

## 環境温度と運動負荷試験時の心拍数, 血圧, 皮膚血流

鳥取大学医学部公衆衛生学教室 (主任 能勢隆之教授)

黒沢洋一・大城 等・岩井伸夫・

飯塚舜介・能勢隆之\*

### Heart rate, blood pressure and forearm skin blood flow during exercise test in different ambient temperatures

Youichi KUROZAWA, Hitoshi OHSHIRO, Nobuo IWAI,  
Shunsuke MESHITSUKA and Takayuki NOSE

*Department of Public Health, Tottori University School  
of Medicine, Yonago 683, Japan\**

#### ABSTRACT

Twelve healthy men performed graded leg exercise (25W-125W) at different ambient temperatures of 16, 21, 26 and 31°C. Heart rate (HR), blood pressure (BP) and forearm skin blood flow (FSBF) were measured during exercise. The increases in HR and FSBF during exercise at 31°C were greater than those at lower temperatures. There were no significant differences in HR and FSBF during exercise between at 21 and 16°C. Systolic blood pressure during exercise at 16°C was higher than that at 31°C.

Six subjects with exercise habits were compared with 6 subjects without exercise habits with regard to HR, BP and FSBF during exercise at each ambient temperature. HR during exercise in the subjects with exercise habits was lower than that in the subjects without exercise habits. There were no significant differences in BP and FSBF between the two groups.

(Accepted on March 5, 1991)

今日運動医学に関する関心が高まり、運動負荷試験は体力や循環器疾患の評価などに重要な位置を占めている。しかし、適切で安全な運動負荷試験のためには主体的因子や環境因子等さまざまな条件を考慮して行なう必要がある。環境温度は運動時の循環動態に大きな影響をあたえられらる。Nielsen ら<sup>6)</sup>は 5~30°C の環境温度では、直腸温の上昇は運動強度によって決まり、環境温度

の影響を受けないと報告している。Dill ら<sup>4)</sup>は室温が一定温度 (20°C 付近) までは、運動中の心拍数は環境温度の影響をうけず、環境温度がそれより高い場合には環境温度の上昇に応じて心拍数が増加すると報告している。以上のような報告があるが、さまざまな環境温度下での運動中の心拍数、血圧、皮膚血流を同時に測定した報告はその測定方法の困難さもあって少ない。

今回我々は, 4段階の環境温度を設定し, 自転車エルゴメーターで graded leg exercise を行ったときの心拍数, 血圧, 皮膚血流の変化を比較したので報告する. また, 運動習慣のある人となない人で運動時の心拍数, 血圧, 皮膚血流の差を調べたので報告する.

対象と方法

医学部の男子学生12名を対象とした. 平均年齢は24.2歳であった. 着用衣服は半袖丸首Tシャツとした. 運動習慣ありとは, 週3日以上1回1時間以上の運動を行なっている人とした. 運動習慣のある対象者は6名であり, 平均年齢23.0歳であった. 運動習慣のない対象者は6名で, 平均年齢は25.3歳であった.

モナーク社製自転車エルゴメーターを用いて, 立位で多段階漸増式の運動負荷を行った. 1分間のウォーミング後5分間休憩し, 50Wより運動をはじめ, 25Wずつ増加していき, 125Wまで運動強度を増加した. 1段階の運動時間は3分間とした. ペダルの回転数は50rpm とした.

測定項目は心拍数, 上腕収縮期および拡張期血圧, 前腕皮膚血流とした. 心拍数, 上腕血圧は運動負荷用血圧監視装置 (CM-4001) をもちいて3分毎に測定した. 前腕皮膚血流は laser-Doppler

flowmetry (Advance) をもちいて, 肘下方3cmの位置で測定した.

温度の設定は, 運動負荷試験の検査室の温度条件として18℃~22℃が良い<sup>1)</sup>とされているので, 21℃を最適温度として, 中性温度として26℃を, 低温条件として16℃, 高温条件として31℃を選んだ. 4月~5月に16℃または21℃, 5月~6月に26℃または31℃で実験した. 相対湿度はいずれも50%とした. 設定温度になれるため, 人工気候室に入室して1時間安静にした後, 上記のように実験を行なった.

環境温度による差を心拍数, 上腕収縮期血圧, 拡張期血圧, 前腕皮膚血流について比較した. また, 運動習慣のある人となない人で運動時の心拍数, 血圧, 前腕皮膚血流量について比較した. 尚, この実験は, 短時間の運動であるので発汗の影響は無視した.

多重比較の統計的有意差の検定は Kruskal-Wallis の方法で検定し, さらに2群の比較には Tukey の方法を用いた. 運動習慣のある人となない人の2群の比較には, Wilcoxon rank sum test を用いた. 有意水準は  $p < 0.05$  とした.

結果

12例のそれぞれの環境温度下での運動中の心拍

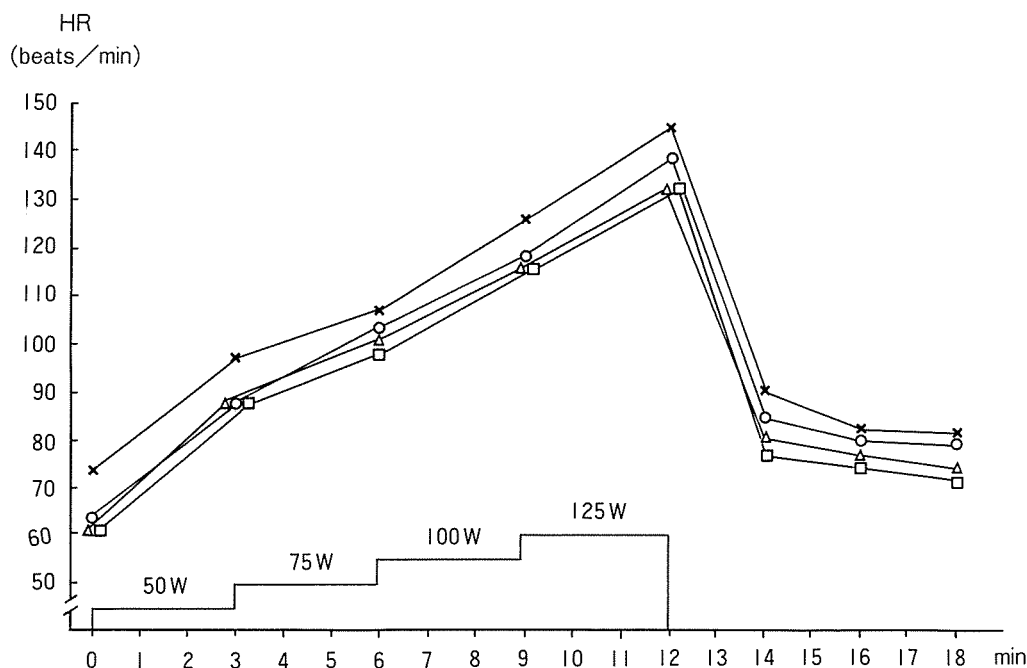


Fig.1 Heart rate (HR) during graded leg exercise in different ambient temperatures (△-16℃ □-21℃ ○-26℃ ×-31℃)

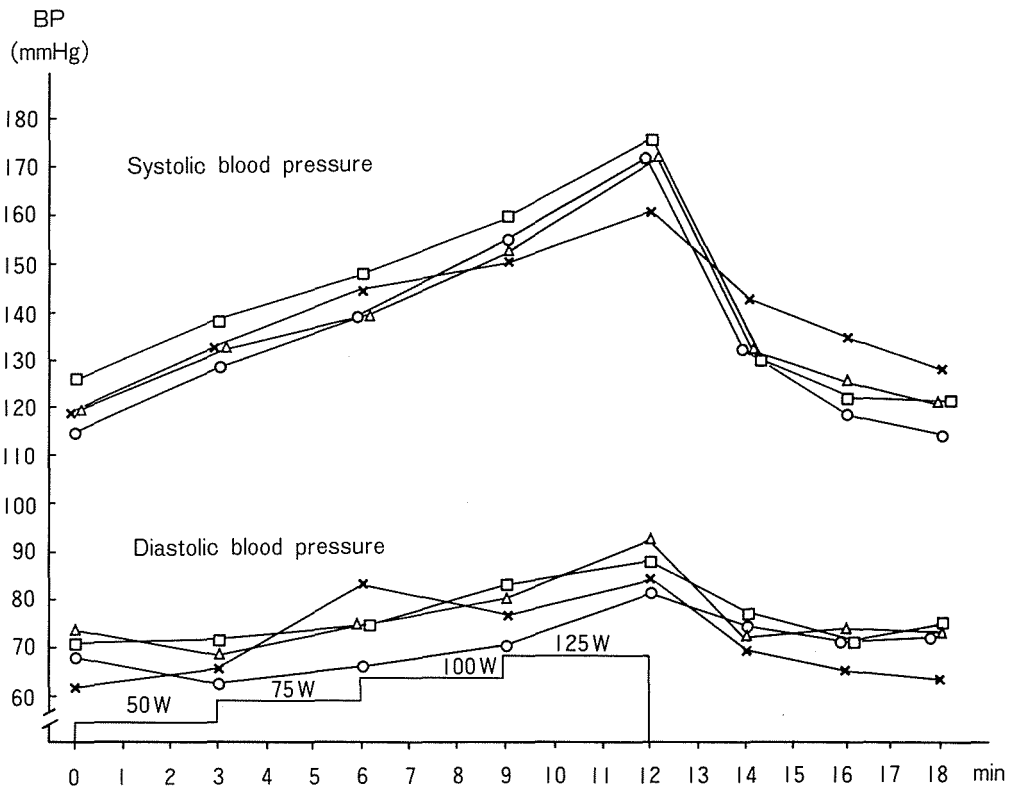


Fig.2 Blood pressure (BP) during graded leg exercise in different ambient temperatures (△-16°C □-21°C ○-26°C ×-31°C)

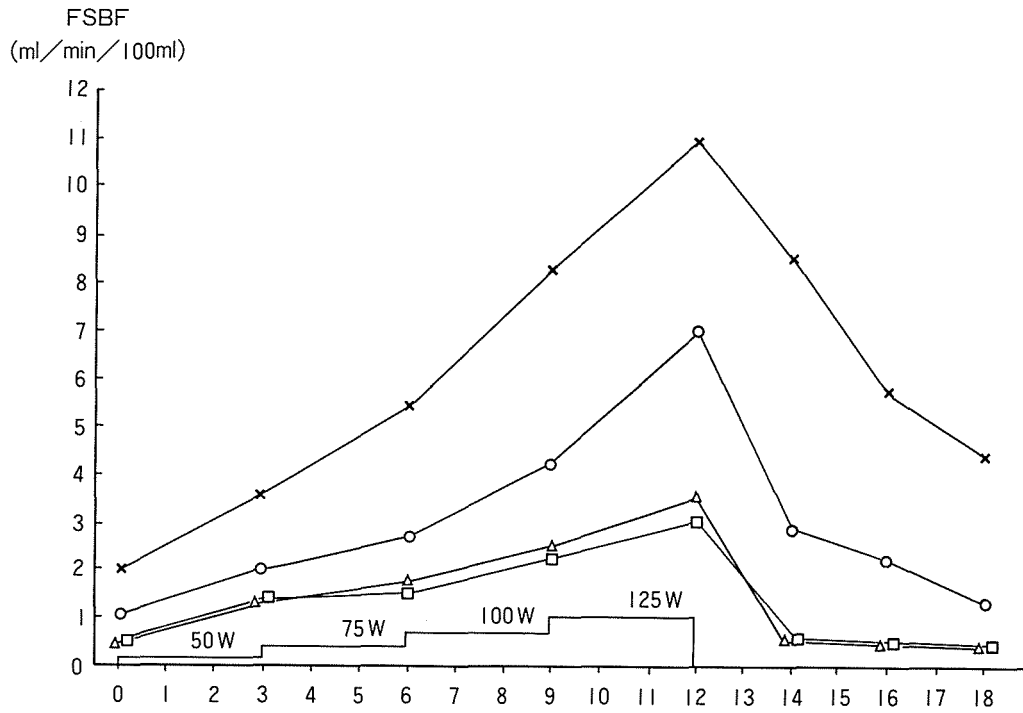


Fig.3 Forearm skin blood flow (FSBF) during graded leg exercise in different ambient temperatures (△-16°C □-21°C ○-26°C ×-31°C)

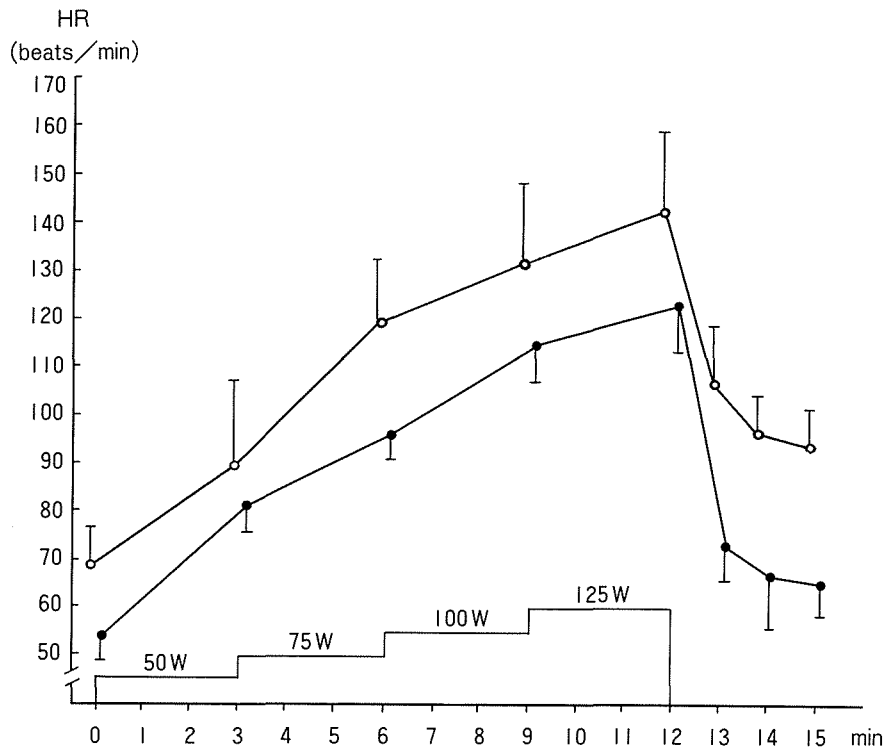


Fig.4 Comparison of heart rate during leg exercise at 21°C between the subjects with (●) and without (○) exercise habits.

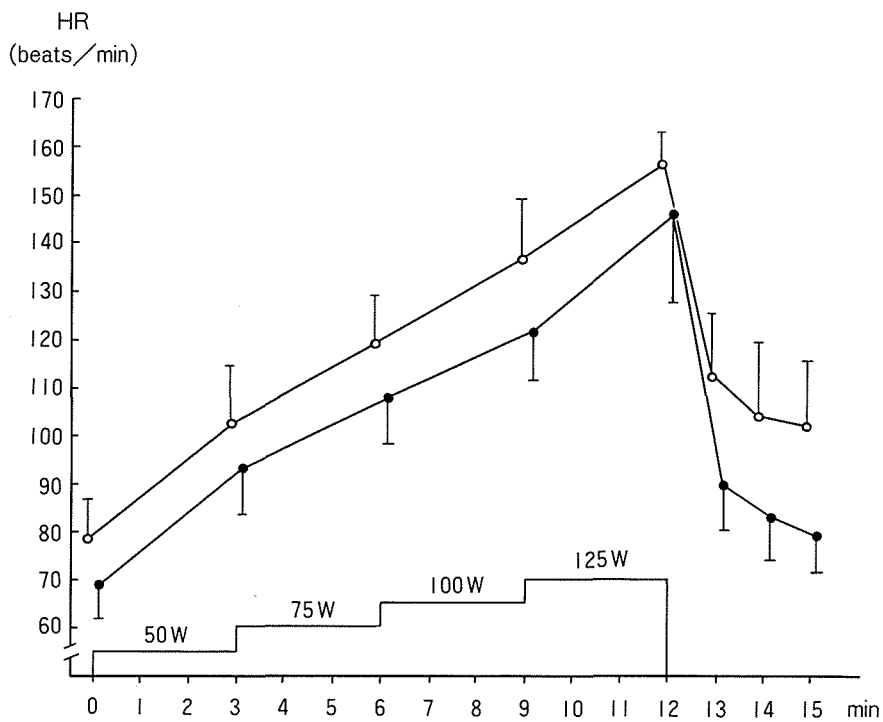


Fig.5 Comparison of heart rate during leg exercise at 31°C between the subjects with (●) and without (○) exercise habits.

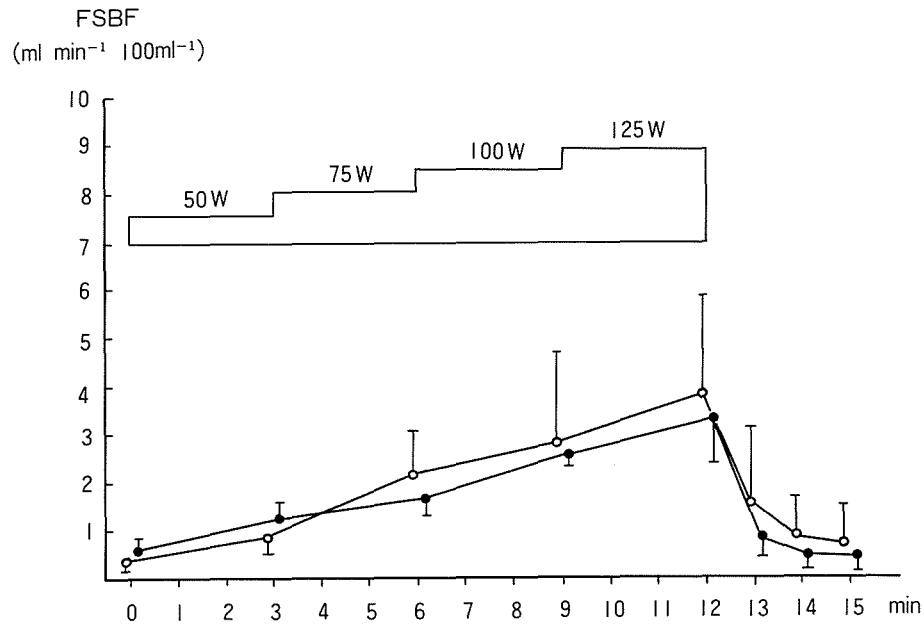


Fig.6 Comparison of forearm skin blood flow during leg exercise at 21°C between the subjects with (●) and without (○) exercise habits.

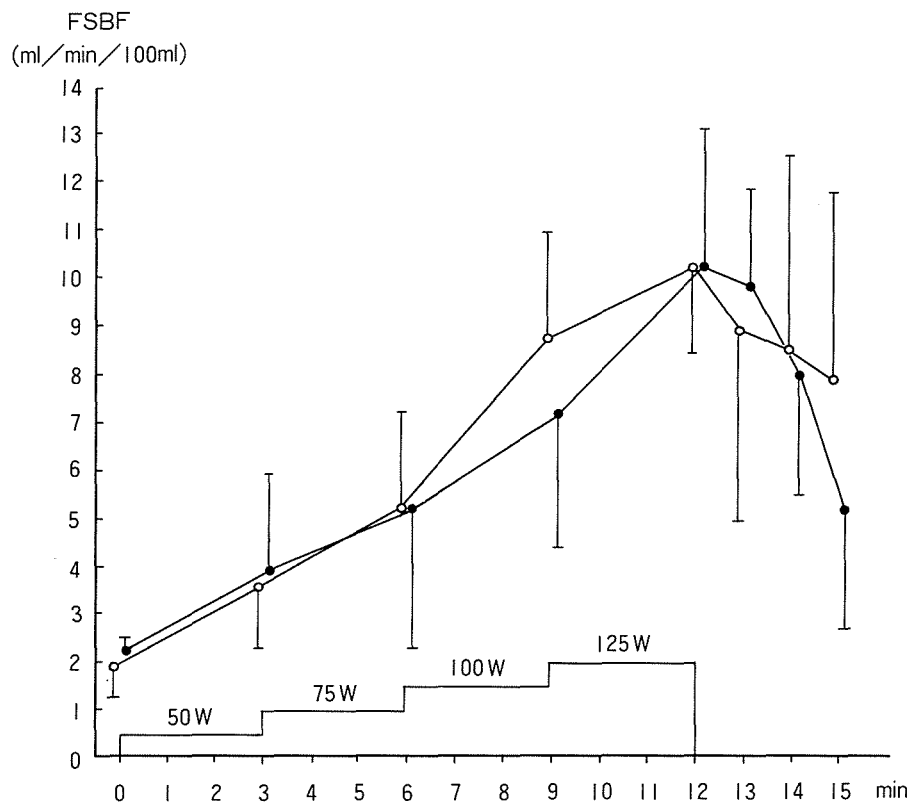


Fig.7 Comparison of forearm skin blood flow during leg exercise at 31°C between the subjects with (●) and without (○) exercise habits.

数の変化を図1に示した。安静時は、31°Cで他の環境温度よりも心拍数が多かった。運動中は、心拍数は運動強度とともに直線的に増加しているが、31°Cで他の環境温度に比較して心拍数は有意に増加していた。16°Cと21°Cでは差がなかった。26°Cでの心拍数は16°Cと21°Cに比較して有意の差ではないが、増加傾向がみられた。運動中止直後は心拍数は急激に減少し、2分後よりゆっくりと減少し安静時の心拍数に近づいてきた。

12例の環境温度での運動中の上腕収縮期血圧と拡張期血圧を図2に示した。運動中、上腕収縮期血圧は運動強度とともに直線的に増加していた。125Wの負荷時に、31°Cと16°Cで差がみられた。安静時より16°Cの環境温度下の収縮期血圧は31°Cに比較して有意に高い傾向がみられた。拡張期血圧は初期にはほとんど増加せず、運動強度が強くなると増加したが、室温による差はなかった。

運動時の前腕皮膚血流を図3に示した。16°C, 21°C, 26°C, 31°Cでの安静時の皮膚血流は、それぞれ $0.6 \pm 0.3$ ,  $0.4 \pm 0.2$ ,  $1.1 \pm 0.5$ ,  $2.0 \pm 0.6$  ml/100ml/minであり、125Wでは、それぞれ、 $3.1 \pm 1.4$ ,  $3.6 \pm 1.4$ ,  $7.1 \pm 3.4$ ,  $11.0 \pm 2.2$  ml/100ml/minにまで増加した。安静時、31°Cの前腕皮膚血流量は他の環境温度下での血流よりも有意に増加していた。26°Cにおいても、21°Cと16°Cの環境温度に比較して皮膚血流が有意に増加した。どの環境温度でも運動中の皮膚血流は運動強度の増大とともに増加するが、どの運動強度でも31°Cの前腕皮膚血流量が最も多く、次に26°Cで増加した。16°Cと21°Cでは運動時の前腕皮膚血流量に差がなかった。

図4, 5に21°Cと31°Cの環境温度における運動時の心拍数を運動習慣のある人とない人で比較して示した。心拍数はどの環境温度でも運動習慣のない人のほうが増加していた。図6, 7に21°Cと31°Cの環境温度における運動時の前腕皮膚血流量を運動習慣のある人とない人で比較して示した。皮膚血流はどの環境温度でも2群間に有意の差がなかった。収縮期と拡張期血圧は、どの環境温度でも2群間に有意の差がなかった。

## 考 察

人の運動中の皮膚血流は、その非観血的測定方法が困難なためあまり行われていない。従来、plethysmography<sup>9)</sup>法や<sup>131</sup>Xe クリアランス法<sup>2)</sup>などが用いられてきたが、前者は皮膚と筋肉の血流

の合計を測定しており、後者は簡便におこなえる方法とは言えない。laser-Doppler flowmetryは筋肉の影響を受けず皮膚血流が測定でき<sup>7)</sup>、運動中の皮膚血流の測定にも使用されはじめた<sup>8)</sup>。運動強度が増すにつれて皮膚血流量は増加した。これは、運動強度が増すにつれて身体の熱産生が高まり、熱放散のため皮膚血流量を増加させるためと考えられている。この機序については、交感神経の緊張の低下、または皮膚血管拡張神経の存在が推測されているが、未だ不明である。最近、Kurozawaら<sup>5)</sup>は、神経ペプチドを枯渇させるcapsaicin処理した皮膚では、運動中の皮膚の血流増加が処理前ほど生じないことを観察し、神経ペプチドとの関連を推測している。

運動中の皮膚血流は31°Cに比較して有意に増加していた。心拍数も31°Cで有意に増加していた。被験者は31°Cの環境温度では他の温度に比較して早期に疲労感を訴える傾向があった。これは31°Cでは他の環境温度に比較して熱放散のための皮膚血流増加に対応して心拍数が増加したためと考えられる。Dill<sup>3)</sup>らは高温下で自転車エルゴメーターを行い、体温や血中乳酸はそれほど増加しなかったけれども心拍が162-180回/分になって、これが制約因子になったと報告している。

一方、16°Cと21°Cでは、運動中の皮膚の血流および心拍数には差がなかった。Dillら<sup>4)</sup>は0~20°C付近までの環境温度では運動時の心拍数は温度の影響を受けないと報告しており、今回の結果と一致している。これは、16°Cと21°Cの環境温度では運動中の前腕血流量に差がなかったことより、熱放散のための皮膚への血流の再分配に差がないためと考えられる。

収縮期血圧は、どの環境温度でも運動強度が増すにしたがって直線的に上昇した。31°Cと16°Cでは収縮期血圧に差がみられた。これは環境温度の違いによる末梢血管抵抗の差のためと考えられる。拡張期血圧は、運動の初期はほとんど上昇しないが、運動強度が増すにしたがって軽度上昇する傾向がみられた。収縮期血圧では環境温度により差がみられたのに対し、拡張期血圧では環境温度に差がみられなかったことについては不明であるが、拡張期血圧の非観血的な測定方法の問題があるのかもしれない。

以上のように16°C, 21°C, 26°C, 31°Cの環境温度でも運動中の心拍数, 上腕血圧, 前腕皮膚血流

に差がみられた。ある温度 (21°C~26°C) 以上になると熱放散のための皮膚血流量が増加し心拍数もより増加する。従来行なわれている運動負荷試験を考えると、基準の18°C~23°Cの範囲では thermal stress の影響が少なく運動時の心拍数は環境温度の影響をほとんどうけないといえる。しかし、これ以上の環境温度では thermal stress の影響を受け、18°C~23°Cでの運動負荷の結果をそのままあてはめることはできないといえる。運動負荷試験においては環境温度の設定・管理は重要であり、その目的に応じて環境温度を設定する必要がある。

運動習慣のある人とない人の比較では、どの環境温度でも心拍数は運動群が少ないが、前腕皮膚血流では2群に有意の差がなかった。体温維持のための皮膚血流増加には運動群と非運動群で差がないが、運動習慣のある人では運動習慣のない人に比較して少ない心拍数でその皮膚血流増加に対応できるといえる。

#### 結 語

健康な12人の男性について環境温度、16°C、21°C、26°C、31°Cでの自転車エルゴメーターによる運動負荷試験中の心拍数、上腕収縮期血圧、拡張期血圧、前腕皮膚血流を比較した。31°Cで、心拍数と前腕皮膚血流は、他の環境温度に比較して有意に増加していた。16°Cと21°Cでは差がなかった。収縮期血圧は、16°Cで有意に上昇していた。6人の運動習慣のある人と6人の運動習慣のない人を比較すると、心拍数は運動習慣のある人のほうが低かったが、前腕皮膚血流では差がなかった。

#### 文 献

1) Andersen, K.L. and Shephard, R.J. (1971).

Fundamentals of exercise testing. WHO.

- 2) Chimoskey, J.A. (1972). Skin blood flow by <sup>131</sup>Xe disappearance validated by venous occlusion plethysmograph. *J Appl Physiol* **32**, 472.
- 3) Dill, D.B. (1942). Effects of physical strain and high altitudes on the heart and circulation. *Am Heart J* **23**, 441-451.
- 4) Dill, D.B., Edwards, H.T., Bauer, P.S. and Levenson E.J. (1931). Physical performance in correlation to external temperatures. *Arbeitphysiol* **14**, 508-518.
- 5) Kurozawa, Y., Nasu, Y. and Nose, T. (1991). Response of capsaicin pretreated skin blood vessels to exercise. *Acta Physiol Scand* **41**, 181-184.
- 6) Nielsen, M. (1938). Die Regulation der Korpertemperatur bei Muskelarbeit. *Skand Arch Physiol* **79**, 193-230.
- 7) Saumet, J.L., Kellogg JR., D.L., Taylor, W. F. and Johnson, J.M. (1988). Cutaneous laser-Doppler flowmetry: influence of underlying muscle blood flow. *J Appl Physiol* **65**, 478-481.
- 8) Taylor, W.F., Johnson, J.M., Kosiba, W.H. and Kwan, C.M. (1988). Graded cutaneous vascular responses to dynamic leg exercise. *J Appl Physiol* **64**, 1803-1809.
- 9) Whitney, J.R. (1953). The measurements of volume changes in human limbs. *J Physiol* **121**, 1-27.