

## 運動時の心拍数と酸素摂取量の関係についての研究

## 第2報

女性の性周期と運動時の心拍数, 酸素摂取量の関係についての検討

寺田 光世・箕浦 悦子・高木 由美・山岡 誠一

Studies of Relationship between Heart Rate  
and Oxygen Uptake during Exercise  
Report 2Effect of Sexual Cycle on Heart Rate and Oxygen Uptake  
Responses to Exercise in Female Students

Mitsuyo TERADA, Etsuko MINOURA, Yumi TAKAGI, and Seichi YAMAOKA

Received April 30, 1983

抄録 運動部に所属する女子学生を被検者とし, W-up として5分間の踏台昇降運動(台高30cm, 30cpm)終了10分後に, 自転車労作による負荷漸増の exhaustive test を週2回を原則として2ヶ月間にわたって繰り返えし, 性周期による運動時の心拍数(HR), 酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )の変動, ならびに HR- $\dot{V}O_2$  関係直線の比較検討を試みた。

1. 早期起床前の基礎状態や安静時の HR,  $\dot{V}O_2$  は低温期に比べて排卵後の高温期に高くなる。同様の傾向は踏台昇降運動終了後10分時の基準状態(BC)や軽い負荷時にも認められた(有意でない)が負荷が強くなると性周期による差は見られなく, exhaustive 時には高温期にむしろ低い傾向(有意でない)を示した。

2.  $\%HR_{max}-\%\dot{V}O_{2max}$  関係直線には個体差があるが, 同一個体内では性周期による差は認められなかった。被検者5名の  $\%HR_{max}(X)$  に対する  $\%\dot{V}O_{2max}(Y)$  の全測定値から  $Y=-54.165+1.4790X$ ,  $S_{Y.X}=11.855$  の回帰方程式を得た。

3. W-up 終了10分後の HR を基準HRとし, これより上昇した HR(up-HR)と最大上昇 HR(up-HRmax)の比, すなわち  $\%up-HR_{max}(X)$  と  $\%\dot{V}O_{2max}(Y)$  との間には  $Y=1.303+0.9230X$ ,  $S_{Y.X}=5.896$  が得られ, 個体差も性周期による差も少なく, しかも  $Y=X$  に近くなった。

4. 以上の結果から, 女子運動学生に対する相対的運動強度としての  $\%\dot{V}O_{2max}$  の推定には, 先に報告した男子学生と同様に  $\%HR_{max}$  からの推算よりも  $\%up-HR_{max}$  のパー

センテージをそのまま用いることによって誤差が少くなることを知った。

索引語 性周期, 心拍数, 酸素摂取量,  $\% \dot{V}O_{2\max}$ ,  $\% \text{up-HRmax}$  自転車エルゴメーター

**Abstract.** The purpose of this study is to determine whether heart rate (HR) and its relationship to oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) at a given work rate are susceptible or not to influences from sexual cycle. Five college-age female athletes volunteered to perform the stepping exercise as a W-up at a step height of 30 cm and a tempo of 30 cpm for 5 minutes and subsequent exhaustive test using the bicycle ergometer twice a week through their two sexual cycles. The analyses were made of HR and  $\dot{V}O_2$  before the W-up (Rest condition; RC), after 10 minutes of recovery from the W-up (Base condition; BC), and during the exhaustive test, as well as at the basal metabolic condition (BMC) in the early morning. The results obtained were summarized as follows:

(1) HR and  $\dot{V}O_2$  in the BMC and RC were found to be higher at the high-temperature-phase (HTP) than at the low-temperature-phase (LTP) of the sexual cycle. In the BC and low work load, HR and  $\dot{V}O_2$  were also found to increase at the HTP more than at the LTP. In the high work load there was, however, no difference in both of the HR and  $\dot{V}O_2$  between the phases. At the maximum work load there was a tendency to increase the HR and  $\dot{V}O_2$  at the LTP more than at the HTP.

(2) The significant difference arising from the phases of sexual cycle in the  $\% \text{HRmax}$  ( $X$ )- $\% \dot{V}O_{2\max}$  ( $Y$ ) relationship was found not to occur within individuals, whereas an individuality was observed in this regard. The linear regression equation, on the average, was as follows:

$$Y = -54.165 + 1.4790X, (S_{Y \cdot X} = 11.855; r = 0.963)$$

(3) The linear regression equation of the relationship between  $\% \text{up-HRmax}$  ( $X$ ) and  $\% \dot{V}O_{2\max}$  ( $Y$ ) was as follows:

$$Y = 1.303 + 0.9230X, (S_{Y \cdot X} = 5.896; r = 0.968)$$

$$\% \text{up-HRmax} = \{(\text{exercise HR} - \text{base HR}) / (\text{HRmax} - \text{base HR})\} \times 100$$

The  $\% \dot{V}O_{2\max}$  could be estimated precisely by this formula which was involved in the  $\% \text{up-HRmax}$ , because the  $\% \text{up-HRmax}$  was suitable for reducing the individual variations and the difference arising from the sexual cycle. The precision in this estimation was found to be higher than that based on the  $\% \text{HRmax}$ , which is in agreement with the observations in our previous study on male students.

**Key words.** Sexual cycle; Heart rate; Oxygen uptake;  $\% \dot{V}O_{2\max}$ ;  $\% \text{up-HRmax}$ ; Bicycle ergometer.

## 緒 論

最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) に対する運動時の酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の比, すなわち  $\% \dot{V}O_{2\max}$  は身体運動の生体に与える負担度 (相対的運動強度) を表す指標として優れた方法であり<sup>26)</sup>, また

信頼性も高い<sup>3)</sup>といわれている。この場合、 $\dot{V}O_2$  や  $\dot{V}O_{2max}$  の測定には特殊な装置が必要なため、運動時の  $\dot{V}O_2$  と直線関係にある心拍数 (HR)<sup>4)</sup>、または HR の HRmax に対する比 (%HRmax) から推定<sup>4,6,8,18)</sup>されている。しかし、安静時の HR には個体差が大きい<sup>21,29,30)</sup>ため、HR の大きい運動時にはともかく、HR の低い軽い運動時の相対的負荷強度の推定や  $\dot{V}O_2$  の推算には誤差が大きくなる。

筆者たちは男子の体育専攻学生を対象にした自転車労作やトレッドミル走において、ウォーミングアップ (W-up) として行った5分間の踏台昇降運動 (台高 38 cm, 30 cpm) 終了10分後の HR を基準 (Base) HR とし、これより上昇した運動時の HR (up-HR)の最大上昇 HR (up-HRmax) に対する比—%up-HRmax (=up-HR/up-HRmax) を求めると、この値は % $\dot{V}O_{2max}$  のパーセンテージとほぼ合致し、個体差が少なくなることを本稿第一報に報告した<sup>27)</sup>。その後女子の運動部所属学生を被検者とし、自転車労作時の HR ならびに  $\dot{V}O_2$  の性周期による変動について観察するとともに、HR- $\dot{V}O_2$  の関係直線について男子学生と同様な検討を試みた。

## 実験方法

被検者は健康で性周期の順調な運動クラブに所属する女子学生5名で、これらの身体的特性は Table 1 に示してある。実験は10月上旬から12月中旬にわたって室温  $18^\circ \pm 2^\circ$  の範囲に調節した実験室で週2回を原則として繰り返した。各被検者には実験の約1ヶ月前から早朝起床前の基礎体温の測定を求めるとともに、自転車労作に慣れさせるために数回の練習を行わせた。

負荷運動時の HR および  $\dot{V}O_2$  を求めるための主運動は4分ごとに負荷漸増の自転車 (モナーク製) 労作による exhaustive test であって、100 cpm のメトロノームに合せた 50 rpm の労作を 0.5 kp (150 kpm) から始め、運動開始4分後に 1 kp 加重して 450 kpm にしたが、以後は 0.5 kp (150 kpm) 宛漸増して作業リズムが乱れるまで続けさせた。なおこの主運動は、W-up ととして課した5分間の踏台昇降運動 (台高 30 cm, 30 cpm) 終了後10分間の仰臥安静の後に実施した。

測定は W-up 前の安静時 (約20分間仰臥安静後) から主運動で exhaustive に至るまでの呼気ガスを、実験ごとに労研式ガス分析値によって調製されたエレクトロメタボラーに送って分析するとともに、胸部誘導による心電図を描画して  $\dot{V}O_2$  および HR の推移を観察した。 $\dot{V}O_{2max}$

Table 1. Physical characteristics of subjects

| Subj.          | Age         | Height       | Weight        | Basal metabol. |                        | HRmax        | $\dot{V}O_2$ max |               | Event and background (years) |
|----------------|-------------|--------------|---------------|----------------|------------------------|--------------|------------------|---------------|------------------------------|
|                | years       | cm           | kg            | ml/min         | kcal/m <sup>2</sup> /h | bpm          | l/min            | ml/kg         |                              |
| I.D.           | 18          | 165.0        | 53.07         | 181            | 35.5                   | 204          | 2.84             | 53.5          | Tennis (3) Volleyball (3)    |
| T.M.           | 19          | 173.4        | 65.72         | 204*           | 35.1*                  | 193          | 3.03             | 46.1          | Junping (3) Basketball (3)   |
| Y.S.           | 19          | 159.5        | 54.01         | 176            | 35.0                   | 198          | 2.80             | 51.8          | Middle distance (3)          |
| S.H.           | 21          | 166.5        | 60.66         | 180            | 33.0                   | 193          | 2.70             | 44.5          | Dancing (1) Volleyball (3)   |
| Y.T.           | 22          | 166.1        | 50.33         | 166            | 33.2                   | 194          | 2.51             | 49.9          | Sprint (5) Pingpong (3)      |
| $\bar{x}$ , s. | 19.8<br>1.6 | 166.1<br>5.0 | 56.76<br>6.29 | 181.4<br>14.0  | 34.36<br>1.17          | 196.4<br>4.7 | 2.776<br>.191    | 49.16<br>3.79 |                              |

\* Estimated on the basis of the body surface area

Table 2. HR and  $\dot{V}O_2$  at each phase of the sexual

| Subject<br><br>HRmax<br>$\dot{V}O_2$ max                                | Phase of<br><br>sexual<br>cycle | Basal-Metabolic-<br>Condition |                 |                | N    | Rest                          |              |                              |              |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------|-------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|
|                                                                         |                                 | N                             | HR              | $\dot{V}O_2$   |      | Rest-condition<br>before W-up |              | Base-condition<br>after W-up |              |
|                                                                         |                                 |                               |                 |                |      | HR                            | $\dot{V}O_2$ | HR                           | $\dot{V}O_2$ |
| J. D.<br><br>204<br>2.84                                                | L <sup>1</sup>                  | 4                             | bpm/min<br>65.0 | l/min.<br>.177 | 6    | 71.5                          | .198         | 81.8                         | .206         |
|                                                                         | H <sup>2</sup>                  | 6                             | 69.3            | .185           | 6    | 73.0                          | .198         | 86.2                         | .215         |
|                                                                         | M <sup>3</sup>                  | 1                             | 66.0            | .183           | 1    | 71                            | .20          | 83.                          | .21          |
|                                                                         | O <sup>4</sup>                  | 1                             | 65.6            | .18            | 1    | 69.                           | .19          | 88.                          | .22          |
|                                                                         | total $\bar{x}_s$               | (11)                          | 7.0<br>1.0      | .181<br>.004   | (13) | 72.0<br>8.6                   | .198<br>1    | 83.8<br>2.1                  | .210<br>4    |
| T. M.<br><br>193<br>3.03                                                | L                               | —                             | —               | —              | 4    | 56.2                          | .225         | 68.8                         | .278         |
|                                                                         | H                               | —                             | —               | —              | 6    | 56.8                          | .230         | 69.0                         | .285         |
|                                                                         | M                               | —                             | —               | —              | 1    | 47.                           | .23          | 69.                          | .28          |
|                                                                         | O                               | —                             | —               | —              | 1    | 50.                           | .24          | 69.                          | .26          |
|                                                                         | total $\bar{x}_s$               | —                             | —               | —              | (11) | 54.9<br>3.7                   | .228<br>3    | 68.9<br>.1                   | .281<br>3    |
| Y. S.<br><br>198<br>2.80                                                | L                               | 6                             | 56.8            | .175           | 7    | 63.1                          | .188         | 70.6                         | .218         |
|                                                                         | H                               | 5                             | 58.0            | .177           | 6    | 64.8                          | .198         | 69.3                         | .220         |
|                                                                         | M                               | 2                             | 57.5            | .173           | 2    | 64.5                          | .200         | 70.0                         | .230         |
|                                                                         | total $\bar{x}_s$               | (13)                          | 57.4<br>.6      | .176<br>.002   | (15) | 64.0<br>.8                    | .194<br>5    | 70.0<br>.6                   | .221<br>4    |
| S. H.<br><br>193<br>2.70                                                | L                               | 4                             | 49.5            | .176           | 6    | 58.8                          | .192         | 78.2                         | .204         |
|                                                                         | H                               | 4                             | 50.0            | .184           | 5    | 57.5                          | .198         | 83.4                         | .225         |
|                                                                         | M                               | 3                             | 47.7            | .178           | 2    | 63.5                          | .190         | 82.0                         | .215         |
|                                                                         | total $\bar{x}_s$               | (11)                          | 49.4<br>.8      | .180<br>.004   | (13) | 59.0<br>2.2                   | .194<br>3    | 81.0<br>2.5                  | .215<br>10   |
| Y. T.<br><br>194<br>2.51                                                | L                               | 6                             | 50.7            | .162           | 6    | 52.3                          | .215         | 68.0                         | .225         |
|                                                                         | H                               | 7                             | 52.5            | .170           | 7    | 53.3                          | .215         | 69.3                         | .226         |
|                                                                         | M                               | 2                             | 52.0            | .169           | 2    | 53.0                          | .185         | 69.0                         | .215         |
|                                                                         | total $\bar{x}_s$               |                               | 51.7<br>.9      | .166<br>.004   | (15) | 52.8<br>.5                    | .210<br>12   | 68.7<br>.6                   | .224<br>4    |
| Total<br><br>( $\bar{x}$ and $s$ )<br><br>196.4<br>4.7<br>2.776<br>.191 | L                               | 4                             | 55.5<br>7.1     | .173<br>.007   | 5    | 60.4<br>7.3                   | .204<br>14   | 73.4<br>6.1                  | .226<br>30   |
|                                                                         | H                               | 4                             | 57.5<br>8.5     | .179<br>.007   | 5    | 61.1<br>7.9                   | .207<br>14   | 75.4<br>7.6                  | .231<br>28   |
|                                                                         | M                               | 4                             | 55.8<br>7.8     | .176<br>.006   | 5    | 59.8<br>9.6                   | .201<br>17   | 75.2<br>8.1                  | .230<br>29   |
|                                                                         | O                               | 1                             | 65<br>—         | .18<br>—       | 2    | 59.5<br>13.4                  | .215<br>4    | 78.5<br>13.4                 | .240<br>3    |
|                                                                         | total <sup>5</sup>              | 4                             | 56.3<br>7.8     | .176<br>.007   | 5    | 60.5<br>7.7                   | .205<br>14   | 74.5<br>7.3                  | .230<br>29   |

<sup>1</sup>Low temp. phase; <sup>2</sup>High temp. phase; <sup>3</sup>Menstruation phase; <sup>4</sup>Day of ovulation;<sup>5</sup>Under a weighted mean condition (L: H: M=5:5:2)

cycle and these responses to the W-up and exercises

| Exercise |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |            |                 |
|----------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|------------|-----------------|
| 150 kpm  |                 | 450 kpm |                 | 600 kpm |                 | 750 kpm |                 | 900 kpm |                 | Exhaustion |                 |
| HR       | $\dot{V}_{O_2}$ | HR      | $\dot{V}_{O_2}$ | HR      | $\dot{V}_{O_2}$ | HR      | $\dot{V}_{O_2}$ | HR      | $\dot{V}_{O_2}$ | HR         | $\dot{V}_{O_2}$ |
| 112.8    | .655            | 133.9   | 1.148           | 146.8   | 1.438           | 164.2   | 1.787           | 178.3   | 2.060           | 198.5      | 2.654           |
| 108.2    | .624            | 132.8   | 1.117           | 149.1   | 1.404           | 163.1   | 1.729           | 176.0   | 2.013           | 198.2      | 2.566           |
| 112      | .57             | 137.    | 1.23            | 150.    | 1.44            | 161.    | 1.74            | 174.    | 2.04            | 194.       | 2.52            |
| 117      | .63             | 138.    | 1.03            | 153.    | 1.28            | 163.    | 1.56            | 179.    | 2.08            | 202.       | 2.50            |
| 110.8    | .628            | 134.0   | 1.149           | 148.3   | 1.424           | 163.2   | 1.755           | 176.6   | 2.037           | 197.6      | 2.595           |
| 2.3      | 3               | 1.5     | 41              | 1.4     | 18              | 1.2     | 29              | 1.6     | 22              | 1.7        | 55              |
| 95.0     | .664            | 120.5   | 1.185           | 137.8   | 1.490           | 153.8   | 1.820           | 169.0   | 2.257           | 190.0      | 2.790           |
| 96.8     | .685            | 117.5   | 1.165           | 133.7   | 1.463           | 146.8   | 1.795           | 170.8   | 2.188           | 183.8      | 2.700           |
| 100.     | .67             | 120.    | 1.18            | 140.    | 1.54            | 155.    | 1.93            | 175.    | 2.190           | 192.       | 2.42            |
| 96       | .74             | 121.    | 1.32            | 131.    | 1.62            | 145.    | 2.03            | 169.    | 2.44            | 189.       | 2.83            |
| 96.6     | .673            | 119.2   | 1.176           | 136.5   | 1.487           | 151.1   | 1.828           | 170.8   | 2.217           | 187.3      | 2.691           |
| 1.8      | 11              | 1.5     | 10              | 2.6     | 28              | 3.8     | 49              | 2.2     | 35              | 3.6        | 133             |
| 97.3     | .666            | 127.2   | 1.182           | 147.1   | 1.550           | 164.3   | 1.934           | 181.0   | 2.252           | 191.6      | 2.529           |
| 95.9     | .685            | 127.7   | 1.250           | 446.3   | 1.560           | 164.3   | 1.902           | 181.3   | 2.307           | 189.4      | 2.648           |
| 93.0     | .650            | 125.5   | 1.280           | 146.0   | 1.645           | 161.5   | 2.010           | 178.5   | 2.420           | 187.0      | 2.760           |
| 96.0     | .671            | 127.1   | 1.227           | 146.6   | 1.570           | 164.1   | 1.933           | 180.7   | 2.303           | 189.9      | 2.617           |
| 1.5      | 13              | .8      | 40              | 4.7     | 35              | 1.2     | 39              | 1.0     | 60              | 1.7        | 87              |
| 104.9    | .655            | 130.2   | 1.010           | 145.7   | 1.398           | 159.2   | 1.720           | 171.3   | 2.060           | 181.7      | 2.455           |
| 107.4    | .660            | 137.0   | 1.132           | 152.7   | 1.470           | 166.1   | 1.814           | 177.0   | 2.136           | 188.4      | 2.566           |
| 105.0    | .630            | 131.0   | 1.140           | 150.5   | 1.475           | 163.0   | 1.840           | 175.5   | 2.160           | 186.5      | 2.510           |
| 106.0    | .653            | 133.2   | 1.083           | 149.4   | 1.441           | 162.7   | 1.779           | 174.4   | 2.108           | 185.3      | 2.510           |
| 1.2      | 11              | 3.4     | 64              | 3.4     | 38              | 3.3     | 53              | 2.8     | 44              | 3.2        | 53              |
| 94.7     | .643            | 126.0   | 1.170           | 151.0   | 1.520           | 174.7   | 1.877           | 184.8   | 2.194           | 187.5      | 2.410           |
| 99.2     | .671            | 127.3   | 1.134           | 151.1   | 1.446           | 172.2   | 1.793           | 186.0   | 2.182           | 187.6      | 2.286           |
| 96.5     | .615            | 117.5   | 1.015           | 144.0   | 1.325           | 165.0   | 1.695           | 179.5   | 2.030           | 187.5      | 2.330           |
| 96.9     | .650            | 125.1   | 1.129           | 149.9   | 1.457           | 171.9   | 1.812           | 184.4   | 2.162           | 187.5      | 2.345           |
| 2.2      | 21              | 3.6     | 56              | 2.7     | 71              | 3.4     | 68              | 2.4     | 62              | .1         | 60              |
| 100.9    | .657            | 127.6   | 1.139           | 145.7   | 1.479           | 163.2   | 1.828           | 176.9   | 2.165           | 189.9      | 2.568           |
| 7.8      | 19              | 5.0     | 74              | 4.8     | 61              | 7.7     | 82              | 6.6     | 98              | 6.1        | .155            |
| 101.9    | .665            | 128.5   | 1.160           | 146.6   | 1.469           | 162.6   | 1.807           | 178.2   | 2.165           | 189.5      | 2.553           |
| 5.6      | 25              | 7.3     | 53              | 7.6     | 57              | 9.5     | 62              | 5.7     | .105            | 5.3        | .160            |
| 101.3    | .627            | 126.3   | 1.169           | 146.1   | 1.485           | 161.1   | 1.843           | 176.6   | 2.162           | 189.4      | 2.508           |
| 7.4      | 37              | 8.0     | .100            | 4.4     | .119            | 3.7     | .130            | 2.5     | .146            | 3.4        | .161            |
| 106.5    | .685            | 129.5   | 1.175           | 142.0   | 1.450           | 154.0   | 1.795           | 174.0   | 2.260           | 195.5      | 2.665           |
| 14.8     | 78              | 12.0    | .205            | 15.5    | .240            | 12.7    | .232            | 7.0     | .255            | 9.2        | .233            |
| 101.3    | .655            | 127.7   | 1.153           | 146.1   | 1.476           | 162.6   | 1.821           | 177.4   | 2.165           | 189.6      | 2.552           |
| 6.7      | 18              | 6.1     | 54              | 55      | 58              | 7.4     | 69              | 5.3     | .102            | 4.7        | .132            |

の達成水準としては 1) HR が 180 bpm 以上, 2)  $\dot{V}O_2$  の leveling off, 3) 呼吸商が 1.0 以上を指標とし, そのうち 2 指標を充した場合を各測定ごとの max としたが, 各被検者ごとの max は 10 数回実施した exhaustive test で得た最高値を採用した。なお寮生活をする 4 名の被検者については, 実験期間中に 10 数回 (測定日は本実験と必ずしも一致していない), 早朝起床前の HR(BMC-HR) を触診によって, また呼吸をダグラスバックに集めて基礎代謝量 (BM) を測定した。

各被検者の性周期は自覚的徴候ならびに基礎体温の資料をもとに低温期 (LTP), 高温期 (HTP), 月経期 (Menst), 排卵日 (Ovulat) に分割した。なお資料の整理に当っては各負荷とも最後の 1 分間の HR,  $\dot{V}O_2$  を用い, 負荷ならびに性周期の同一条件下での著しく偏した測定値については, 棄却検定により取捨して平均値を求めた。

### 実験結果

5 分間の踏台昇降運動 10 分後に行った exhaustive test における HR ならびに  $\dot{V}O_2$  の測定成績について, 被検者ごとの性周期別ならびに負荷強度別の平均値を一括して示したのが Table 2 で, 早朝臥位時の基礎状態 (Basal Metabolic Condition; BMC) や W-up 前の安静状態 (Rest Condition; RC), 10 分後の基準状態 (Base Condition; BC) の値も併記してある。なお各被検者の平均値 ( $\bar{x}$ ) ならびに最下段に示した全平均 ( $\bar{x}$ ), 標準偏差 ( $s$ ) は, 負荷強度別に算出した性周期別平均値について, LTP:5, HTP:5, Menst: 2 の比で加重平均して求めた値である。

HR ならびに  $\dot{V}O_2$  の性周期による変動の推移を示したのが Fig. 1, 2 である (負荷 600, 900

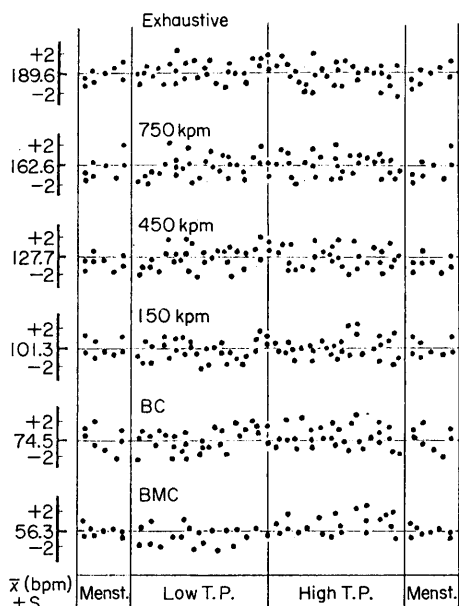


Fig. 1. HR response to exercise at each phase of the sexual cycle

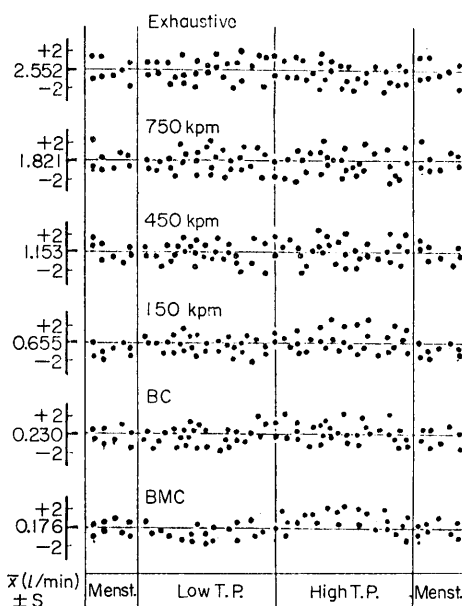


Fig. 2.  $\dot{V}O_2$  response to exercise at each phase of the sexual cycle

kpm の資料は削除)。図は5名の被検者の異なった性周期を LTP, HTP, Menst の期間を5:5:2となるように伸縮し、約2周期にわたって測定した資料を Menst から Menst までの1周期にまとめて模式的に表示してある。さらに HR や  $\dot{V}O_2$  の各測定値は負荷強度が同一であっても体力差が認められ、また変動の中にも個体差があるため、各被検者について求めた平均値を全被検者の平均値(縦軸)までスライドし、平均値からの偏差については被検者ごとに標準偏差で除した値に換算してプロットしてある。

この実験は約2ヶ月間にわたって実施した10数回の exhaustive test であったために、練習効果を吟味しなければならない。しかし被検者には 1) test に慣れさせるため本実験開始前に数回練習させたこと、2) 平素からそれぞれの運動クラブでレギュラー選手としてトレーニングを続けていたこと、ならびに 3) 被検者 S.H. と J.D. の2名は排卵直後より、他の3名は月経直後より本実験を始めたこと等によって、LTP, HTP, Menst 別に前半と後半に分けて比較したところ、負荷強度によっては後半に HR がやや低く  $\dot{V}O_2$  の高い傾向を示した被検者もいたが、反対の者もあって有意の差が認められなかったため練習効果を無視することにした。

Fig. 1, 2 および Table 2 にみられるように、BMC 時では HR,  $\dot{V}O_2$  とも LTP に低く HTP に高い波が認められ ( $\dot{V}O_2$ :  $p < 0.05$ , HR:  $p < 0.1$ )、同様な傾向は RC 時, BC 時, ( $\dot{V}O_2$ :  $p < 0.1$ , HR:  $p < 0.2$ ) ならびに軽い負荷時にもみられるが、負荷が強くなるにともなって LTP と HTP の間に差がみられなくなった。

自転車労作による exhaustive test によって測定した被検者ごとの LTP, HTP, Menst 別に平均した HR および  $\dot{V}O_2$  の平均値 (Table 2 の最下段) をもとにして求めた  $\dot{V}O_2$  (Y) に対する HR (X) の回帰直線、ならびに平均値に対する標準偏差の範囲を示したのが Fig. 3 である。図には BMC 時, RC 時, および BC 時の値も附記してある。また Fig. 4, 5 は Fig. 3 と同様な要領で描画した運動時の  $\%HR_{max}$ — $\% \dot{V}O_{2max}$  関係、ならびに W-up 10分後の基準心拍数 (BC-HR) をもとにして求めた  $\% up-HR_{max}$ — $\% \dot{V}O_{2max}$  の関係直線である。図によって明らかなように、3者とも性周期別の回帰直線はほぼ重なり差はみられなかった。しかし被検者ごと

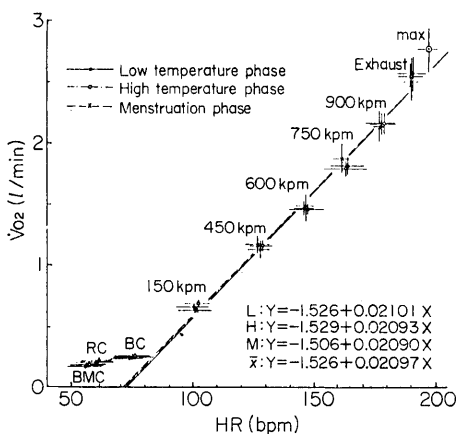


Fig. 3. HR- $\dot{V}O_2$  relationship responded to exercise at each phase of the sexual cycle

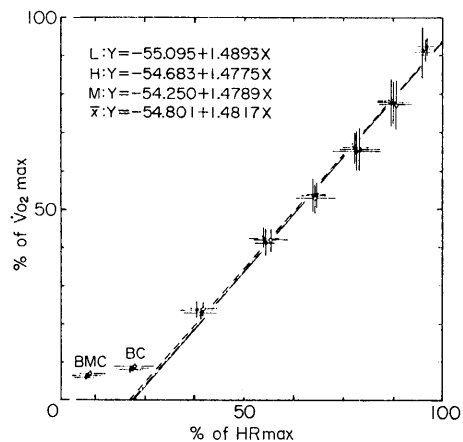


Fig. 4.  $\%HR_{max}$ — $\% \dot{V}O_{2max}$  relationship responded to exercise at each phase of the sexual cycle

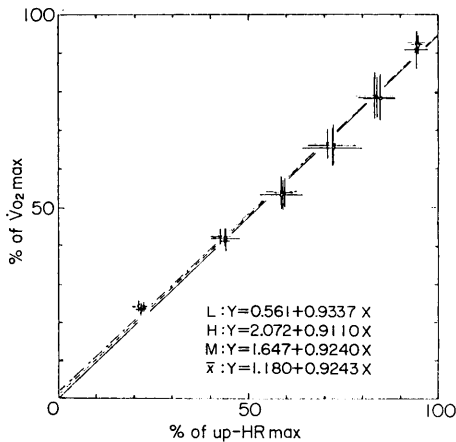


Fig. 5. %up-HRmax-%  $\dot{V}O_2$  max relationship responded to exercise at each phase of the sexual cycle

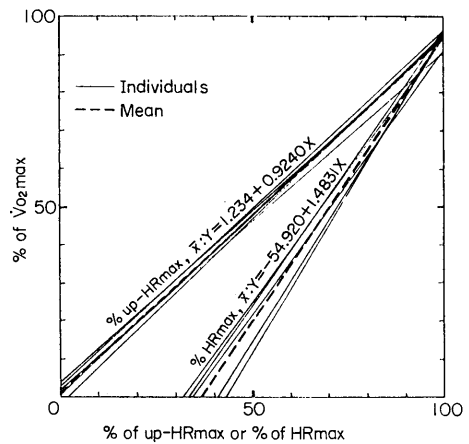


Fig. 6. Individualities in %HRmax-%  $\dot{V}O_2$  max relationship and % up-HRmax-%  $\dot{V}O_2$  max relationship

の平均値から求めた回帰直線を比較した Fig. 6 でみると、安静時の HR に個人差があるため %HRmax-% $\dot{V}O_2$ max 関係直線では負荷の軽い場合に個体差が大きくなるが、%up-HRmax-% $\dot{V}O_2$ max 関係では差が僅小となった。

## 考 察

### 1) 性周期にともなう HR, $\dot{V}O_2$ の変動

女性の性周期にともなう基礎代謝量 (BM) の変動については古くよりよく知られ、鈴木たち<sup>22)</sup>、山川<sup>28)</sup>や松田<sup>11)</sup>は月経周期の後半に BM が上昇し基礎体温と密接な関係にあることを確めている。益子<sup>12)</sup>は BM とともに安静代謝 (RM) においても排卵後の HTP に漸次上昇し、Menst ならびにその後の LTP に低下することを認め、HTP の BM は LTP の 8.21%, RM では 6.87% 増大したことを報告している。筆者たちの今回の実験では HTP の早朝安静時の  $\dot{V}O_2$  は  $179 \pm 7$  ml/min ( $34.8$  kcal/m<sup>2</sup>/h) であって、LTP の  $173 \pm 7$  ml/min ( $33.6$  kcal/m<sup>2</sup>/h) に比べて 3.5% 高く ( $p < 0.05$ )、Menst の  $176$  ml/min ( $34.2$  kcal/m<sup>2</sup>/h) は両者の中間値を示した。W-up 前の安静値においても HTP ( $207 \pm 14$  ml/min) には LTP ( $204 \pm 14$  ml/min) より 1.5% 高い傾向 ( $p < 0.1$ ) が認められた。運動負荷時の  $\dot{V}O_2$  の周期的変動についての報告例は少ない。体育専攻学生を対象とした負荷漸増の自転車労作で観察した佐治<sup>17)</sup>は LTP と HTP に差は見られなかったと報告しているが、20分間の自転車労作 (負荷 2 kp) で黛たち<sup>13)</sup>は HTP には LTP に比して運動中の  $\dot{V}O_2$ 、運動後の酸素負債量が多く、したがって酸素需要量が大きく効率の劣ることを報告している。今回の実験では W-up 後の回復期や軽い負荷時には LTP よりも HTP に  $\dot{V}O_2$  の高い傾向 (有意でない) を示したが、負荷が増大するにもなって性周期による変動がみられなくなり、exhaustive に達したときの  $\dot{V}O_2$  は HTP の後半から Menst にむしろ低下する傾向 (有意でない) がうかがえた。

BM や RM が HTP に高い値を示す要因として益子<sup>12)</sup>は、HTP に代謝量が基礎体温の上昇

曲線より遅れ、皮膚温の上昇と併行して漸増すること、ならびに閉経期の婦人に progesteron の連続投与によって容易に基礎体温の上昇することから、Ovulat 後の基礎体温の上昇は BM の上昇、なかんずく体内熱生産の上昇によるものではなく、性ホルモン分泌の周期的変動による体内ホルモン環境の変化が体温中枢を刺激しておこる二次的影響であるとしている。強い負荷で性周期による  $\dot{V}O_2$  の変動のみられないのは、ホルモン環境の変動による二次的代謝亢進があったとしても、運動による代謝の亢進がより以上に大きいためと考えられる。さらに最大負荷によって HTP に  $\dot{V}O_2$  の低下傾向を示すのは、ホルモン環境の変動による生理機能の低下<sup>8,13)</sup> によるのであろう。

性周期による HR の変動についての報告は少ない。安静時の観察で山川<sup>28)</sup> は Menst 前の HTP に HR が高く、後の LTP に低いと述べ、松田<sup>11)</sup> は運動後の HR は Ovulat の前に高いことを観察し、佐治<sup>17)</sup> は安静時や軽い負荷時の HR は LTP より HTP に高いことを報告している。今回の実験においても、BMC-HR ( $p < 0.1$ ), RC-HR や BC-HR (何れも  $p < 0.2$ ) では HTP に高く、さらに軽い負荷時にも高い傾向がうかがえた。しかし負荷が増大すると  $\dot{V}O_2$  と同様に性周期による差がみられなくなり、exhaustive 時の HR において LTP に最高値 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) を示したものが5名中3名、(HTP, Menst に各1名) みられた。安静状態や軽い負荷時の HR が HTP に高いことが、体温の上昇によるものか、ホルモン系の変動に由来するかは興味ある課題であるが、強い運動の負荷では  $\dot{V}O_2$  の変動と同様に運動刺激による呼吸循環機能の促進にかくされてしまうためであろう。

## 2) 性周期と HR- $\dot{V}O_2$ 直線関係

全身運動時の HR や  $\dot{V}O_2$  には個体差があるが運動強度に比例して増大し、有酸素能力の範囲内では3者の相互間に直線関係の成立することはよく知られ、HR と作業強度の関係から一定の HR でなしうる仕事量 (PWC<sup>26)</sup>) や、摂取しうる  $\dot{V}O_2$  の比較から有酸素的作業能の判定指標として用いられている。女子学生を対象とした本実験の一つのねらいは、負荷運動時の HR- $\dot{V}O_2$  関係直線が性周期によって変動するか否かであった。Fig. 7 は被検者 SH と YT について、LTP, HTP および Menst 別に求めた運動時の HR に対する  $\dot{V}O_2$  の回帰直線である。安静時の HR ならびに  $\dot{V}O_{2max}$  の低い YT の回帰直線の傾斜は、安静時の HR,  $\dot{V}O_{2max}$  の高い SH に比べて緩やかで個体差が認められる。しかし SH, YT とも性周期による HR- $\dot{V}O_2$  関

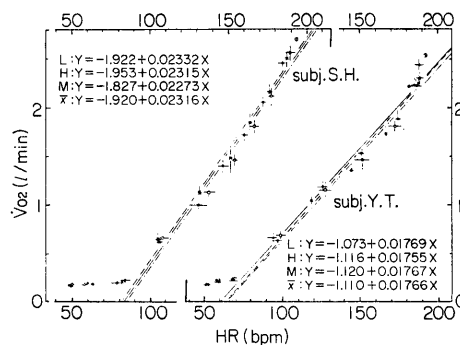


Fig. 7. HR- $\dot{V}O_2$  relationship in subjects S. H. and Y.T.

係直線の個体内変動は僅小であり、被検者5名の性周期別平均値で示した Fig. 3 では3つの回帰直線がほぼ合致している。これは先にも論じたように、軽い負荷時には HR,  $\dot{V}O_2$  とも HTP に LTP よりもやや高く、強い負荷では反対に HTP に低い傾向を示すため、運動時の HR- $\dot{V}O_2$  関係直線には個体差はあるが、同一個体内では性周期による変動がないと言ってよいであろう。

生体に与える運動の負荷強度としては  $\dot{V}O_{2max}$  に対する  $\dot{V}O_2$  の割合、すなわち  $\% \dot{V}O_{2max}$  が用いられ、これはまた持久力のトレーニング処方に際しての相対的運動強度の指標として優れた方法であり<sup>26)</sup>、信頼性も高い<sup>3)</sup>とされている。しかし  $\dot{V}O_2$  の測定には特殊な実験装置と操作が必要なため、一般には  $\dot{V}O_2$  と直線関係にある HR を利用し、 $\%HR_{max}$  から  $\% \dot{V}O_{2max}$  が推定されている。Fig. 4 は性周期別に被検者5名の平均した  $\%HR_{max}$ — $\% \dot{V}O_{2max}$  関係を示したものであるが、平均的にみると HR— $\dot{V}O_2$  関係直線と同様に  $HR(X)$  に対する  $\dot{V}O_2(Y)$  の回帰直線には性周期による差異が認められなく、LTP, HTP, Menst の3つの周期の平均から  $Y = -54.801 + 1.4817X$ , 被検者の全測定値について求めると  $Y = -54.165 + 1.4790X$ , ( $S_{Y \cdot X} = 11.855$ ,  $r = 0.963$ ) の回帰方程式がえられた。この成績は先<sup>27)</sup>に体育専攻の男子学生を対象とした自転車労作でえた  $Y = -56.240 + 1.488X$  ( $S_{Y \cdot X} = 6.293$ ,  $r = 0.928$ ) と近似していることから、トレーニングを重ねた学生では平均的には  $\%HR_{max}$ — $\% \dot{V}O_{2max}$  関係には性差や女性の性周期に関係がないといえることができる。

相対的運動強度としての  $\% \dot{V}O_{2max}$  を  $\%HR_{max}$  から推定する場合、安静時の HR に個体差のあることから、強い運動時ではともかくとして軽度の運動で個体差が大きくなることが Skinner と Jakowski<sup>21)</sup> や山地たち<sup>29)</sup> が報告し、筆者たち<sup>27)</sup>も前報において論じてきた。今回の実験においても Fig. 6 に示した被験者別の回帰直線から、生理的負担の大きい80%  $HR_{max}$  以上では平均的な  $\% \dot{V}O_{2max}$  の個体間の偏差は3%程度と僅小であるが、50% $HR_{max}$  に相当する  $\% \dot{V}O_{2max}$  でみると性周期による個体内変動は2~3%であるが個体別には11.5から24.2% (平均19.3%) と広がっている。このことは歩行をはじめ日常生活における軽作業時の  $\dot{V}O_2$  または消費エネルギーの推算を HR から求める場合に誤差が大きくなる。

緒論にも述べたように本稿の第一報に、男子体育専攻学生を対象とした自転車労作やトレッドミル走において、W-up としての5分間の踏台昇降運動終了5~10分後の HR を基準 (BC-HR) とし、運動負荷によって BC-HR より上昇した HR(up-HR=Exercise HR-BC-HR) について、 $HR_{max}$  から BC-HR を控除した値 (up- $HR_{max}$ = $HR_{max}$ -BC-HR) に対する比 ( $\%up-HR_{max}$ =up-HR/up- $HR_{max}$ ) を求め、 $\%up-HR_{max}(X)$  と  $\% \dot{V}O_{2max}(Y)$  の回帰直線を描画すると個体差が少なく、 $Y=X$  に近い回帰方程式のえられることを報告した。今回の実験は男子にみられた  $\%up-HR_{max}$ — $\dot{V}O_{2max}$  関係が性周期をもつ女子にも適用できるか否かの検討が主目的であった。結果は Fig. 5, 6 にみられるように踏台昇降運動終了10分後の HR を Base HR として求めた  $\%up-HR_{max}$ — $\% \dot{V}O_{2max}$  の関係は、性周期による変動 (Fig. 5) も個体間の差 (Fig. 6) もともに少なく、被検者5名の2ヶ月間にわたる全測定値についてプロットした Fig. 8 においても明らかなように、

$$Y = 1.303 + 0.9230X \quad S_{Y \cdot X} = 5.90 \quad r = 0.968$$

の回帰方程式 (直線) の回りに散在することを確認することができた。また女子運動学生で得たこ

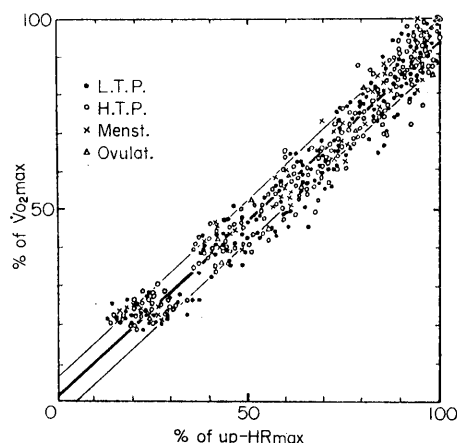


Fig. 8. Individual plots on the %up-HRmax-% $\dot{V}O_2$  max relationship responded to exercise at each phase of the sexual cycle

の成績は、先に男子体育専攻学生の自転車労作で得た  $Y_c = -0.667 + 0.944 X$  ( $S_{Y.X} = 6.675$ ,  $r = 0.974$ ) と近似し、しかも回帰係数は1.0に近く、回帰直線の  $Y$  軸との切点は0点に近く、 $Y = X$  をほぼ充している。このことから、運動時の %up-HRmax の値は男女間にも、または性周期にも関係なく、そのまま相対的運動強度指標としての%  $\dot{V}O_2$  max の値と考えて大過ないことになる。

しかし、%HRmax—% $\dot{V}O_2$  max の場合も同様であるが、%up-HRmax—% $\dot{V}O_2$  max の回帰直線において、100% up-HRmax に対する % $\dot{V}O_2$  max の値が93~98%とやや低いことに関しては、1) 各被検の  $\dot{V}O_2$  max の設定が被検者ごとに約30回実施した exhaustive test の最高値を用いたこと、2) 最大下作業での漸増負荷時に直線的に増大した HR,  $\dot{V}O_2$  が最大負荷に近づくと  $\dot{V}O_2$  が急上昇する被検者がみられる (Fig. 7 参照) こと<sup>16,19,20</sup>) 等に由来している。さらに 3) 60~80% HRmax 時の%  $\dot{V}O_2$  max が回帰直線のやや下方に偏して凹型の曲線傾向をたどることも影響しているが、これはランニングのような全身運動に比べて自転車労作は若干局所的な運動の性格を備えている<sup>24,31)</sup> ためであろう。先の体育専攻男子学生に対するトレッドミル走で得た % $\dot{V}O_2$  max の %up-HRmax に対する回帰直線 ( $Y_R = -3.575 + 1.008X$ ) は、自転車労作 ( $Y_c$ ) の場合よりも傾向が急 (回帰係数が大) で、100%up-HRmax に対する % $\dot{V}O_2$  max は97.2%となっている。なお HR— $\dot{V}O_2$  関係を論じるのに HR については BC-HR を控除した% up-HRmax を用い、 $\dot{V}O_2$  はそのまま  $\dot{V}O_2$  max に対する比で両者の関係を求めたのは、前報<sup>27)</sup> にも述べたように安静時または基準状態の% HRmax は30~40%と高くって個体差が大きいのに対し、%  $\dot{V}O_2$  max では8~10%と小さくて個体差も少ないことにもよるが、Fig. 4, 7 でみられるように安静から基準状態を経て 50% HRmax, または 20% $\dot{V}O_2$  max 程度の軽い負荷までの  $\dot{V}O_2$  の上昇は HR の増大に比して少なく、HR- $\dot{V}O_2$  または %HRmax—% $\dot{V}O_2$  max 関係直線と X 軸の切点は各個体の Base HR の附近に集るためである。

LTP から HTP に移行する排卵 (ovulat) 当日に実施された exhaustive test は、被検者 J.D. と T.M. に各1例宛みられた。Fig. 9 は Ovulat を含めて2被検者の性周期別に平均した% HR

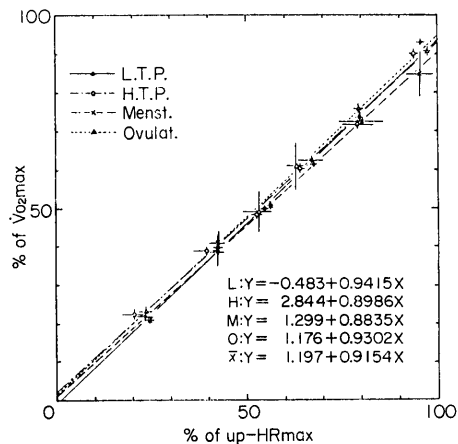


Fig. 9. %up-HRmax-%Vo<sub>2</sub> max relationship responded to exercise at each phase of the sexual cycle in subjects J.D. and T. M.

max-% $\dot{V}O_2$ max および %up-HRmax-% $\dot{V}O_2$ max の関係を示してある。この例では Menst の回帰直線が強い負荷時に右下に偏したが、Ovulat の回帰直線は LTP, HTP のそれとほぼ重なっている。しかし Menst, Ovulat とも2例の平均値であるためここでは論議を避けたい。

いずれにしても、全身運動の生体を与える相対的負荷強度としての % $\dot{V}O_2$ max を推定する場合、%HRmax からの推定よりも、W-up としての踏台昇降運動終了後10分時の HR を BC-HR とし、これより上昇した HR をもとにして求めた %up-HRmax の示すパーセンテージをそのまま指標にすると、男女間にも、女性の性周期にも、また個体の体力差にも関係なくより正確に推定できるというてよい。ただし今回の被検者はトレーニングを重ねたスポーツ選手であるため、一般女子に対してはさらに検討を加えなければならないであろう。ちなみに各被検者の約30回にわたる exhaustive test の exhaustive 時の  $\dot{V}O_2$  の平均は  $2.56 \pm 0.16$  l/min であったが、各被検者の最高値 ( $\dot{V}O_2$ max) の平均  $2.78 \pm 0.19$  l/min ( $49.2 \pm 3.8$  ml/kg) は、日本の一流女子中距離選手3名について観察した黒田たち<sup>9)</sup> の 61 ml/kg に比べると 73~88% (平均80.6%) に相当していたが、宮下たち<sup>14)</sup> の報告による日本女子選手の  $\dot{V}O_2$ max の平均 2.75 l/min または 2.86 min とほぼ同値であった。また筆者たちの用いた BC-HR を求めるための踏台昇降運動は W-up としては不自然であり、体位、体力を異にした対象に同一の負荷を課すことも問題があるため、BC-HR を求めるための妥当な、しかも自然な W-up の運動種目、強度、時間の検討は今後の課題である。

この研究は文部省科学研究補助金 (課題番号188002) によって行った。

## 訂 正

本稿第一報 (本誌 No. 59, 1981) に誤植がありました。次のように訂正いたします。

p. 19 Fig. 3 と Fig. 4 の図を入れかえる。

p. 20 Table 4 のうち、上から4段目、左から7枠目の0.974を0.973にする。

p. 24 下から16行目、 $r=0.898$  を  $r=0.973$  にする。

p. 24 下から13行目、 $r=0.937$  を  $r=0.974$  にする。

## 文 献

- 1) Andersen, K.L.: Physiological working capacity. Health and fitness in the world. p. 365-367. The Athletic Institute. 1961.
- 2) 青木純一郎：心拍数一運動強度の指標としての意義と限界，新体育 46:660-665, 1976
- 3) 朝比奈一男，浅野勝己，草野勝彦，砂本秀義：作業強度の生理的基準について，体力科学 20:190-194, 1971.
- 4) Åstrand, P.O. and I. Ryhming: A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiol. 7: 218, 1954.
- 5) Åstrand, P.O., T.E. Cuddy, B. Saltin, and J. Stenberg: Cardiac output during submaximal and maximal work. J. Appl. Physiol. 19: 268-274, 1964.
- 6) Hellerstein, H.K., E.L. Hirsch, R. Ader, N. Greenblot and M. Siegel. Principles of exercise prescription. J. P. Naughton and H. K. Hellerstein (eds.) Exercise testing and exercise training in coronary heart disease. Academic Press, N.Y. p. 129-169, 1973.
- 7) 猪飼道夫，山地啓司：心拍数からみた運動強度一運動処方の研究資料として，体育の科学 21:589-593, 1971.
- 8) Kawakami, M: Electro-miographic study of the human abdominal muscles affected by sexual hormones: Japan. J. of Physiol. 4:274-289, 1954.
- 9) 黒田善雄，加賀谷潔彦，塚越克己，雨宮輝也，大田裕造，酒井淳子：日本一流競技選手の最大酸素摂取量（第一報）. 日本体育協会スポーツ科学委員会報，1968.
- 10) 黒田善雄：スキー競技選手の最大酸素摂取量 札幌オリンピックスポーツ科学研究報告 pp. 123-130, 日本体育協会，1968.
- 11) 松田正二：性周期と代謝，産婦人科治療 13:672-679, 1966.
- 12) 益子研三：性周期と体温調節機能. 日新医学 44:580-585, 1957.
- 13) 黛 誠，辻田純三，田中信雄：運動負荷時の生理的反応に及ぼす性周期の影響. 日本体育学会第28回大会号 pp. 1219, 1977.
- 14) 宮下充正，石井喜八他著 運動生理学概論 大修館書店刊より引用 1967.
- 15) 老月敏彦，山地啓司，有沢一男：心拍数と歩行・走行スピードからみた運動強度一運動処方の研究資料として，体育の科学 26:680-686, 1976.
- 16) Rowell, L.B.: Human cardiovascular responses to exercise. (R.L. Morse: Exercise and the Heart. Second Ed.) p. 5-26. Charles Thomas. Springfield. 1974.
- 17) 佐治妙子：性周期にともなう循環機能の変動について，昭和49年度京都教育大学卒業論文
- 18) Saltin, B.: Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. Acta. Physiol. scand. 62: (suppl. 230), 1964.
- 19) Saltin, B., G. Blomqvist, J.M. Mitchell, R.L. Johnson, Jr., K. Wildenthal and C.B. Chapman: Response to submaximal and maximal exercise after bedrest and training. Circulation 38: (Suppl. 7), 10-20, 40-41, 1968.
- 20) Shephard, R.J.: Endurance fitness, Second Ed. p. 104-141. Univ. of Toronto Press, Toronto. 1977.
- 21) Skinner, J.S. and L.W. Jankowski: Individual variability in the relationship between heart rate and oxygen intake. Med. Sci. Sports 6: 68, 1974.
- 22) 鈴木慎次郎，長嶺晋吉，山川喜久江，大島寿美子：日本人の基礎代謝に関する研究（その8）女子の基礎代謝と体温. 栄養学雑誌 11:2-7 1953.

- 23) 辻田純三, 平川和文, 山岡誠一：最大酸素摂取量の個体内変動. 日本体育学会第26回大会号. pp. 309, 1975.
- 24) Vokac, Z., H. Bell, E. Bautz-Holter and K. Rodahl: Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.* 39: 54-59, 1975.
- 25) Wahlund, H.G.: Determination of the physical working capacity: A physiological and clinical study with special reference to standardization of cardio-pulmonary function test. *Acla. Med. Scand* 215:9, 1948.
- 26) Wilmore, J.H. and W.L. Haskell: Use of the heart rate-energy expenditure relationship in the individualized prescription of exercise. *Am J. Clin. Nutr.* 24:1186-1192, 1971.
- 27) 山岡誠一, 佐野邦典, 小田慶喜：運動時の心拍数と酸素摂取量の関係についての研究（第1報）運動によって上昇した相対心拍数（%up-HRmax）と % $\dot{V}O_{2max}$  の関係について. 京都教育大学紀要B, No.59 13~27, 1981.
- 28) 山川 純：日本女子の性周期にともなう身体機能の変動Ⅲ 循環機能について. 民族衛生 25:241~248, 1959.
- 29) Yamaji, K., M. Miyashita and R.J. Shephard: Relationship between heart rate and oxygen intake in male subjects aged 10 to 27 years. *J. Human Ergol.* 7: 29-39, 1978.
- 30) 山路啓司：運動処方のための心拍数の科学, 大修館書店刊 pp.46-47, 55-56, 1981.
- 31) 湯浅景元, 矢田秀明, 朝比奈一男：最大下の腕, 脚および「腕+脚」作業に対する酸素摂取量, 心拍数, 換気量応答, 体力科学 29:5-10, 1980.