

性周期に伴う体温調節反応及び局所 作業持続時間の変動

Effect of menstrual cycle on thermoregulatory vasodilation
during exercise and local endurance exercise time

フェリス女学院大学 永田 道子
金城大学社会福祉学部 平下 政美

Michiko Nagata (Ferris University)
Masami Hirashita (Kinjo University)

Summary

The present study consists of two experiments. 1) To investigate the effects of the menstrual cycle and exercise on the relationship between nonevaporative heat loss from the hand (R^h+C^h) and rectal temperature (T_{re}). We studied a twenty-nine year old subject. The subject exercise at 35% V_{o2max} in the semi-supine posture at an ambient temperature of 25°C. Resting T_{re} was higher during the luteal phase than the follicular phase. There were no significant differences between the two phases in oxygen consumption, carbon dioxide production, heart rate at rest and during exercise. The slope of R^h+C^h - T_{re} relationship during the follicular phases was more rapid than the luteal phases. 2) To investigate the effect of the menstrual cycle on handgrip exercise performance time. The subjects were five females aged 24-37 years with a history of regular menstrual cycles. The strength of handgrip exercise was performed with 20% power. The handgrip exercise performance during follicular phases improved compared to the luteal phases. These results suggest that enhanced heat loss during the follicular phases improves exercise performance.

I 目的

ヒトの体温は、運動パフォーマンスに大きく関わっている。体温が上昇すると皮膚血流量が増加し皮膚表面からの熱放散量は増加するが骨格筋への血流量は減少するため運動パフォーマンスは低下する。一方、成人女性は、卵胞期における低体温相、黄体期における高体温相と基礎体温が周期的に二相性の変動を示す。体温は熱産生と熱放散のバランスに依存し、黄体期の高体温が安静時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) や炭酸ガス排泄量 ($\dot{V}CO_2$)、心拍数の増加など熱産生の亢進によると指摘した報告は多い^{7, 8, 15)}。しかし $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、HRなどを指標にして産熱系に両期で差がないとする研究も多い^{10, 16)}。体熱放散は主として蒸散性熱放散(発汗)と皮膚血流による非蒸散性熱放散によるが、運動時の発汗量や発汗発現時間などは両期で差はなく⁵⁾、性周期による影響は体温のセットポイントの変動による発汗発現閾値深部体温にのみ差が観察されるといづれの研究も一致した見解である⁶⁾。非蒸散性熱放散を比較した研究は極めて少ない^{10, 16)}。まして直接カロリメータによって両期の非蒸散性熱放散を比較した報告は皆無である。ストレンゲージ法から得た指血流量を指標として、非蒸散性熱放散には両期で差がないとする報告は見られるが¹⁰⁾、この場合熱負荷が大きすぎることや、被験者が大学1年生で有り、明確に性周期の影響を受けない可能性がある。このようなことから考えると正確に、しかも明確に毎月性周期が発現したかは疑問である。前述のごとく運動強度が大きい場合、体熱放散は発汗への依存性が増す。従って運動時の非蒸散性熱放散量を両期で比較するためには、発汗が伴わない様な運動条件及び環境条件を考慮する必要がある。さて、女性ホルモンの分泌動態は、大まかには卵胞期、黄体期で差はあるものの、それぞれの両期でもある程度の変動がある¹⁵⁾。従って体温調節反応とりわけ非蒸散性熱放散反応も両期内である程度異なることが予想される。本研究では、発汗を伴わない様な比較的軽い運動により、手からの熱放散量を性周期の1周期にわ

たり3日毎に測定し、非蒸散性熱放散量の変化を観察すること、さらに、その結果により、最も両期で運動時非蒸散性熱放散量が異なる日を決定し、発汗を伴わない様な局所運動（掌握運動）持久時間に性周期が影響するか否かについて検討した。

II 研究方法

以下の方法で2実験を行った。

実験A : 運動時非蒸散反応と性周期

- 1 被験者及び実験手順： あらかじめ3周期にわたり、早朝覚醒時に基礎体温をつけさせた被験者5名から最も正確に28日性リズムを示す成人女性で明確に2相性の体温変動を示した女性を選び被験者とした（表1）。被験者は実験日にはいずれの日も午前8時30分に気温25℃、相対湿度40%に設定した実験室に入室し、所定の測定装置を装着後、直腸温が一定になるまで30分間の安静を保った。その後座位姿勢にて $\dot{V}O_{2max}$ の35%強度の運動（35% $\dot{V}O_{2max}$ ）にて自転車エルゴメータ運動を行わせた。
- 2 測定項目：
 - ① $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ は呼気ガスの一部を毎分200mlサンプリングし、ガス分析計（1H21A：三栄測器）にて分析し、分時呼吸量（ \dot{V}_E ）から計算により求めた。
 - ② 直腸温（ T_{re} ）と全身皮膚温（ T_{sk} ） T_{re} は肛門から15cm挿入固定した直腸温専用サーミスタ（YSI）により連続記録した。 T_{sk} は皮膚温用サーミスタ（テクノセブン）により全身7箇所（前額、胸部、前腕部、手部、大腿部、下腿部、足部）を測定した。なお平均皮膚温（ T_{sk} ）を以下の式により算出した。 $T_{sk}=0.07T_1+0.35T_2+0.14T_3+0.05T_4+0.19T_5+0.13T_6+0.07T_7$ ただし、 T_1 ：前額、 T_2 ：胸部、 T_3 ：前腕部、 T_4 ：手部、 T_5 ：大腿部、 T_6 ：下腿部、 T_7 ：足部
 - ③ 心拍数（HR）：胸部双極誘導により導出した心電図出力を心拍

計に入力し、30秒間の平均値を算出して求めた。

- ④ 非蒸散性熱放散 ($R_h + C_h$) 直接カロリメータに手首を挿入し、手部を固定した左手からの $R_h + C_h$ を連続測定した。直接カロリメータの原理はBenzingerrら²⁾のものに基づいた。

表1 実験1における被験者の身体的特徴

Subject	Age (Yers)	Height (cm)	Weight (Kg)	BSA (m ²)	$\dot{V}O_{2max}$ (l·min ⁻¹)
RH	29	163.0	52.0	1.55	2.6

実験B : 局所運動パフォーマンスに及ぼす性周期の影響

- 1 被験者及び実験手順：被験者は健康で正常な性周期を示す成人女性5名とした（表2）。実験開始前に、あらかじめ早朝覚醒時に電子体温計により性周期の2周期にわたり舌下温を測定し、それに基づき被験者の高温相、低温相を決定し、運動負荷実験日を測定した。実験当日、被験者はセパレートタイプの水着のみを着用し、環境温度25℃、相対湿度40%に設定した人工気象室に入室後、椅座位にて20分間安静を保った後、食道温 (T_{es}) が一定になったのを確認した後、最大握力の20%に相当する負荷にて掌握運動を行った。

表2 実験2における被験者の身体的特徴

Subject	Age (Yers)	Height (cm)	Weight (Kg)	HGSmax (Kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (l·min ⁻¹)
M.S	35	153	48	32.3	2.1
S.T	27	158	48	29.0	2.2
T.M	37	157	47	29.0	2.1
Y.Y	24	162	52	33.5	2.3
R.H	29	163	53	35.5	2.6
Mean	30.4	158.6	49.6	31.9	2.2
±SD	5.46	3.61	2.41	2.9	0.2

2 測定項目：

- ① T_{es} 及び T_{sk} は、鼻腔から42cmの食道内に挿入固定した食道温専用サーミスタ（テクノセブン）により測定した。 T_{sk} は実験1と同様な方法で測定・算出した。
- ②指血流量（FBF）：Whitney型¹⁷⁾のストレンゲージを用い、静脈閉塞法により求めた。Silasticストレンゲージを用い、非運動側の左手中指先より1.5cmの部位に10gの張力で巻きつけ固定し、温度補償用ストレンゲージを同じ左手の薬指中間部に装着した。中指の静脈閉塞は、その指の基部に捲いたゴム製カフの加圧（20mmHg）によった。加圧は圧縮空気ポンペに接続したソレノイドバルブ操作によった。
- ③心拍数：実験1と同様な方法で算出した。
- ④掌握運動持久時間：掌握運動は、各被験者の最大握力（HGSmax）の20%の負荷に相当する床上の錘を鋼線でつないだ握力計により2cm持ち上げ、1秒間保持する運動を、2秒に1回の頻度で行わせた。掌握運動のペースは、青色、赤色ランプの点滅により規制した。疲労困憊に至る時間はストップウォッチで測定した。

Ⅲ 結果

実験A：運動時非蒸散反応と性周期の結果

図1に10分間の安静時における $\dot{V}O_2$ の平均値及び運動終了前10分間における $\dot{V}O_2$ の平均値を示した。安静時、運動時とも卵胞期に比べ黄体期は $\dot{V}O_2$ が増加する傾向が見られたものの有意な差ではなかった。

図2に安静時からの $R_h + C_h$ の変化分（ $\Delta R_h + C_h$ ）の経時的变化を示した。（ $\Delta R_h + C_h$ ）は卵胞期と黄体期ともに4Wから5Wの上昇を示し、両期で顕著な差は観察されなかった。

図3に安静時を0とした時の運動による直腸温の上昇分（ ΔT_{re} ）を示した。黄体期、卵胞期ともに運動により T_{re} はおよそ45分程度

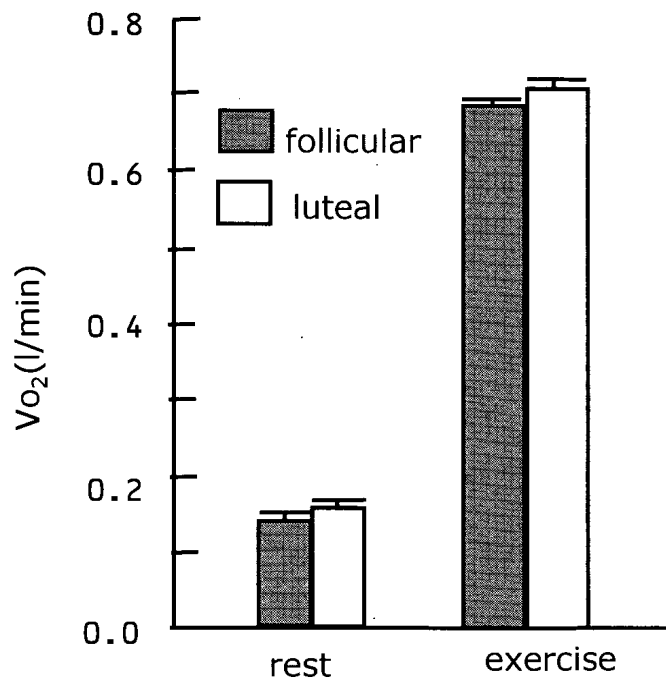


図1 10分間の安静時及び運動終了前10分間のVo₂の比較(■:卵胞期 □:黄体期) 平均值±SE

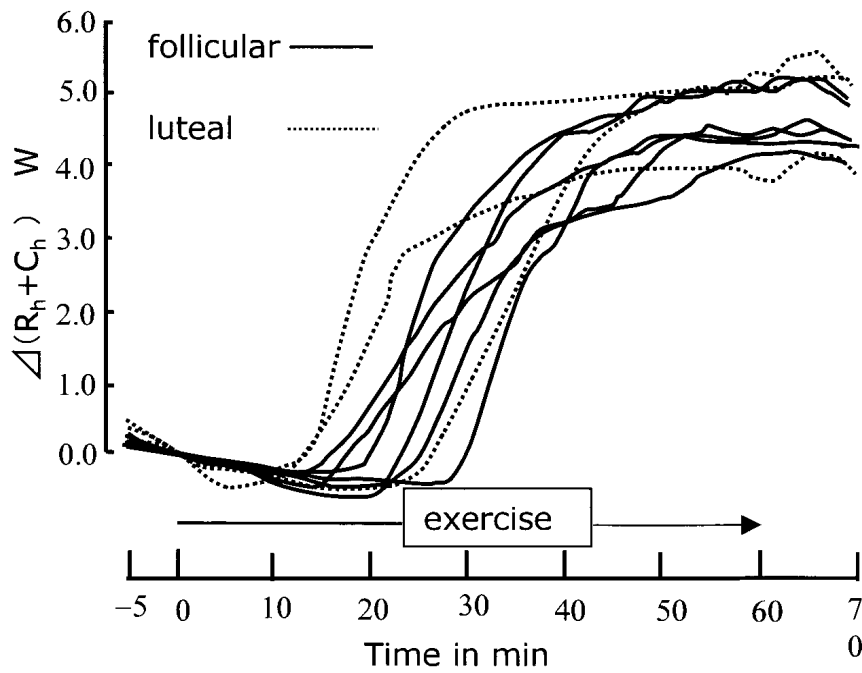


図2 安静時からのR_h+C_h(ΔR_h+C_h)の経時的变化 (—:卵胞期:黄体期)

上昇し、黄体期で $0.4^{\circ}\text{C}\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 、卵胞期では $0.2^{\circ}\text{C}\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ のレベルで定常状態を示した。

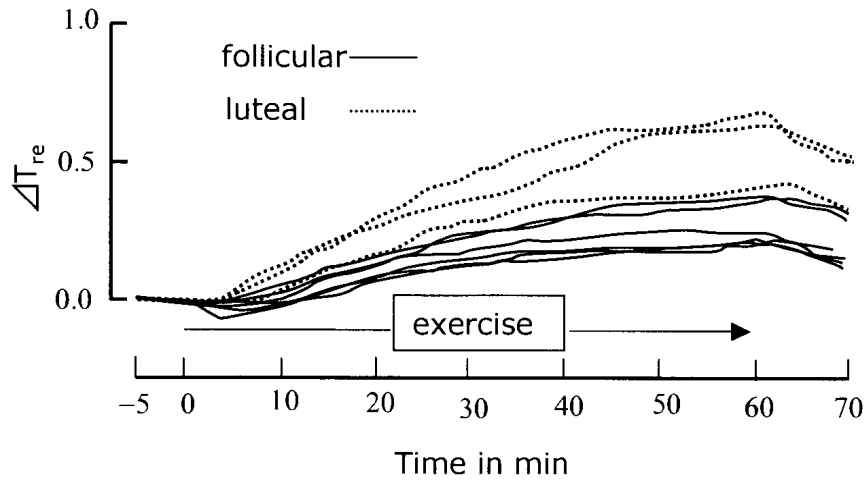


図3 安静時からの T_{re} (ΔT_{re})の経時的変化(— : 卵胞期
..... : 黄体期)

図4に $R_h + C_h$ が上昇に転じる時の閾値 T_{re} を示した。卵胞期における $R_h + C_h$ が上昇に転じる時の閾値 T_{re} はおよそ 36.4°C 、黄体期のそれはおよそ 37.4°C と黄体期での $R_h + C_h$ が増加する閾値直腸温は有意に高かった。

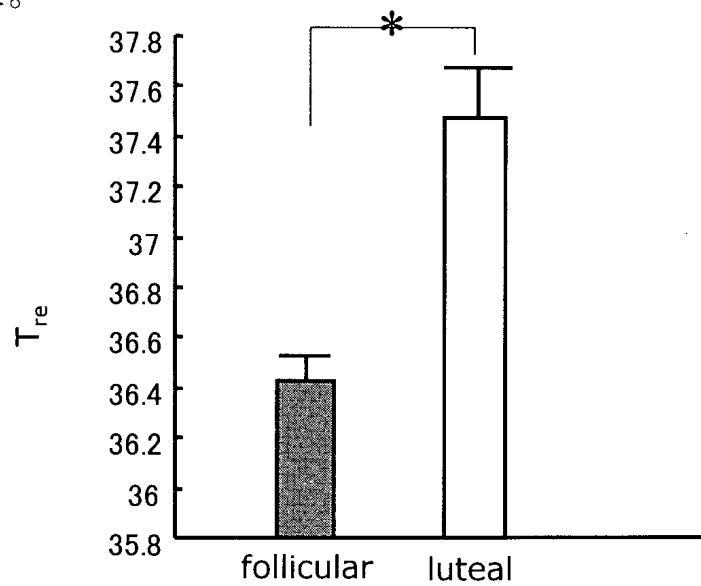


図4 $R_h + C_h$ が上昇し始める閾値 T_{re} の両期の比較 平均値 \pm SD * $P < 0.05$

図5に体温の ΔT_{re} に対する $R_h + C_h$ の増加する割合を示した。黄体期では2日間は ΔT_{re} に対する $R_h + C_h$ の増加する割合を示す直線の傾きは緩かった。卵胞期および黄体期の最終日はその傾斜は大きかった。

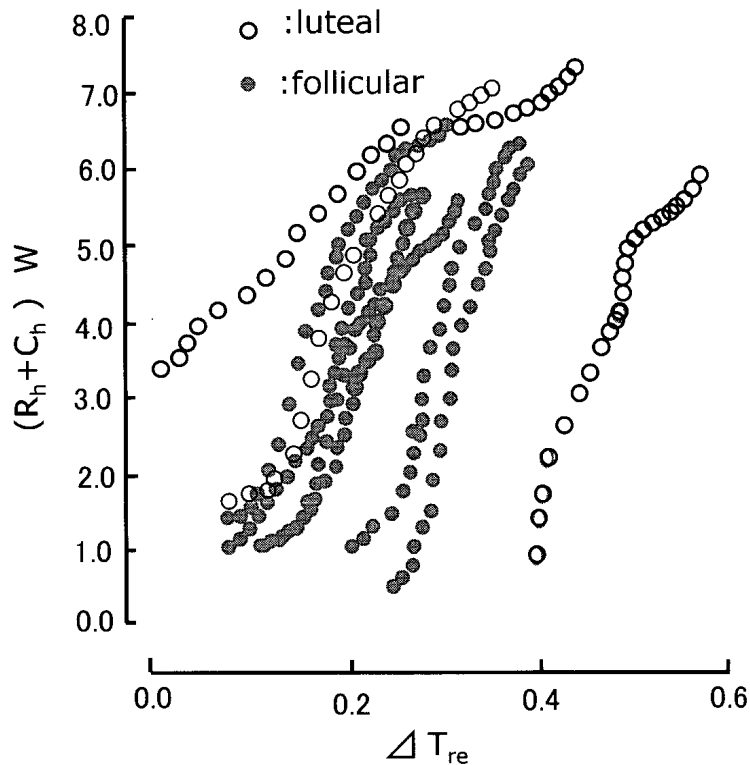


図5 ΔT_{re} および $\Delta T_{re} - R_h + C_h$ 間の関係
(● : 卵胞期、○ : 黄体期)

図6に図5で得られた T_{re} の上昇に対する $R_h + C_h$ が増加する割合を示す直線の傾きおよび安静時から T_{re} の変化分を経日的に示した。卵胞期では黄体期に比べその直線の傾き（傾斜）が大きく、特に卵胞期中間日から後期にかけてその傾斜は大きかった。黄体期では卵胞期に比べ傾斜は緩かったものの、黄体期終了日は傾斜が大きくなる傾向を示した。安静時からの T_{re} の変化分 ΔT_{re} は卵胞期中間日で少なく、それ以後は徐々に上昇し、黄体期中間日に最も高くなった。

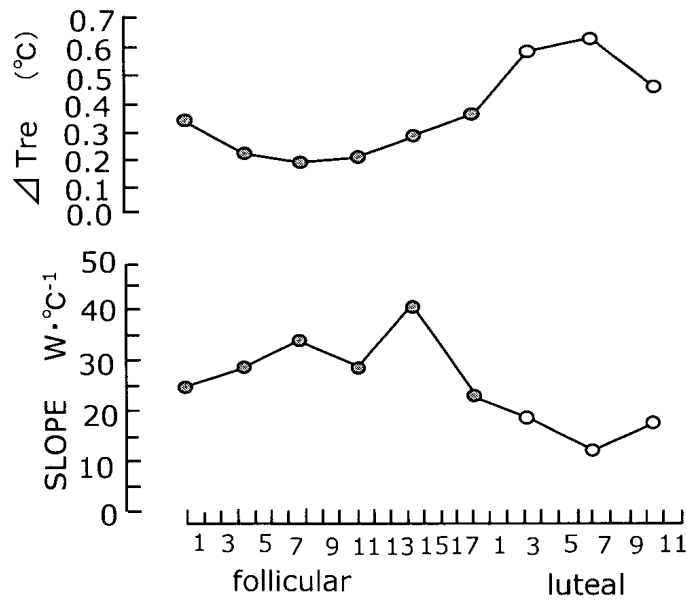


図6 ΔTre および $\Delta Tre-Rh+Ch$ 間の直線の傾斜の経日的変化(●:卵胞期、○:黄体期)

実験Bの結果 : 局所運動パフォーマンスに及ぼす性周期の影響

図7に掌握運動時間(平均値±SE, n=5)を示した。卵胞期では43.3分、黄体期では36.4分と卵胞期の方が黄体期に比べ掌握運動持久時間の有意な延長が認められた。

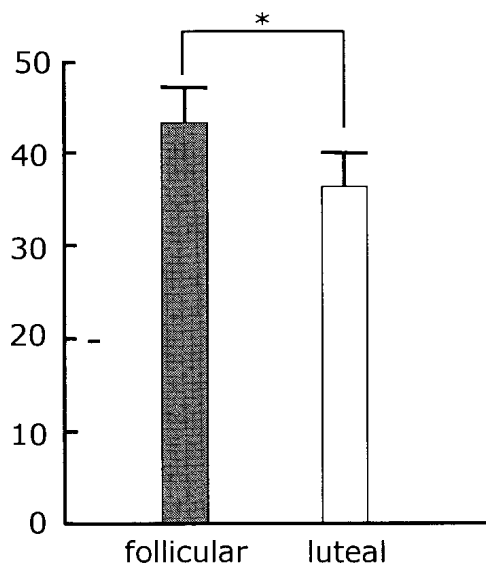


図7 卵胞期、黄体期における掌握運動持久時間の比較 平均値±SE P < 0.05 N=5

図8に掌握運動開始時から終了時までの T_{es} 、 T_{sk} 、FBF、HRの平均値を示した。 T_{es} は卵胞期に比べ黄体期は有意に高かった。しかし、 T_{sk} 、FBF、HRは両期で有意な差は観察されなかった。

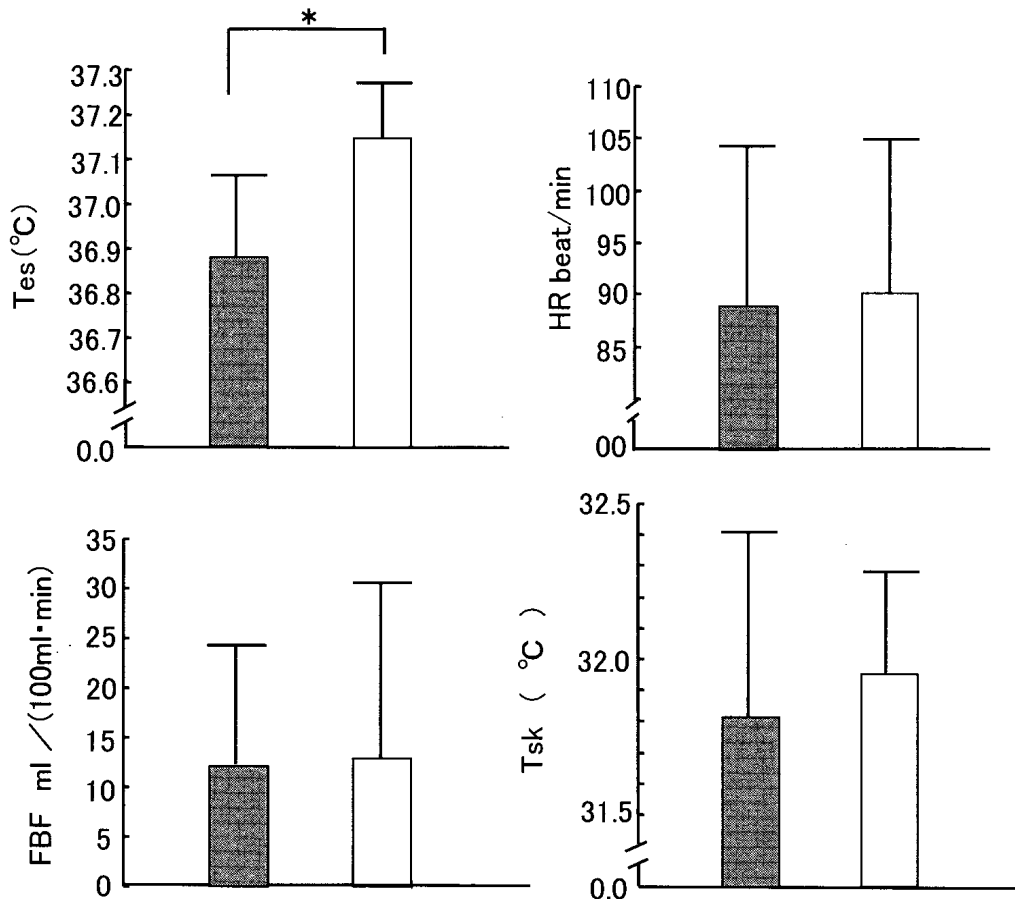


図8 掌握運動時中の T_{es} 、FBF、HR、 T_{sk} の平均値(■:卵胞期、□:黄体期)平均値±SE * : $P < 0.05$

IV 考察

運動時は、骨格筋での熱産生が増加し深部体温は上昇する。体内で産生された熱は血液により運搬されるが、体温が上昇すると、体温調節機構が刺激され熱放散部位である皮膚に大量の血液が分配されるようになる。ところが運動時にはエネルギー供給のため骨格筋(活動筋)への血流を増加させる必要が生じ、骨格筋と皮膚への血

流との間に競合が起こる。すなわち、運動時の体温調節機構は体温上昇による温熱刺激のみならず、体温とは無関係の非温熱性因子の影響¹¹⁾を受けることになる。一方、成人女性は性ホルモンの影響で高体温相と低体温相の2相性の体温変動を示す。本研究では女性の性周期に伴い運動時の非蒸散性熱放散量の経日的変化を観察し、その後、蒸散性熱放散が伴わないような手による末梢掌握運動をさせたその時の運動パフォーマンスが高温相、低温相いずれの時期により良いパフォーマンスを得られるかを検討することであった。図1に示したごとく安静時、運動時ともに、 $\dot{V}O_2$ には卵胞期に比べ黄体期の方が高い傾向を示したものの有意な差ではなかった。性周期によって熱産生 ($\dot{V}O_2$ や $\dot{V}CO_2$) が変化する報告^{13,18)} と変化しないとする報告^{5,9,10)} があり未だに一致した結論に至っていない。本結果でも5名の被験者ではあるが、黄体期に $\dot{V}O_2$ や $\dot{V}CO_2$ が増加する傾向を示したが、有意差は観察されなかった。この結果からは黄体期における性ホルモンの亢進が運動時や安静時の視床下部体温調節中枢に刺激し、熱産生や熱放散量を調節して体温を上昇させていることは十分考えられる。被験者数を増やしさらに検討が望まれる。

一方、熱放散系では、運動による非蒸散性熱放散量が増加し始める時間は黄体期が早い傾向にある様に見える。しかし運動開始後およそ45分以後の熱放散量には両期で明確な差は観察されなかった。図5に示した様に、卵胞期は黄体期に比べ T_{re} の上昇に対する $R_h + C_h$ の増加を表す直線の傾斜が大きい傾向が観察された。 T_{re} の上昇に対する $R_h + C_h$ の増加を表す直線の傾斜が大きいことは、同一の中枢性サーマルドライブに対して、大きい熱放散量で対応することを意味するが、図6で示すごとくこの T_{re} の上昇に対する $R_h + C_h$ の増加を表す直線の傾斜を経日的に見ると、卵胞期におけるその傾斜は卵胞期中間日から後半日に大きく、黄体期では中間期に傾斜が緩く、黄体期終了直前日は再び傾斜が増加しはじめる傾向が観察され、両期内でもある程度の変動があることが見て取れる。卵胞期に比べ黄

体期の体温の上昇に対する非蒸散性熱放散の反応性を見た報告には、その傾斜は両期で異なる結果⁹⁾と、その傾斜には両期で差がないとする報告¹⁰⁾が見られるが、これは前述のごとく黄体期、卵胞期内でもある程度のprogesteroneやestradiolの分泌量動態に変化があることや、あらかじめ計測した性周期が、実験そのものがストレスとなり性周期リズムが変動してしまうことによるものと思われる。事実本研究でも、被験者の性周期については実験前は、正確に28日の性周期を刻んだが、経日的な実験によっ性周期は影響されたと思われ、卵胞期の延長と黄体期の短縮が見られた。微弱なストレスであっても性周期に狂いが生じやすいことが、この種の実験を難しくさせているように思われる。いずれにしても本結果では、熱放散は両期で最も異なるのは、図6で示したごとく卵胞期、黄体期それぞれの期間の中間日に皮膚血管拡張の反応性が最も大きく異なると結論した。このような根拠に基づき、実験2で示したごとく両期の中間日を選択して、蒸散性熱放散が関与しない局所運動による掌握運動を行わせ、両期における非蒸散性熱放散反応が性周期に修飾されるかを示したのが図7である。事実、卵胞期は黄体期に比べ掌握運動時間が有意に延長した。しかし図8で示したごとく、運動時の皮膚血流量は両期で有意な差が観察されなかった。皮膚血流量は体温が高い場合は増加し、逆に低体温時のそれは減少する。従って体温が上昇している黄体期は、卵胞期に比べ皮膚血流量が増えると思われるが、実際は両期で差がなかった。これは黄体期における高体温時は熱放散が抑制されている方向にあることを示唆する。手は重要な熱放散部位である。本研究では皮膚血流量は指血流量で求めたが、その部位での皮膚血流量には有意差が観察されなかった。これは黄体期においては卵胞期に比べ体幹部の皮膚温が高く、末梢部が低いことを究明した山本¹⁸⁾ 1998の報告から考え合わせると、黄体期は熱放散部位に適した手指への還流量減少することが、あるいは運動による非温熱性因子の影響¹²⁾により、皮膚血流量とりわけ

手指への血液還流量が減少することに起因することが示唆される。一方 Jurkowski¹⁴⁾らは性周期に伴い自転車エルゴメータによる全身の大筋群が関与する運動時の、運動時間が卵胞期より黄体期で延長するとし、その要因を卵胞期の血中乳酸を指摘している。また性周期に伴い運動時血糖値を測定した報告¹⁾では安静時、運動時とも卵胞期に比べ、黄体期の血糖値が高く、黄体期における運動の優位性を指摘した報告と本研究は異なる結果である。しかし、本研究の運動が手の掌握運動で局所的であること¹³⁾、関与する筋肉量によって運動に対する生理的反応量が異なり、作業に参加する筋量や筋群の数が増加するにつれて有酸素的作業能も亢進すること、すなわち掌握運動で使用する筋量は全身運動に比べて著しく少ないことを考えると、卵胞期での局所的作業時間の延長は十分考えられる。

謝辞 この研究は科学研究費補助金（基盤研究C）課題番号13680061による研究成果の一部である。

文献

- 1) 跡見順子、「女性の運動生理」臨床スポーツ医学2（6）：654-665,1985.
- 2) Benzinger,T.H and C. Kizinger Temperature, its measurement and control in science and industry. 3(3) 87-109,1963.
- 3) Bittel,B.J and Henane,R Comparison of thermal exchanges in men and women under neutral and hot conditions. J.Physiol.,250:475-489,1975.
- 4) Cagnacci,A., Soldani,R., Laughlin, G,Aand Yen,S.S.C. Modification of circadian body temperature rhythm during the luteal menstrual phase.:role of melatonin. J.Appl.Physiol.,80:25-29,1996.
- 5) Fry,A.J and E.Kamon Responses to dry heat men and women with similar aerobic capacities. J. Appl. Physiol. 50 : 65-70, 1981.
- 6) Haslag,S.W.M and A.B. Hertman Temperature regulation in young women. J. Appl. Physiol. 20(6) : 1283-701288, 1965.
- 7) Hessemer, V,and, K. Bruck Influence of menstrual cycle on thermoregulatory metabolic and heart rate responses to exercise at night. J. Appl. Physiol. 59 (6): 1911-1917, 1985.

-
- 8) 平井敦夫、平田耕造、平下政美、高畑俊成、宮本智 性周期に伴う上肢作業時の呼吸・循環系応答、北陸体育学会紀要、23：40-44、1986.
 - 9) Hirashita,M., A, Hirai., T, Takahata., T.,Nunomura and T, Nagasaka Shift of set-point temperature to increase non-evaporative heat loss related to the menstrual cycle. *J.J.Aerospace. Environ.Med.*21:29-34.1984.
 - 10) Hirata, K., T, Nagasaka., M, Hirashita, T., Takahata and T. Nunomura Effects of menstrual cycle on thermoregulatory vasodilation during exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64 : 559-565,1986.
 - 11) Hirata, K., T, Nagasaka., Hirai A, M, Hirashita, and T., Takahata Suppression of finger vasodilator response during exercise in proportion to its intensity. In Hales JRS (ed) *Thermal physiology*. Raven Press, New York , 381-384,1984.
 - 12) Hirata, K., T, Nagasaka., Hirai A, M, Hirashita, and T., Takahata Cutaneous vascular tone during heat load modified by exercise intensity. *J Therm Biol* 9:117-120 1984
 - 13) Imai,K.,Sato,H., Hori,M., Kusuoka,H., Ozasi,H., Yokoyama,H., Takeda ,H., Inoue,M., Kamada,T. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J.Am.Coll.Cardiol.*, 24,1529-1535,1994.
 - 14) Jurkowski, J.E., N. L., Jones, C.J.,Toews and J.R. Sutton Effects of menstrual cycle on blood lactate, O₂ delivery and performance during exercise. *J. Appl. Physiol.* 51 : 1493-1499, 1981.
 - 15) 中村真理子、林貢一郎、相沢勝治、村井文江、目崎登 若年女性の月経周期に伴う心臓自律神経活動動態 体力科学 51 (3)、307~316、2002.
 - 16) Stephenson, L.A., M.A.,Kolka and J.E.Wilkerson. Metabolic and thermoregulatory responses to exercise during the human menstrual cycle. *Med.Sci. Sport. Exercise.* 14:270-275,1982.
 - 17) Whitney RJ The measurement of volume changes in human limbs. *J Physiol* 121: 1-127.
 - 18) 山本顕子、田村照子 体温調節の月経周期変動 日本生気象学会雑誌35 (1) : 45-52、1998.