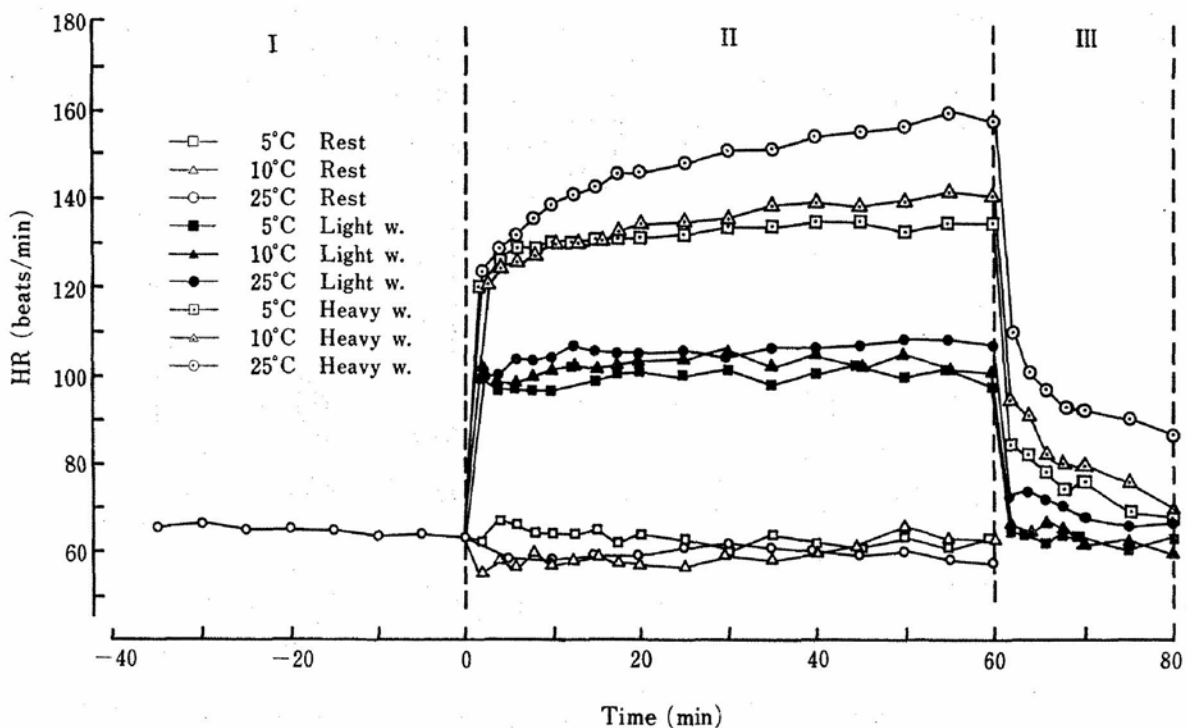


図1 心拍数の経時的变化

- I : 25°C 条件下での初期安静
- II : 各種温度条件下での安静，軽運動，重運動
- III : 運動後の回復過程

5, 10, 25°C 下でそれぞれ 63 ± 8.3 , 60 ± 6.9 , 60 ± 5.7 となり, 5°C では 25°C の場合に比し有意に高かった ($p < 0.025$).

一方, 運動時には, 心拍数は運動開始直後から上昇するが, その上昇度は環境温度の高さに応じて顕著であった. その結果, $\dot{V}O_2 \max$ の 40% 程度の運動負荷時 (以下, 軽運動と称する) では, 60分間の平均心拍数および S.D. (拍/分) は 5, 10, 25°C 下でそれぞれ 100 ± 3.9 , 103 ± 5.6 , 106 ± 5.3 であり, また 60% 程度の運動時 (以下, 重運動と称する) では 5, 10, 25°C 下でそれぞれ 133 ± 10.4 , 136 ± 8.0 , 149 ± 11.6 となり, いずれの運動時においても, 寒冷下 (5, 10°C) の心拍数は 25°C 下のそれより有意に低かった ($p < 0.01$).

なお, 今回のすべての実験においては, 安静,

軽運動, 重運動のいずれの場合にも, 心筋の虚血性を示すとされている ST の 1mm 以上の下降および上昇は認められなかった (データ省略).

また, PQ, QT, QTc 時間にも環境温度による影響がほとんど認められなかったため, これらと心拍数との間に有意な相関関係が得られた ($p < 0.01$). すなわち心拍数を x , 上記の時間間隔を y とすれば, PQ では $y = -0.352x + 174.481$ ($r = 0.991$), QT では $y = -1.100x + 460.067$ ($r = 0.979$), QTc では $y = 0.637x + 367.457$ ($r = 0.959$) の関係式が得られた.

以上のように, 心拍数および心電図を指標とすれば, 本実験範囲では, 同一負荷強度の運動の場合には, 環境温度の低い方が運動による生体負担度は小さいと考えられる.

図 2 に収縮期血圧の経時的変化を示した.

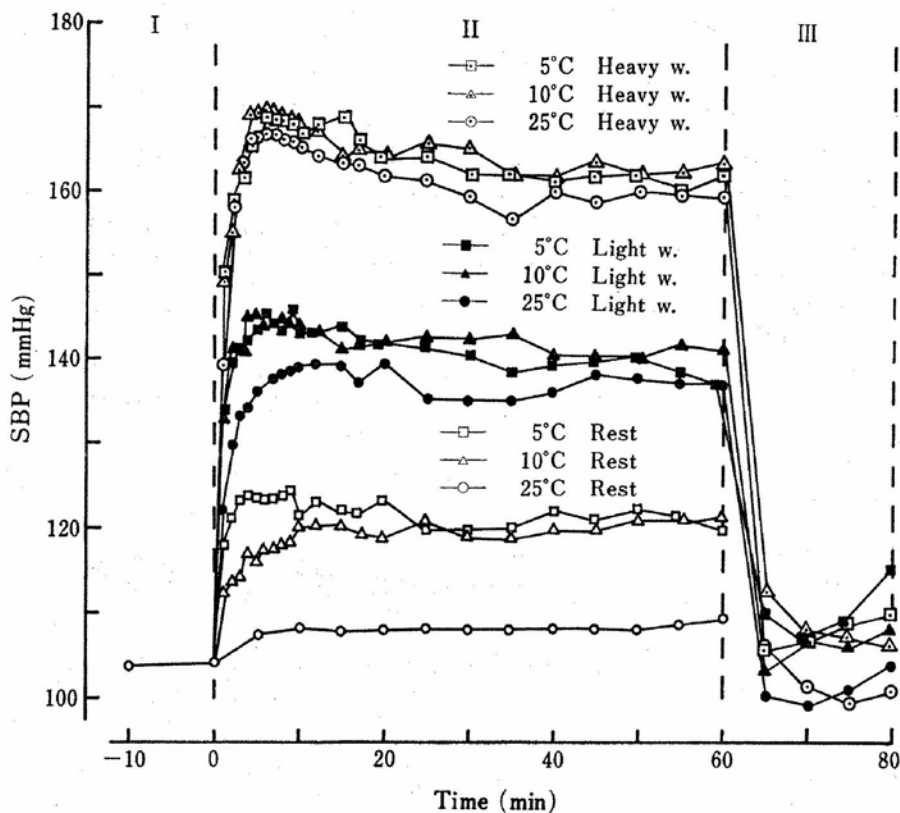


図 2 収縮期血圧の経時的変化 (I, II, IIIは図1と同じ)

安静時の場合、人工気象室入室後収縮期血圧の最高値が現われる時間は、5°C 下で3分目、10°C 下で10分目であり、25°C 下では前室での安静値とほぼ同様であった。また、その後においても、5°C および 10°C 下では 25°C 下の場合より有意に高く ($p < 0.01$)、60分間の平均値および S.D. (mmHg) は、5, 10, 25°C 下でそれぞれ 121 ± 8.8 , 120 ± 11.6 , 108 ± 6.5 であった。

軽運動の場合にも、収縮期血圧の初期上昇および60分間の平均値は、安静時の場合とほぼ同様の傾向を示した。すなわち、収縮期血圧の最高値出現時は、5°C 下で6分目、10°C 下で4分目であり、いずれも 25°C 下の12分目より早期であり、その値も有意に大きいことが認められた ($p < 0.01$)。この傾向は運動中保持され、したがって、

60分間の平均値および S.D. (mmHg) は、5, 10, 25°C 下でそれぞれ 141 ± 9.7 , 142 ± 10.9 , 137 ± 9.5 となり、寒冷下 (5, 10°C) の収縮期血圧は 25°C 下のそれより有意に高かった ($p < 0.01$)。

重運動の初期においても軽運動の場合と同様の傾向が認められ、5°C および 10°C 下の運動開始1分後の収縮期血圧が 25°C 下のそれに比して有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。しかし、軽運動の場合と異なり、60分間の平均値には環境温度の相違による有意差を認めなかった。

図3に酸素摂取量の経時的变化を示した。

安静時の場合、5°C および 10°C 下の酸素摂取量は 25°C 下のそれに比し、初期から終了時まで有意に多く ($p < 0.01$)、60分間の平均値および

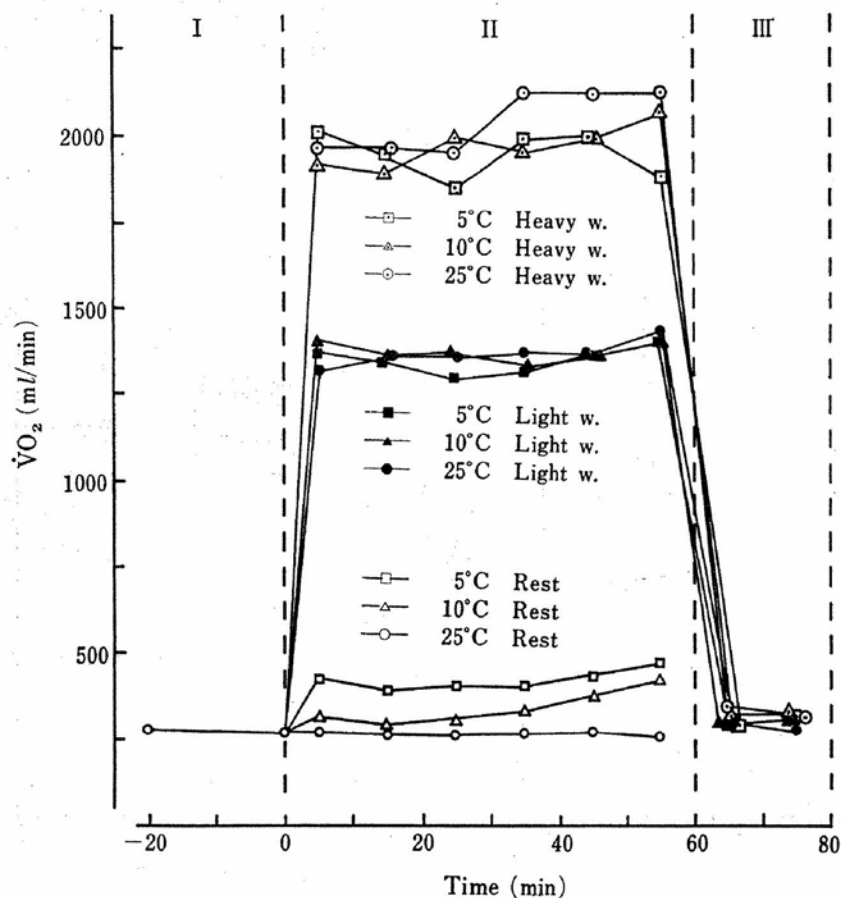


図3 酸素摂取量の経時的变化
(I, II, IIIは図1と同じ)

S.D. (ml/分) は、5°C 下で 417 ± 79.7 , 10°C 下で 336 ± 75.6 であり、これらは 25°C 下の 261 ± 27.0 に比べてそれぞれ 60% (5°C), 29% (10°C) の増加であった ($p < 0.01$)。

軽運動の場合、5°C および 10°C 下における運動開始 5 分後の酸素摂取量は、有意ではないものの、25°C 下に比して多い傾向であった。しかし、その後においては 5°C および 10°C の場合に一時的低下傾向がみられることもあって顕著ではないが、60 分間の平均値 (ml/分) は環境温度に応じて大きくなる様相を呈した。すなわち、5, 10, 25°C 下でそれぞれ 1354 ± 80.3 , 1369 ± 92.3 , 1386 ± 125.8 であった。

重運動の場合でも、5°C 下においてのみ運動初期における酸素摂取量の増加は軽運動時の初期と同様に、25°C 下の値より大きい傾向を示した。60 分間の平均値 (ml/分) は、軽運動の場合と同様に、環境温度の低下とともに低くなる傾向を示した。すなわち、5, 10, 25°C 下でそれぞ

れ 1946 ± 178.3 , 1968 ± 143.6 , 2039 ± 178.3 であり、5°C と 25°C 間の差は有意であった ($p < 0.05$)。

図 4 に直腸温の変動度の経時的变化を示した。

安静時、軽運動時、重運動時のいずれの場合にも、直腸温の変動度には環境温度の違いによる有意差は認められなかった。しかし、重運動終了時においては、25°C 下での値が寒冷下でのそれよりやや高い傾向であった。また、5°C 下での安静時の直腸温は、他の環境温度下での漸次下降傾向に対し、35 分目頃まで定常状態であった。これには著しい産熱量の亢進も (図 3) 関与していると推定される。

図 5 に平均皮膚温の経時的变化を示した。

安静時、軽運動時、重運動時いずれの場合でも、平均皮膚温の上昇あるいは低下は環境温度のレベルに相呼応した。ところで、5°C および 10°C 下の初期低下を比較すれば、安静や運動強度に関係なく、5°C 下で顕著である。また、この

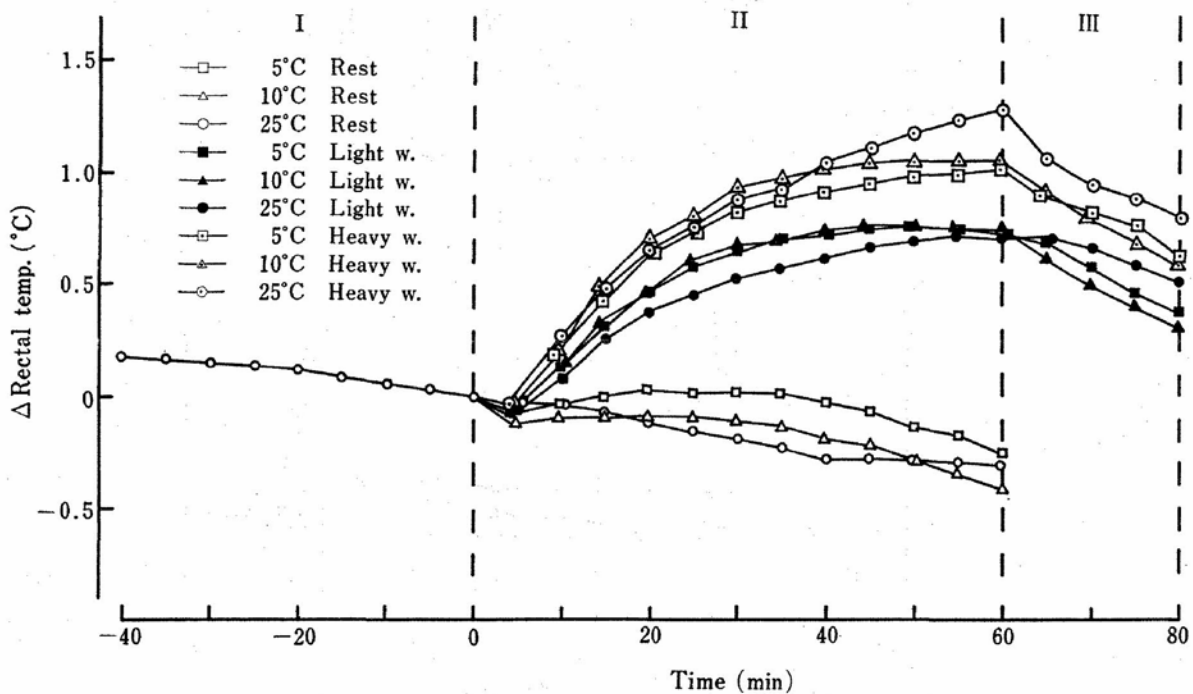


図 4 直腸温の変動度の経時的变化
(I, II, IIIは図1と同じ)

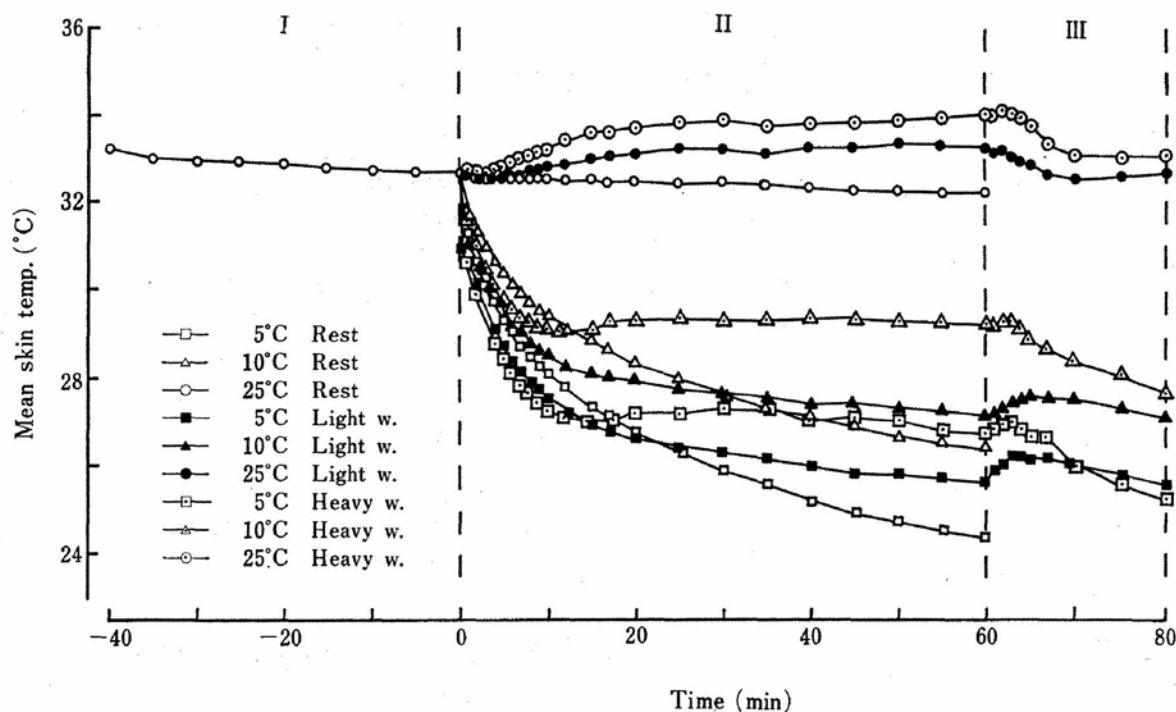


図5 平均皮膚温の経時的变化
(I, II, IIIは図1と同じ)

初期低下について安静時と運動時を比較すると、運動時において一般に顕著であり、とくに 5°C の場合には、軽運動時より重運動時の初期低下が大きい傾向であった。

また、寒冷下の回復期における平均皮膚温の下降は、軽運動終了後より重運動終了後の方が有意に大きかった ($p < 0.01$)。これは、重運動時の全身からの総汗量が軽運動時のそれよりも有意に多かったこと (データ省略) と関係していると推定される。

以上、寒冷環境下の運動を安全に実施するための基礎的資料を得ることを目的とした本研究では、急激な寒冷暴露が運動によるストレスを増強するか、あるいは運動による過剰な体熱の産生が寒冷のため有利に放熱されることによって運動自体によるストレスを軽減するかについて、呼吸循環および体温調節反応にかかわる数種の項目を指標として検討した。

その結果、いずれの環境温度においても、運動

中期以降では各測定値に正常範囲内で定常状態が認められたため、とくに運動初期に主眼を置いて以下若干の考察を試みたい。

急激に環境温度を変化させれば、一般的傾向として、運動初期に収縮期血圧および酸素摂取量が大きくなることが認められ、とくにその傾向は温度の変化幅が大きく、また軽運動の場合において顕著であった。

環境温度の急激な低下によって現われる収縮期血圧の上昇は、運動による末梢抵抗値の低下が低温によって妨げられたことと、心拍出量の増加によるものと推定される。また、今回の被験者のうち、常温下の安静時収縮期血圧の最も高い者 (120mmHg) や寒冷下での安静時代謝量の増加率の最も大きい者、すなわち耐寒性の劣者においては、収縮期血圧の初期上昇がとくに顕著であった。これらの結果は、収縮期血圧の初期上昇が環境温度の急激な変化によって著しくなることが、安全性からみて決して有利な生体反応でない

ことを示唆しており、この収縮期血圧の初期上昇は、冬季の運動実施時の安全性を考える際に一つの指標となり得ると推定できる。そのため、運動の習慣化を開始するにあたっては、室内と屋外の温度較差の小さい時期を選ぶのが適当であろう。また、運動鍛練の継続が耐寒性を増進させること⁵⁾を考えれば、冬季に先立って、温度較差の小さい季節に習慣化を開始するのが妥当と考えられる。

運動を負荷すれば、高血圧者は正常者に比して血圧上昇度が大きいこと⁸⁾、さらに、高齢者の耐寒性が若年者より劣ること⁹⁾、また、体力レベルの劣る者は耐寒性が低いこと⁵⁾、などを考え合わせると、高血圧者、高齢者、さらに体力レベルの低い者ほど、前述の運動初期の特徴的反応がより顕著に出現することが推察される。換言すれば、これらに該当する者ほど、安全性に留意する必要性があると言える。

また、本実験のように、低温側への温度変化が大きい場合には、運動初期における収縮期血圧の上昇が著しいのに対し、心拍数は必ずしもそうではなく、逆に低い傾向さえみられる。したがって、環境温度が大きく変化するような条件下で、心拍数を指標にして運動を処方する際には、安全性からみて、常温で、しかも一定の温度下の場合より心拍数を減少させて指標とすべきであろう。

なお、今回の実験だけでは、前述の運動初期の特徴的反応が温度の変化幅自体の影響か、あるいは設定の温度レベル自体の影響か、について必ずしも厳密に指摘することはできない。したがって、これらの点、また今回は被験者を若年者に限ったため、中高年者についても今後検討する必要性があると考えられる。

要 約

本研究では、急激な環境温度の変化（とくに低

温側の場合）が運動時の生体反応に及ぼす影響を把握することにより、冬季の運動実施時の安全確保のための基礎的資料を得ることを目的とした。すなわち、6名の被験者を25°C下で椅座安静状態を80分間保持させ、その後5, 10, 25°Cの各温度条件下で自転車エルゴメータを用いた $\dot{V}O_2$ maxの40%および60%程度の2種の運動並びに椅座安静をそれぞれ60分間実施させ、その間心電図、心拍数、酸素摂取量、収縮期血圧、直腸温、平均皮膚温を測定した。得られた結果の要約は次のとおりである。

1) 温度が低温側に変化した場合には、一般的傾向として、収縮期血圧および酸素摂取量の上昇が運動初期に著しくなることが認められ、とくにその傾向は温度較差が大きく、また軽運動の場合において顕著であった。

2) 温度が低温側に変化した場合、心拍数は5°C下での安静時を除き、安静時、運動時いずれの場合にも25°C下の場合より少ないことが認められた。

3) 安静時、運動時のいずれの場合にも、心電図記録から求めたSTの変化、PQ、QT、QTc時間には環境温度による影響はほとんど認められず、PQ、QT、QTc時間と心拍数との間には有意な相関関係が認められた。

4) 安静時、運動時のいずれの場合にも、直腸温の変動度には環境温度の影響はほとんど認められなかった。また、平均皮膚温の上昇あるいは低下は環境温度のレベルに相呼応した。

5) 冬季における運動実施時の安全性を考える際には、収縮期血圧の初期上昇が一つの指標となり得ると推定できる。

文 献

- 1) 齊藤一、三浦豊彦編；日本の高温労働、労働科学研究所出版部（1963）
- 2) Murakami, H.; Seasonal changes of a man's response to prolonged walks; to Rokko Mountains

- Traverse. *J. Sports Med.*, **22** : 237—244 (1982)
- 3) K.V. Kuhlemeier and J.M. Miller; Pulse rate-rectal temperature relationships during prolonged work. *J. Appl. Physiol.*, **44** : 450—454 (1978)
 - 4) 戸田嘉秋; 減食の人体体温調節機能に及ぼす影響 第1報減食時の寒気感受性に就て, 国民衛生, **23** : 34—58 (1954)
 - 5) Araki, T., Toda, Y., Inoue, Y. and Tsujino, A.; The effect of physical training on cold tolerance. *J. Physical Fitness Japan*, **27** : 149—156 (1978)
 - 6) 相浦辰緒; 低温下労働に関する実験的研究, 北海道医学雑誌, **42** : 65—74 (1967)
 - 7) 文部省科研, 季節生理班, 日本人皮膚温分布の季節変動, 日新医学, **39** : 121—136 (1952)
 - 8) 宇高功, 宮田由美, 松本越生; シルバーヘルスプランを推し進めていく上での問題点について——特に高血圧者の運動処方について——, 西日本臨床スポーツ医学研究会誌 **2** : 58—61 (1981)
 - 9) J.A. Wagner, S. Robinson and R.P. Marino.; Age and temperature regulation of humans in neutral and cold environments. *J. Appl. Physiol.*, **37** : 562—565 (1974)