

性周期が運動時体温調節機構に及ぼす影響

横浜国立大学 加 茂 美 冬

(共同研究者) 同 森 本 茂

Influence of the Menstrual Cycle on Thermoregulatory Responses to Exercise

by

Mifuyu Kamo, Shigeru Morimoto

Faculty of Education, Yokohama National University

ABSTRACT

The aim of this study is based on the thermoregulatory mechanism during cycling exercise at the high and low body temperature phases of the menstrual cycle in young women. Two types of the exercise were employed ; submaximal ($60\% \dot{V}_{O_{2max}}$) prolonged exercise and exercise to exhaustion with gradual increase in its intensity at the room temperature of 26 degrees and relative humidity of 60%.

The results obtained were as follows ;

1) At resting period, rectal and tympanic temperatures at a high body temperature phase was higher than at a low temperature phase, while mean skin temperature at the high temperature phase was low, compared with that at the low phase. And \dot{V}_{O_2} and HR at the high phase was, also, larger than those at the low phase.

2) During exercise, parameters pertaining to temperature changed in similar manner.

But relative change in the variables at low temperature phase were larger compared with high temperature phase. However, it made no great difference in mean skin temperature between high and low temperature phase, but the mean body temperature showed large

increment ratio in the low temperature phase. In this study, these results suggested the higher "set-point" temperature and the larger "thermosensitivity" in the high body temperature phase.

要 旨

女性性周期にともなう低体温と高体温の各期に、運動時の身体各種部位の体温変化を観察することにより、性周期が体温調節機能に及ぼす影響を検討した。環境温度 $26 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5.9\%$ の条件下で、自転車エルゴメータを用いて負荷漸増最大運動と $60\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ 強度を 30 分間持続する最大下運動を行わせた。

1) 安静時、直腸温 (T_{re})、鼓膜温 (T_{ty}) は、低体温期より高体温期で有意に高かった ($P < 0.01$)。高体温期では、酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}) も有意に高値を示した ($P < 0.05$)。それに対して、平均皮膚温 (T_{sk}) は、低体温期に高い値を示した ($P < 0.05$)。2) 最大、最大下運動中の総酸素摂取量とガス交換比 (R) に有意な差異は認められなかった。3) 最大、最大下運動時の各種体温パラメータの経時的な変化は、低体温、高体温の両期で同様の傾向であった。しかし、 T_{re} 、 T_{ty} 、平均体温 (\bar{T}_b) の変化量は高体温期より低体温期で大きかった。また、平均皮膚温 (\bar{T}_{sk}) の変化量は両期に大きな差はみられなかった。

以上のことから、高体温期には低体温期より、運動中の体温調節における set-point の上昇あるいは thermosensitivity の増大があるものと考えられた。

緒 言

女性は卵胞期と黄体期の性周期の繰り返しの中で低体温期と高体温期の周期の長い体温変動を持つことが知られている。この体温周期はプロゲステロン濃度、あるいはエストロゲンとプロゲステ

ロンの濃度比の変化が、視床下部にある体温調節中枢に作用して体温設定温度 (set-point) を切り替えることに起因するものと考えられている^{3,10}。この二相の体温周期 (set-point の違い) に注目して、高環境温暴露、運動など体温に外乱を与えたときの体温調節機構の応答の差異を検討した報告が数多くなされているが、一致した見解がまだ得られていない^{2,4,5,7,11}。

本報告では、性周期の高体温相と低体温相に最大運動と最大下の持続的運動を実施し、同一の運動に対して高体温期と低体温期での酸素摂取量とガス交換比 ($R: \dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_{O_2}$) が同一になった被験者の結果に関して解析を行った。すなわち、運動中の総産生熱量が同一であった場合に高体温期と低体温期での体温調節方法の差異が生じるか否かに注目した。

1. 方 法

1.1 被験者

被験者は正常な月経周期を持つ健康成人女性 4 名を用いた。被験者には実験の目的、方法、実験実施に際しての危険性などを十分に説明し、同意の得られた者に対して任意の参加を依頼した。被験者の身体的特性を表 1 に示した。実験に先立って各被験者に、口腔内体温測定による基礎体温周期を調査した。ここからの周期と実験実施期間中

表 1 Physical characteristics of the subjects

	Age (years)	Hight (cm)	Weight (kg)
Mean	23.0	159.5	54.6
SEM	2.3	2.0	2.0

の基礎体温周期から推定した低体温期、高体温期それぞれの中間日を各期実験日とした。

被験者は実験前日の夕食を摂取してから約12時間の絶食のうえ、実験室に午前9時に来室した。半袖Tシャツ、ランニングショーツ、ランニングシューズを着用し、更衣後、実験室内（環境温度 $26 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60.8 \pm 5.9\%$ ）にて30分以上の椅座位安静を保たせた。この間に測定器材の装着を行った。実験実施期間は6月から8月であった。

1.2 測定項目

体重：分解能50gの体重計（エーアンドデイ、UC-300）を用いて、運動負荷試験前後の体重を下着のみを着用した状態で測定した。運動負荷実験中の不感蒸泄、発汗を含む体水分損失量の指標として用いた。

体温：

- ・舌下温 基礎体温周期から月経周期を推定するために、毎朝覚醒直後の安静条件下で測定を行った。
- ・皮膚温 (T_{sk}) 前額部、胸部、前腕部、手部、大腿部、下腿部および足部の7ヵ所においてサーミスターセンサーにて皮膚温測定を行った。
- ・直腸温 (T_{re}) 直腸温測定用のサーミスターセンサーを肛門部より約10cm挿入し測定を行った。
- ・鼓膜温 (T_{ty}) Masuda & Uchino^{8,13)}の開発による鼓膜温センサーを用いて測定を行った。

すべてのセンサーは自動精密温度測定装置（宝工業、K722）に接続し、その出力を15秒ごとにコンピュータに入力した。7ヵ所の皮膚温から平均皮膚温 (\bar{T}_{sk}) を、 \bar{T}_{sk} と T_{re} から平均体温 (\bar{T}_b) を以下の式を用いて算出した。

$$\bar{T}_b = 0.07 T_1 + 0.35 T_2 + 0.14 T_3 + 0.05 T_4 + 0.19 T_5 + 0.13 T_6 + 0.07 T_7$$

$$\bar{T}_b = 0.7 T_{re} + 0.3 \bar{T}_{sk}$$

ここで、 T_1 ：前額部皮膚温、 T_2 ：胸部皮膚温、 T_3 ：前腕部皮膚温、 T_4 ：手部皮膚温、 T_5 ：大腿部皮膚温、 T_6 ：下腿部皮膚温、 T_7 ：足部皮膚温

である。

呼吸循環器系機能：

- ・換気量 (\dot{V}_E) 酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}) 自動呼気ガス分析器（ミナト医科学、RM-300、RG-360）にて15秒ごとに測定を行った。
- ・心拍数 (HR) 胸部双極誘導法にて導出しテレメータ法により15秒間隔で測定した。

以上のすべて測定項目を以下に記す運動負荷中において測定した。

運動負荷条件：

運動負荷は自転車エルゴメータを用いて回転数60rpmとして行った。被験者は以前から自転車エルゴメータによる運動負荷に習熟しており、運動に対する慣れはすべての被験者で同等であったと認められる。

最大下の運動負荷を行うための相対強度を定めることを目的として、各被験者の最大酸素摂取量を低体温期相にて求めた。最大運動負荷試験のプロトコールは2分間30Wのウォーミングアップ後、1分ごとに15Wずつ負荷を増大し、被験者が回転リズムに同調できなくなるまでとした。この結果から、酸素摂取量と負荷強度の関係を求めて最大下の持続的運動負荷強度を設定した。

本報告では、最大酸素摂取量の60%を負荷強度とし30分間持続させるものとした。高体温期相での最大酸素摂取量は、低体温期相でのプロトコールと同一方法で同一時間まで運動を負荷させて求めた。したがって、高体温期の酸素摂取量は最大ではなくピーク値となった。また、各体温期相での最大酸素摂取量に差異が生じることと考え

られるが、この報告では論議を避けた。

1.3 統計処理

各体温相で得られた測定値の平均値の差の検定には、paired t-test を用いた。

2. 結果

2.1 各体温相における測定項目の安静時値

運動負荷前の安静時における各測定項目と、計算値の平均値とその標準誤差を表2に示した。安静時値は方法に記したように、入室後30分以上の椅座位安静後の5分間の平均値とした。低体温期(卵胞期)は高体温期(黄体期)に比べて、 \bar{T}_{sk} を除いて有意に低い温度値を示した(T_{re} , T_{ty} $P < 0.01$, \bar{T}_b $P < 0.05$)。 \bar{T}_{sk} は、低体温期には高体温期に比べて高い温度値であった($P < 0.05$)。呼吸循環器系機能の指標としての \dot{V}_E , \dot{V}_{O_2} およびHRは、高体温期は低体温期と比べ有意に高値を示した(\dot{V}_E , \dot{V}_{O_2} $P < 0.05$, HR $P < 0.01$)。

表2 Temperature, ventilatory and cardiovascular variables at the resting state before the exercise test performed at two different phases of the menstrual cycle

	Low	High	
T_{re} (°C)	36.90 ± 0.80	37.28 ± 0.06	**
T_{ty} (°C)	36.50 ± 0.15	36.84 ± 0.14	**
\bar{T}_{sk} (°C)	33.55 ± 0.14	33.41 ± 0.16	*
\bar{T}_b (°C)	35.92 ± 0.03	36.12 ± 0.05	*
\dot{V}_E (l/min)	7.49 ± 0.33	8.47 ± 0.42	**
\dot{V}_{O_2} (ml/kg/min)	3.53 ± 0.15	3.90 ± 0.34	*
HR (beats/min)	68.8 ± 7.9	75.9 ± 7.6	**

Mean ± SEM ** $P < 0.01$ * $P < 0.05$

2.2 運動負荷と酸素摂取量

各体温相での最大酸素摂取量(最高酸素摂取量)は低体温期 37.9 ± 3.3 ml/kg/min, 高体温期 37.7 ± 2.9 ml/kg/min (平均値 ± 標準誤差)であった。各体温相での運動負荷中の総酸素摂取量の差異(低体温期 - 高体温期)は $-2.63 \sim +15.5$

ml/kg (運動継続時間: 624 ~ 835 秒)の範囲にあり、総酸素摂取量に対して0.5%以下の差異であった。したがって、ほぼ同量の累積酸素摂取量であったと考えられる。

低体温期の最大酸素摂取量から見積った60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 時の負荷強度を、最大下の持続的運動負荷の負荷強度として用いたが、実際に測定された酸素摂取量は低体温期 $52.2 \pm 8.2\% \dot{V}_{O_{2max}}$, 高体温期 $54.1 \pm 8.5\% \dot{V}_{O_{2max}}$ となった。しかし、両値には有意差が観られず負荷強度は同程度であったと考えられる。

低, 高体温での30分間の持続的運動負荷中の総酸素摂取量は、 660.8 ± 121.8 ml/kg/30 min (低体温期), 656.3 ± 122.6 ml/kg/30 min (高体温期)であり両値に有意差は認められなかった。また、Rおよび30分間の総換気量にも両体温相で有意差が認められなかった。

以上の結果に、低体温期, 高体温期での運動負荷においてRに差異はなかったことと、総酸素摂取量に差異が観られなかったこと、また、仕事量を任意に規定したことから運動負荷中に発生する総熱量は各被験者の各運動種相互に同等であったと考えられる。

2.3 運動負荷時の体温変動

2.3.1 最大下強度での持続的運動負荷時

図1に被験者4名の各体温の平均値の経時的変化を示した。最大下の持続的運動負荷中の T_{re} , T_{ty} , \bar{T}_{sk} および \bar{T}_b は、低体温期と高体温期でほぼ同様の变化動態を示した。 T_{re} と T_{ty} において運動開始直後より、わずかな温度低下があり、その後運動終了時まで漸増した。最高値は運動終了後3分前後にあらわれた。 \bar{T}_{sk} では T_{re} と T_{ty} と同様に運動開始直後から低下した。その低下は、 T_{re} などに比較して大きく長い時間(5~6分)持続した。その後、漸増し運動終了時で運動開始前程度まで達した。最高値は運動終了後にあらわれた。

低体温期と高体温期での变化動態は似た傾向で

あったが、 T_{re} と T_{ly} では相対的な増加率に差異があり低体温期に大きな増加率であった。これに対し、 \bar{T}_{sk} は安静時値に対する相対変化は初期の減少相で一致したが、その後の増加率は高体温期で大きな変化率であった。

2.3.2 最大運動負荷時

図2に体温の経時的变化の典型例を示した。最大下での運動負荷と同様に、低体温相と高体温相での体温変動に同傾向がみられた。運動終了後に

それぞれ最高体温を示した。 \bar{T}_{sk} の運動中の持続的低下傾向を除くと、低体温相での運動負荷時における体温変動が大きな増加率を示した。

3. 考 察

運動負荷量（負荷強度×持続時間）を一定に規定した運動を、女性の体温周期の低体温期と高体温期に課し、体温変化動態について注目した。負荷した運動は負荷漸増法での疲労困憊に至るまで

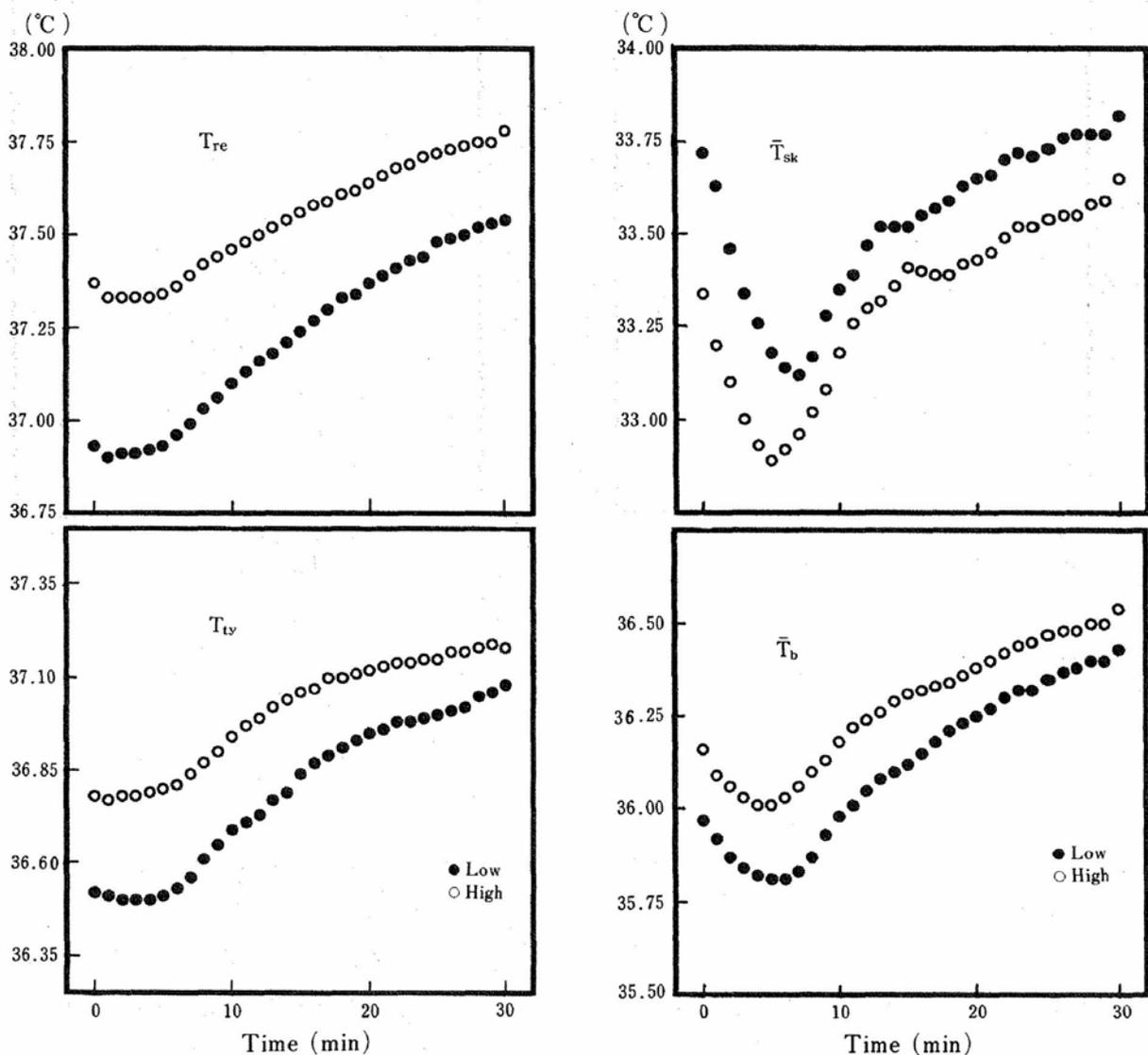


図1 Changes of T_{re} , T_{ly} , \bar{T}_{sk} and \bar{T}_b during submaximal prolonged exercise in the low (●) and the high (○) body temperature phases. Values are mean of 4 subjects

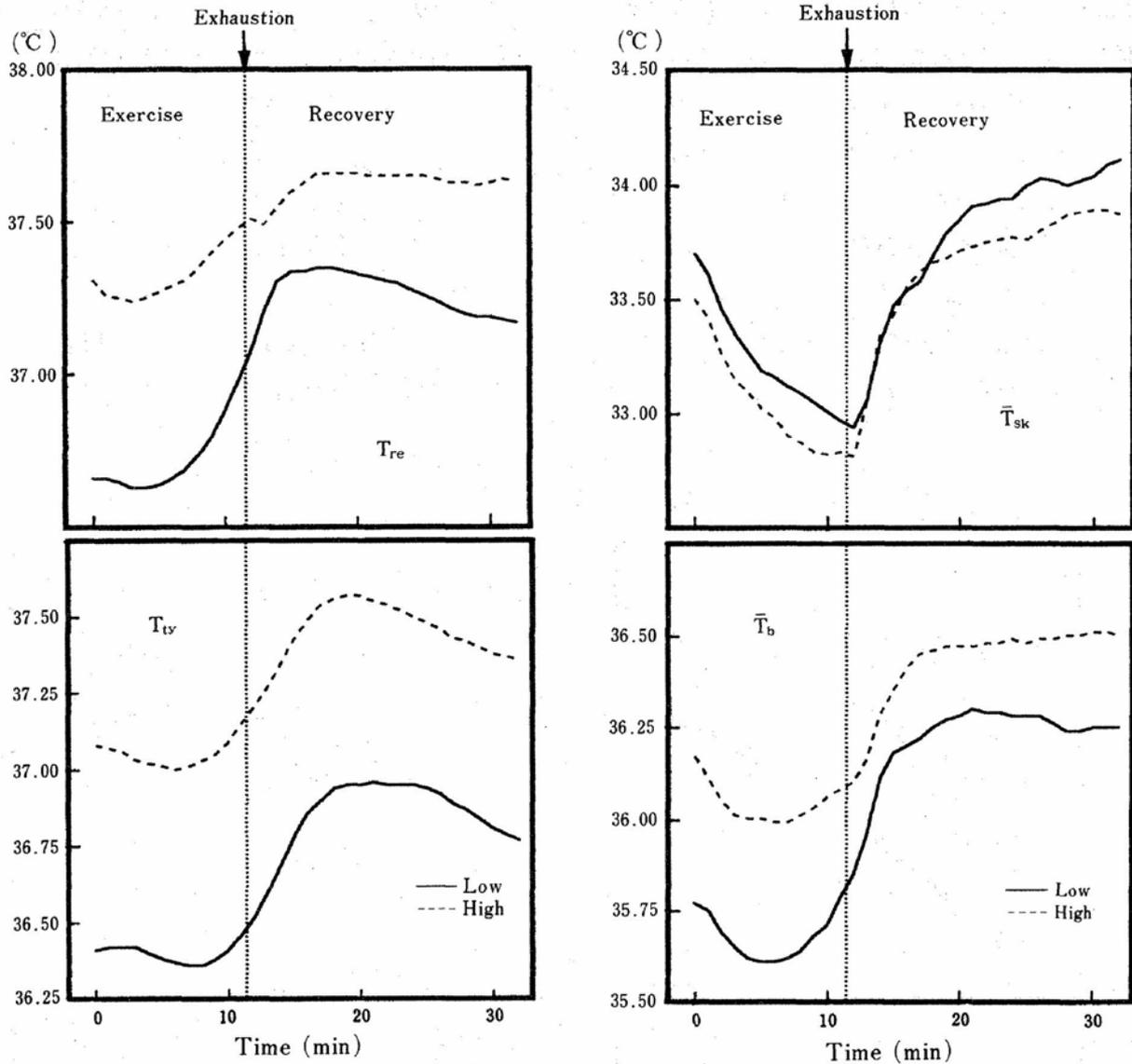


図2 Typical data in the changes of T_{re} , T_{ty} , \bar{T}_{sk} and \bar{T}_b during maximal exercise test in the low (—) and the high (---) body temperature phases

の最大運動と、最大下の持続的運動負荷の2種類を用いた。本報告の結果に挙げた被験者では、それぞれの運動種での総酸素摂取量とRは同値となり、熱源の燃焼による産生熱量の総量は同値であったと考えられた。

従来、性周期に伴う各体温相での運動負荷に対して、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_E 、心拍出量、R等の代謝および呼吸循環系要因は影響を受けなかった報告が多々なされ^{1,5,7)}、体温調節機能応答と代謝および呼吸

循環系機能応答の dissociation が示唆されている¹²⁾。本研究においても、同様な傾向、すなわち運動時において各体温相で \dot{V}_{O_2} 、R に差はみられなかった。しかし、運動負荷前の安静時においては、 \dot{V}_{O_2} に高体温期で有意に高い値が得られた。また、 T_{re} 、 T_{ty} も有意に高い値であり \dot{V}_{O_2} との間に関係が認められた。

安静時と運動時の結果の差異を本研究の範囲内で明らかにすることはできないが、最大運動負荷

時で低体温期の仕事を基準にして、高体温期の運動負荷を規定したところ、被験者は十分その基準まで運動を持続することができたから、高体温期における $\dot{V}O_{2\max}$ は今回よりも大きな値をとる可能性も考えられる。したがって、両者の明らかな dissociation を主張するには、さらに詳細な研究が必要であると考えられた。

本実験では、運動中の総熱産生量は両体温相で同等であったと考えられる。産生された熱量は、体温調節機構によりある量放熱され残りは貯熱される。 \bar{T}_b の変化量は低体温期より高体温期で小さかった (図 1, 2)。 \bar{T}_b の変化率は貯熱量に比例することから、高体温期では貯熱量が少なかったと考えられる。また、運動負荷実施前後の体重の差は最大運動、最大下運動いずれにおいても約 50 g 高体温期で大きかったことから低体温期より高体温期で放熱量が多い、すなわち貯熱量が少ないと考えられる。以上のことから、低体温期と高体温期では運動中の体温調節が異なる、すなわち “set-point” や “thermosensitivity” が変化する可能性が示唆される。高体温期では運動負荷時の発汗閾値、発汗率や皮膚血管拡張閾値が低体温期より高くなるという報告^{4,6,7)}がなされている。本実験結果はそれらの報告と軌を一にするものと考えられる。しかし、Pivarnik et al. (1992)⁹⁾ は、黄体期と卵胞期に 65% $\dot{V}O_{2\max}$ で 60 分間持続する運動を行わせたとき直腸温は、40 分目以降に低体温期より高体温期で上昇率が大きくなり、両期の差が大きくなると報告している。また、Grucza et al. (1993)⁴⁾ は、高体温期と低体温期に 50% $\dot{V}O_{2\max}$ で 45 分間持続する運動を行わせたところ、平均皮膚温は 15 分目以降に低体温期で大きく上昇し、両期の差が大きくなることを報告している。これらの報告と本研究の結果の差異の原因は明らかではない。実験実施時期を性ホルモンの定量をもとに決定するなど、実験条件の設定をより厳密にしてさらに研究を行っていく必要がある

う。

謝 辞

本研究は、財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団の研究助成によって実施されました。ここに深謝申し上げます。また、実験に際し被験者、験者としてご協力いただきました皆さまに感謝申し上げます。

文 献

- 1) De Souza, M. J., Maguire, M. S., Rubinn, K. R., Maresch, C. M.; Effects of menstrual phase and amenorrhea on exercise performance in runners, *Med. Sci. Sports Exercise.*, **22**, 575-580 (1990)
- 2) Frye, A. J., Kamon, E.; Responses to dry heat of men and women with similar aerobic capacities, *J. Appl. Physiol.*, **50**, 65-70 (1981)
- 3) Graham, C. E., Warner, H., Misener, J., Collins, D. C., Preedy, J. R. K.; The association between basal body temperature, sexual swelling and urinary gonadal hormone levels in the menstrual cycle of the chimpanzee, *J. Reprod. Fertil.* **50**, 23-28 (1977)
- 4) Grucza, R., Pekkarinen, H., Titov, E. K., Kononoff, A., Hanninen, O.; Influence of the menstrual cycle and oral contraceptives on the thermoregulatory responses to exercise in young women, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **67**, 279-285 (1993)
- 5) Horvath S. M., Drinkwater B. L.; Thermoregulation and menstrual cycle, *Aviat. Space Environ. Med.*, **53**, 790-794 (1982)
- 6) Hirashita, M., Hirai, A., Takahata, T., Nunomura, T., Nagasaka, T.; Shift of setpoint temperature to increase non-evaporative heat loss related to the menstrual cycle, *J. J. Aerospace Environ. Med.*, **21**, 29-34 (1984)
- 7) Hirata K., Nagasaka T., Hirai A., Hirashita M., Takahata T., Nunomura T.; Effects of human menstrual cycle on thermoregulatory vasodilation during exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**, 559-565 (1986)
- 8) Masuda, M., Uchino, K.; A device for measuring tympanic membrane temperature in man, *Jikeikai Med. J.*, **25**, 95-99 (1978)
- 9) Pivalnik, J. M., Marichal, C. J., Spillman, T.,

- Morrow, J. R., Jr.; Menstrual cycle phase affects temperature regulation during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **72**, 543-548 (1992)
- 10) Rothchild, I., Barnes, A. C.; The effects of dosage and of estrogen, androgen or salicylate administration on the degree of body temperature elevation induced by progesterone, *Endocrinology*, **50**, 485-496 (1952)
 - 11) Stephenson, L. A., Kolka, M. A.; Menstrual cycle phase and time of day alter reference signal controlling arm blood flow and sweating, *Am. J. Physiol.*, **249**, R186-191 (1985)
 - 12) Stephenson, L. A., Kolka, M. A., Wilkerson, J. E.; Metabolic and thermoregulatory responses to exercise during the human menstrual cycle, *Med. Sci. Sports Exercise*, **14**, 270-275 (1982)
 - 13) 内野欽司; ヒト鼓膜温の生理学的意義, *日本生理誌*, **51**, 387-404 (1989)