

## 月経周期が漸増多段階運動負荷試験に伴う 脂質酸化量および全身持久力に与える影響

佐藤 未来<sup>1,2</sup>, 山口 太一<sup>1</sup>, 東郷 将成<sup>1,3</sup>, 保科 圭汰<sup>1,4</sup>  
八田 早那子<sup>1</sup>, 藤江 衣織<sup>1</sup>, 瀧澤 一騎<sup>5</sup>, 神林 勲<sup>6</sup>

### Effect of menstrual cycle on fat oxidation and endurance capacity with multistage incremental exercise test.

Miku Sato<sup>1,2</sup>, Taichi Yamaguchi<sup>1</sup>, Masanari Togo<sup>1,3</sup>, Keita Hoshina<sup>1,4</sup>  
Sanako Hatta<sup>1</sup>, Iori Fujie<sup>1</sup>, Kazuki Takizawa<sup>5</sup>, Isao Kambayashi<sup>6</sup>

#### Abstract

Introduction : The purpose of this study was to clarify the effects of menstrual cycle on fat oxidation and endurance capacity with multistage incremental exercise test in female students.

Methods : Eight female students (age  $20.4 \pm 0.8$  yr, height  $157.9 \pm 5.0$ cm, weight  $53.3 \pm 4.6$  kg, BMI  $21.4 \pm 1.6$ , peak oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2peak}$ )  $45.4 \pm 5.0$ ml/kg/min) with normal menstruation and exercise habits performed two times of multistage incremental exercise test in the follicular and luteal phases. The fat oxidation and  $\dot{V}O_{2peak}$  were determined using indirect calorimetry. Before and after the test, blood sampling was collected to measure female hormones, blood lipids and hormones related to lipid metabolism.

Results : Female hormones showed typical changes in menstrual cycle. Peak fat oxidation, exercise intensity at peak fat oxidation,  $\dot{V}O_{2peak}$ , blood lipids and hormones related to lipids metabolism did not differ between phases of menstrual cycle.

Conclusion : The results of this study suggested that the menstrual cycle had no effects on fat oxidation and endurance capacity with multistage incremental exercise test in female student.

**key words:** menstrual cycle, fat oxidation, exercise intensity

- |  |  |
|--|--|
| 1. 酪農学園大学<br>〒069-8501 北海道江別市文京台緑町582                | 1. Rakuno Gakuen University<br>582 Midorimachi, Bunkyodai, Ebetsu, Hokkaido,<br>069-8501                             |
| 2. 帯広大谷短期大学<br>〒080-0335 北海道河東郡音更町希望が丘3-3            | 2. Obihiro Otani Junior College<br>3-3 Kibougaoka, Otohuke-cho, katou-gun,<br>Hokkaido, 080-0335                     |
| 3. 立命館大学<br>〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1                | 3. Ritsumeikan University<br>1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577   |
| 4. 環太平洋大学<br>〒709-0863 岡山県岡山市東区瀬戸町観音寺721             | 4. International Pacific University<br>721 Kanonji, Seto-cho, Higashi-ku, Okayama,<br>Okayama, 709-0863              |
| 5. 身体開発研究機構<br>〒060-0061 北海道札幌市中央区南1条西5丁目<br>愛生館ビル5階 | 5. Institute of Physical Development Research<br>Nishi 5-chome, Minami 1-jo, Chuo-ku, Sapporo,<br>Hokkaido, 060-0061 |
| 6. 北海道教育大学札幌校<br>〒002-8502 北海道札幌市北区あいの里5条3丁目         | 6. Hokkaido University of Education Sapporo<br>5-3 Ainosato, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 002-8502                    |

著者連絡先 山口 太一  
taichi@rakuno.ac.jp

## I. 背景

女性は生殖生理機能として月経周期を有している。月経周期とは月経開始日より次の月経が始まる前日までの期間を繰り返すサイクルのことである。月経周期は主に女性ホルモンのエストロゲンとプロゲステロンの増減により調節されている。月経周期のフェーズの分け方にはいくつかのパターンがあるが、代表的なものとして、排卵前を卵胞期、排卵後を黄体期と2つに分ける方法がある(須永, 2018)。卵胞期の前半はエストロゲンとプロゲステロンがともに低値を示し、後半はエストロゲンのみが高値を示す。また、黄体期はエストロゲンとプロゲステロンがともに高値を示す(須永, 2018)。このような女性ホルモンの周期的な変動が心身に様々な影響をもたらすとされる。

月経周期が心身に及ぼす影響のひとつとして、エネルギー代謝および基質利用への影響がある。先行研究では、安静時代謝および食事誘発性熱産生が卵胞期と比較し黄体期で高値を示したこと(Matsuo et al., 1998)が報告されている。また、運動時のエネルギー基質利用については、最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\text{max}$ )の60%強度における60分間の定常負荷運動時の脂質酸化率が黄体期で高値を示したこと(Hackney et al., 2000)が明らかとなっている。この結果には、エストロゲンが運動時の骨格筋における $\beta$ 酸化経路の活性を促進させる作用を持つことやプロゲステロンがインスリン抵抗性を高めることが関連していると考えられている(須永, 2017)。このように女性ホルモン自体の濃度変化が定常負荷運動時の脂質代謝に影響を及ぼすことが示唆されている(須永, 2017)。また、須永(2018)は、卵胞期と比較し黄体期で、65% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度における60分間の定常負荷運動時に血中糖原性アミノ酸濃度が低値を示したことを報告している。糖原性アミノ酸は脱アミノ化を受けた後、クエン酸回路を経てグルコースの再合成に利用されるアミノ酸であり、定常負荷運動時のエネルギー供給に関与する(須永, 2018)。これらのことから、月経周期は安静時および定常負荷運動時のエネルギー基質利用に影響を与え、運動時の脂質酸化量に関しては卵胞期よりも黄体期で増大することが示唆されている。

他方、運動時のエネルギー基質利用は運動強度の影響も強く受ける。漸増多段階運動負荷試験時、低強度および中強度の運動負荷では脂質酸化量が多く、運動強度が高くなるにつれて脂質酸化量が減少して糖質酸化量が増加する(Brooks et al., 1994)。今日までこのような漸増多段階運動負荷試験時の運動負荷強度の変化に伴う脂質酸化量に影響を与える因子について検討がなされてきた。Fletcher et al. (2017)は試験開始4日前から食事調査を行い、脂質酸化量と栄養素摂取量との関係性を検討した結果、運動強度の変化に伴う脂質酸化量の最大値と糖質摂取量との間に負の相関関係、脂質摂取量との間

に正の相関関係が認められたことを報告している。また、運動強度の変化に伴う脂質酸化量は、運動開始45分前に糖質飲料を摂取することで、絶食時と比較し低値を示すことが報告されており(Achten and Jeukendrup, 2003)、栄養摂取状況の影響を受けると考えられる。さらに、性差に関するレビュー(Maunders et al., 2018)では、除脂肪体重あたりの運動強度の変化に伴う脂質酸化量が男性と比較し女性で高値を示すことが報告されている。その他にも、運動強度の変化に伴う脂質酸化量は、女性運動競技者で非運動競技者と比較し高値を示すこと(Stisen et al., 2006)、自転車エルゴメータを用いた高強度インターバルトレーニングを12週間行なった結果、トレーニング前と比較し増加したことが報告されている(Bagley et al., 2016)。しかしながら、運動強度の変化に伴う脂質酸化量に影響を与える全ての因子は明示されているとは言えず(Randell et al., 2017)、運動時のエネルギー基質利用に影響を及ぼすと考えられる月経周期の影響は明らかになっていない。定常負荷運動時は、黄体期の方が卵胞期よりも脂質酸化量を増大させやすいことが示唆されているが、漸増多段階運動負荷時においても月経周期のフェーズの違いが運動強度の変化に伴う脂質酸化量に相違をもたらし、脂質を利用しやすいフェーズの存在が確認されれば、脂肪を減らすために行う運動強度と運動を実施すべきフェーズがあることを示唆することができる。

そこで本研究では、女子大学生を対象に月経周期の卵胞期および黄体期に漸増多段階運動負荷試験を行い、運動強度の変化に伴う脂質酸化量に相違が生じるかを明らかにすることを目的とした。また、月経周期のフェーズの違いと漸増多段階運動負荷試験が糖質および脂質の代謝、加えて、それらの利用にかかわるホルモンの変化に及ぼす交互作用についても調べることにした。さらに、運動中のエネルギー基質利用は全身持久力にも影響を及ぼし得ることから月経周期のフェーズが漸増多段階運動負荷試験における最高酸素摂取量ならびに運動継続時間に及ぼす影響も検討することとした。

## II. 方法

### 1. 対象者

運動習慣があり、正常月経周期を有する女子大学生8名(年齢  $20.4 \pm 0.8$ 歳, 身長  $157.9 \pm 5.0$ cm, 体重  $53.3 \pm 4.6$ kg, BMI  $21.4 \pm 1.6$ , 体重当たりの最高酸素摂取量:  $\dot{V}O_2\text{peak}$   $45.4 \pm 5.0$  ml/kg/min)が被験者として参加した。すべての被験者は経口避妊薬を使用した経験はなく、内科的・婦人科的疾患を有するものはいなかった。すべての被験者に対し、実験の目的および危険性について説明を行い、書面にて実験参加の同意を得た。なお、本研究は酪農学園大学における人を対象とする医学系研究倫理審査委員会により承認(15-9)を得て実施した。

## 2. 実験の概要

本研究は卵胞期および黄体期に1回ずつ、計2回の運動負荷試験を行なった。2回の実験の順序は各被験者でランダムにした。被験者には運動負荷試験前12時間以内のアルコール、カフェインおよび香辛料の摂取を禁止した。また、実験は各被験者において同一の時間帯で実施し、実験当日、栄養素摂取の影響をなくするため、6時間前に同一の規定食（エネルギー：681kcal、たんぱく質：16.5g、脂質：16.4g、炭水化物：116.6g、たんぱく質：脂質：炭水化物エネルギー比=10：22：68）を摂取させた。実験室来室後、運動負荷試験を実施し、運動中の呼気ガスを採取した。また、運動開始前、運動開始から3分ごと、運動終了直後に、心拍数、主観的運動強度（rate of perceived exertion：RPE）、糖質関連項目の血糖値および乳酸値を測定した。運動中の血糖値ならびに乳酸値の測定は、乳酸値が4 mmol/lを超える時点まで行った。また、運動前および運動直後に脂質関連項目、脂質の分解にかかわるホルモン濃度および酸素運搬能力の指標を測定するために、看護師が肘正中皮静脈血の採取を行なった。実験環境は温度24℃、相対湿度50%に設定した。

## 3. 月経周期の決定

各被験者における月経周期および月経状況を確認するために月経の持続日数および月経周期についてアンケート調査を行なった。実験開始1ヶ月以上前から実験終了まで電子体温計（テルモ電子体温計W525、テルモ株式会社）を用いて、毎朝起床時に舌下にて基礎体温を測定させ、確認を行った。卵胞期の実験は、月経終了後、排卵前の低体温期内に、黄体期の実験は高体温期に入ってから、それぞれ各被験者の予定に合わせて実施した。最終的な月経周期の各フェーズ（卵胞期および黄体期）の

確認は、実験当日の運動前に採取した血液より分析したエストロゲンの一種である血中エストラジオールおよびプロゲステロン濃度により行なった。

## 4. 運動負荷試験

運動負荷試験のプロトコルを図1に示す。運動負荷試験は自転車エルゴメータ（エアロバイク 75XL II、コンビウエルネス株式会社）による漸増多段階運動負荷試験とした。各被験者は心拍数計のセンサー（H1 トランスミッター、Polar社）および呼気ガス分析装置（AE-300S、ミナト医科学株式会社）のマスクを装着した。自転車エルゴメータ上で1分間安静にしたのちに30Wで3分間のウォーミングアップ（W-up）を実施した。その後、3分ごとに20Wずつ漸増するステップ負荷にて疲労困憊まで追い込んだ（Achten et al., 2002）。ペダリングの回転数は毎分60回転に維持するよう指示した。疲労困憊の判定基準は、1）回転数が毎分50回転を下回った時点、2）心拍数が最大心拍数（220-年齢）を上回った時点、あるいは3）被験者が運動継続困難となった時点のいずれかを満たした場合とした。疲労困憊までの運動継続時間をストップウォッチ（HSB-100W-IJH カシオ社）を用いて測定した。

## 5. 呼気ガス採取および分析

呼気ガス分析装置（AE-300S、ミナト医科学株式会社）を用いて運動時の換気量、酸素摂取量（oxygen uptake： $\dot{V}O_2$ ）および二酸化炭素排出量（carbon dioxide output： $\dot{V}CO_2$ ）を10秒ごとに測定し、酸素摂取量の最高値をpeak  $\dot{V}O_2$ （ $\dot{V}O_{2peak}$ ）として定量した。脂質酸化量は、たんぱく質酸化はないものと仮定し、3分間の各運動負荷における最後の2分間の $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ の平均値をFrayn (1983)の式に代入して算出した。

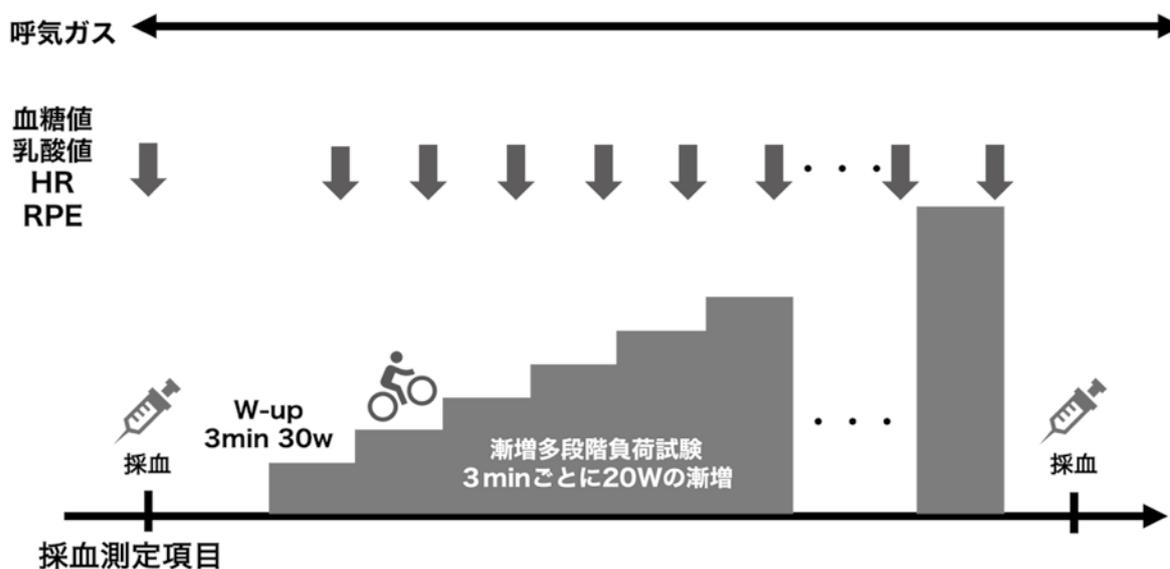


図1 本研究の漸増多段階運動プロトコル

また、算出された脂質酸化量の最高値ならびにその時の運動負荷を $\dot{V}O_{2peak}$ に対する相対値で示した運動強度( $\% \dot{V}O_{2peak}$ )を求めた。

### 6. 心拍数および主観的運動強度

心拍数は心拍数計 (FT-1, Polar社) を用いて運動前, 3分間の各運動負荷の終了10秒前および運動終了直後に記録した。RPEはBorgスケール (Borg, 1973) を用いて心拍数と同時点に記録した。

### 7. 採血および血液生化学検査

血中の糖質に関連する項目である血糖値および乳酸値は指先血を採取して測定した。血糖値の測定にはグルテストNeoスーパー (GT-1820, 株式会社三和化学研究所) を使用し, 乳酸値の測定にはラクテート・プロ2 (LT-1730, アークレイ株式会社) を用いた。また, 女性ホルモンのエストラジオールおよびプロゲステロン, 血中の脂質に関連する指標の中性脂肪, 総ケトン体および遊離脂肪酸, 脂質分解利用にかかわる血中ホルモン指標のアドレナリン, ノルアドレナリン, 成長ホルモンおよびコルチゾール, 血中の酸素運搬能力の指標のヘモグロビンおよびヘマトクリットの血液生化学分析は肘正中静脈より各項目の分析方法に従い, 血清分離剤入り真空採血管, EDTA-2K入り真空採血管あるいはEDTA-2Na入り真空採血管に計12.5ml採取した。1回の実験で肘正中静脈からの採血は2度行われたため, 総採血量は25mlであった。なお, すべての分析は外注依頼 (札幌臨床検査センター株式会社) した。

### 8. 統計解析

全ての項目は平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。月経フェーズ間の測定値の比較には対応のあるt検定を行った。また, 月経フェーズ間の漸増負荷運動中および運動前後の測定値の推移の比較には重複測定分散分析を行なった。すべての統計解析は, 統計ソフトエクセル統計Statcel3 (オーエムエス出版) を使用し, 有意水準は $p < 0.05$ で判定した。

## III. 結果

### 1. 月経周期および各フェーズにおける血中女性ホルモン濃度の比較

被験者の月経周期の平均値は $29.9 \pm 2.8$ 日であった。また, 卵胞期および黄体期における実験はそれぞれ月経周期の $14.5 \pm 6.0$ 日目および $27.5 \pm 5.1$ 日目に行われた。エストラジオールは卵胞期で $104.0 \pm 74.7$ pg/ml, 黄体期で $123.4 \pm 65.3$ pg/mlであり, 条件間で有意な差は認められなかった(図2,  $p = 0.67$ )。プロゲステロンは卵胞期で $0.22 \pm 0.19$ ng/mlであったのに対し, 黄体期で $5.33 \pm 4.39$ ng/mlと黄体期で有意に高い値を示した (図2,  $p = 0.02$ )。

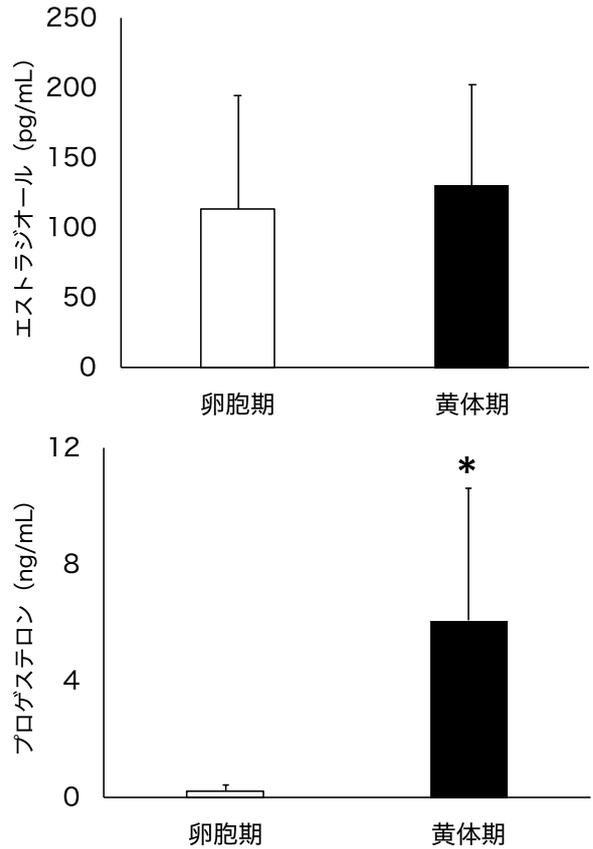


図2 卵胞期と黄体期のエストラジオールおよびプロゲステロンの比較  
\*  $p < 0.05$  卵胞期 vs. 黄体期

### 2. 各フェーズにおける脂質酸化量の比較

運動強度と脂質酸化量との関係を図3に示した。両条件とも運動開始直後の $30\% \dot{V}O_{2peak}$ 付近で脂質酸化量の最高値が確認され, 有意な差は認められなかった。脂質酸化量の最高値は卵胞期で $0.275 \pm 0.06$  g/min, 黄体期で $0.263 \pm 0.05$  g/min ( $p = 0.72$ )。脂質酸化量が最高値の時の運動強度は卵胞期で $31.4 \pm 4.6\% \dot{V}O_{2peak}$ , 黄体期で $29.7 \pm 2.3\% \dot{V}O_{2peak}$ であった ( $p = 0.16$ )。

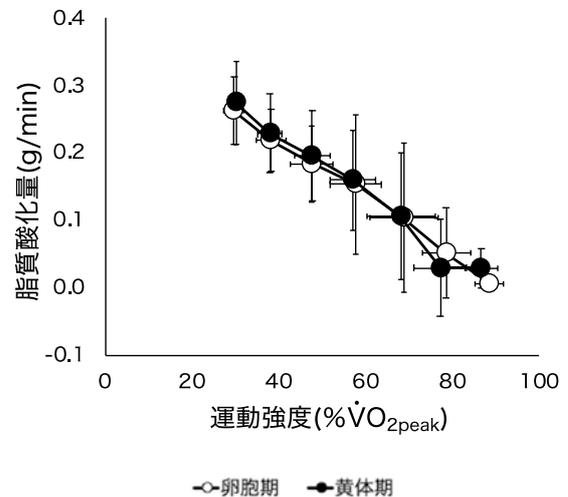


図3 月経周期における運動強度と脂質酸化量との関係

表1 月経周期の各フェーズにおける換気量, 心拍数およびRPEならびに血糖値, 乳酸値の継時的変化の比較

	運動前	W-up	3分	6分	9分	12分	15分	運動後
換気量 (ℓ / 分)								
卵胞期	8.0± 1.0	18.9± 1.4	23.5± 1.8	29.7± 1.7	35.8± 2.4	44.2± 3.3	55.9± 5.7	85.6±17.9
黄体期	7.9± 1.7	17.7± 2.0	23.9± 1.9	29.4± 1.8	35.5± 2.4	43.4± 3.1	55.4± 4.7	85.2±12.4
心拍数 (bpm)								
卵胞期	73.9±13.3	98.1± 7.8	111.4±11.7	129.6±13.6	145.9±14.3	159.0±14.1	172.5±11.9	185.3± 9.9
黄体期	70.0± 7.9	98.3± 4.4	109.5± 6.4	126.9± 9.3	142.0±11.6	159.3±10.7	171.4± 9.7	183.8±10.6
RPE								
卵胞期	6.4± 2.2	8.0± 1.3	9.0± 1.4	10.3± 1.9	11.9± 0.9	13.8± 1.0	16.3± 1.5	19.6± 0.5
黄体期	6.9± 0.6	8.0± 0.6	9.4± 1.4	11.4± 1.1	13.0± 0.9	14.4± 1.4	16.5± 1.7	19.6± 0.5
血糖値 (mg/dℓ)								
卵胞期	88.8± 6.9	91.0± 9.1	92.1±10.2	93.8±11.1	92.5±11.5	—	—	111.8±24.3
黄体期	89.5±11.3	87.5±12.0	85.8± 9.1	88.4±11.8	88.3± 8.9	—	—	109.8±21.8
乳酸値 (mmol/ℓ)								
卵胞期	1.2± 0.3	1.9± 0.8	1.5± 0.4	1.7± 0.6	2.4± 1.0	—	—	11.0± 2.8
黄体期	1.2± 0.2	1.5± 0.2	1.5± 0.3	1.7± 0.4	2.3± 0.9	—	—	11.9± 2.4

表2 月経周期の各フェーズにおける運動前後の血中の脂質関連項目, 脂質分解にかかわるホルモンおよび酸素運搬関連指標の変化の比較

	運動前	運動後
中性脂肪 (mg/dℓ)		
卵胞期	51.8 ± 16.2	55.9 ± 16.5
黄体期	57.5 ± 14.3	61.3 ± 18.9
総ケトン体 (μ mol/ℓ)		
卵胞期	96.4 ± 99.5	85.8 ± 48.4
黄体期	91.5 ± 112.3	74.0 ± 43.2
遊離脂肪酸 (mEq/ℓ)		
卵胞期	612.1 ± 274.8	851.9 ± 278.1
黄体期	550.1 ± 172.9	782.6 ± 188.6
アドレナリン (pg/ml)		
卵胞期	28.9 ± 17.2	64.3 ± 30.4
黄体期	25.3 ± 10.5	53.9 ± 16.0
ノルアドレナリン (pg/ml)		
卵胞期	271.9 ± 126.8	838.5 ± 160.0
黄体期	274.1 ± 136.0	752.1 ± 353.5
成長ホルモン (μ g/dℓ)		
卵胞期	6.8 ± 4.4	13.9 ± 8.8
黄体期	3.0 ± 2.5	15.6 ± 7.3
コルチゾール (μ g/dℓ)		
卵胞期	8.8 ± 3.5	18.4 ± 3.1
黄体期	7.8 ± 2.1	13.6 ± 3.2
ヘモグロビン (g/dℓ)		
卵胞期	12.7 ± 0.6	13.8 ± 0.7
黄体期	13.0 ± 0.7	13.9 ± 0.4
ヘマトクリット (%)		
卵胞期	41.0 ± 2.6	45.6 ± 2.7
黄体期	41.2 ± 2.5	44.8 ± 1.5

### 3. 各フェーズの全身持久力, 運動継続時間, 換気量, 心拍数およびRPEの比較

$\dot{V}O_{2peak}$  は卵胞期で  $45.9 \pm 5.0 \text{ ml/kg/min}$ , 黄体期で  $44.9 \pm 5.3 \text{ ml/kg/min}$  であり, 条件間に有意な差は認められなかった ( $p=0.32$ ). 運動継続時間についても, 卵胞期で  $1125.5 \pm 110.4$  秒, 黄体期で  $1117.1 \pm 137.4$  秒であり, 条件間に有意な差は認められなかった ( $p=0.62$ )

また全被験者の測定値を取得できた運動15分までおよ

び運動終了時の換気量, 心拍数およびRPEの継時的変化を表1に示した. いずれも条件間で有意な交互作用は認められなかった (換気量:  $p=0.98$ , 心拍数:  $p=0.95$ , RPE:  $p=0.87$ ). 最大心拍数は卵胞期で  $185.3 \pm 9.9 \text{ bpm}$ , 黄体期で  $183.8 \pm 10.6 \text{ bpm}$  であり, 条件間で有意な差は認められなかった ( $p=0.62$ ).

### 4. 運動時の血糖値および乳酸値, 運動前後の血中脂質関連項目, 脂質分解に関わるホルモンおよび酸素運搬関連項目の比較

全被験者の測定値を取得できた運動9分までおよび運動終了時の血糖値, 乳酸値の継時的変化を表1に示した. 条件間で有意な交互作用は認められなかった (血糖値:  $p=0.97$ , 乳酸値:  $p=0.78$ ).

また, 運動前後の中性脂肪, 総ケトン体および遊離脂肪酸の推移を表2に示した. 全ての項目に有意な交互作用は認められなかった (中性脂肪:  $p=0.89$ , 総ケトン体:  $p=0.85$ , 遊離脂肪酸:  $p=0.93$ ).

脂質分解に関わるホルモンとしてアドレナリン, ノルアドレナリン, 成長ホルモンおよびコルチゾールの運動前後の推移を表2に示した. 全ての項目に有意な交互作用は認められなかった (アドレナリン:  $p=0.44$ , ノルアドレナリン:  $p=0.53$ , 成長ホルモン:  $p=0.19$ , コルチゾール:  $p=0.09$ ).

運動前後のヘモグロビンおよびヘマトクリットの推移を表2に示した. いずれの項目においても, 有意な交互作用は認められなかった (ヘモグロビン:  $p=0.45$ , ヘマトクリット:  $p=0.28$ ).

## IV. 考 察

エストラジオールは, 卵胞期と黄体期の間で有意な差が認められなかった. 一般的に月経周期における女性ホルモン動態は, 卵胞期に低値, 黄体期で高値を示すが, エストラジオールは卵胞期における排卵前にも高値を示す. また, プロゲステロンは卵胞期と比較し黄体期で有意に高い値を示したものの (図2), 先行研究におけ

る黄体期のプロゲステロン濃度よりも低値傾向であった (Matsuo et al., 1998, Hackney et al., 2000). 黄体期におけるプロゲステロンの動態は排卵後より上昇し, 黄体期中期で高値となり, 月経前に低値に戻る特徴を持つ. 本研究の被験者の月経周期は $29.9 \pm 2.8$ 日であり, 卵胞期および黄体期における実験はそれぞれ月経周期の $14.5 \pm 6.0$ 日目および $27.5 \pm 5.1$ 日目に行われた. よって, 各被験者の2回の実験は卵胞期および黄体期の各フェーズで実施されたことは確かであるが, 月経周期の日数および女性ホルモン動態から考えると卵胞期および黄体期の各フェーズの後半で行われたと考えるのが妥当であろう.

本研究の漸増多段階運動負荷試験における運動強度の増大に伴う脂質酸化量の推移に卵胞期と黄体期との間で相違が認められなかった (図3). よって, 正常月経および運動習慣を有する女子学生は, 運動によって脂質を利用しやすいフェーズやフェーズの違いによって漸増多段階運動負荷試験によって同定される脂質を利用しやすい運動強度が少なくとも卵胞期後半と黄体期後半とでは相違が認められないことが示唆される. この要因として, 本研究ではエストラジオールにフェーズ間で相違が認められなかったことが関与している可能性が考えられる. エストラジオールは運動時に骨格筋の $\beta$ 酸化経路の活性を促進する機能を持っているとされる (須永, 2017). また, 運動前後の血中の糖質関連項目 (血糖値および乳酸値), 脂質関連項目 (中性脂肪, 総ケトン体および遊離脂肪酸) および脂質分解に関連するホルモン (アドレナリン, ノルアドレナリン, 成長ホルモンおよびコルチゾール) の変化においても卵胞期と黄体期との間で有意な差は認められなかった (表1および2). これらの結果も, 月経周期のフェーズの相違が本研究で用いた漸増多段階運動負荷試験時の脂質利用に相違を生じなかったことを裏付けている.

一方, 須永 (2018) は卵胞期および黄体期に $65\% \dot{V}O_2\max$ 強度で60分間の定常負荷運動を行ったところ, 黄体期でエネルギー基質利用に関与する血中糖原性アミノ酸であるアラニン, スレオニン, グルタミンおよびプロリンが運動30分目に低値を示したことを報告している. また, Hackney et al. (2000) は, 月経周期の各フェーズにおいて $60\% \dot{V}O_2\max$ 強度で60分間の定常負荷運動を行い, 運動中の糖質および脂質の酸化率を比較したところ, 卵胞期と比較し黄体期で脂質の酸化率が増大したことを報告した. 加えて, 須永 (2017) は $60\% \dot{V}O_2\max$ 強度で30分の定常負荷運動に伴うノルアドレナリンの変化が卵胞期に比べて黄体期で高値を示したことを報告している. ノルアドレナリンの分泌の増加は脂肪分解を促進することが知られている. 本研究ではノルアドレナリンも含め, アドレナリン, 成長ホルモンおよびコルチゾールなどの脂質分解に関わるホルモンの運動前後の変化にフェーズ間で相違が認められなかったが (表2), 30分以上の長時間の定常負荷運動については月経周期の

フェーズの違いが運動に伴うノルアドレナリン分泌の変化に相違を生むことが示されており (須永, 2017), エネルギー基質利用に相違を生じさせる可能性がある. よって, 今後は各対象における脂質酸化量が最高値となる運動強度を用いて, 30分以上の定常負荷運動時の脂質酸化率や脂質酸化量が卵胞期および黄体期でどの程度異なるのかについて明らかにすることでより良い脂質利用のための運動指針の提言につながると考えられる.

本研究では全身持久力の指標である $\dot{V}O_2\max$ および運動継続時間にも月経周期間で差は認められなかった. Janse de Jonge (2003) のレビューにおいて, 卵胞期と黄体期との間で $\dot{V}O_2\max$ に有意な差は認められなかったとする先行研究が多数を占めることが報告されている. この背景として,  $\dot{V}O_2\max$ の主な決定要因には, エネルギー基質利用に加え, 呼吸循環器系の機能が関与すると考えられており, 運動中の心拍数および換気量, 血中のヘモグロビンおよびヘマトクリットは月経周期の相違の影響を受けないことが指摘されている (Janse de Jonge, 2003). 本研究においても, 運動時の心拍数および最大心拍数, 換気量の継時的変化 (表1) ならびに運動前後のヘモグロビンおよびヘマトクリットの変化 (表2) に月経周期間で相違は認められなかった. よって, 本研究ではこれらの $\dot{V}O_2\max$ の主な決定要因も含め, 月経周期の違いは全身持久力に相違を生まないという先行研究を支持する結果が得られた.

本研究の限界として, 2回の実験が卵胞期および黄体期の後半に行われたことがある. エストラジオールの濃度が明確に異なる月経終了直後の卵胞期やプロゲステロン濃度が最も上昇する黄体期中期に同様の検討を行うことで本研究の結果とは異なる結果が得られる可能性が考えられる. また, 本研究では月経期を除いた卵胞期に実験を実施したが, 月経期における検討も必要であろう. 加えて, 対象者が運動習慣を有する女子大学生であったことから, 対象者の全身持久力 ( $\dot{V}O_2\max$ :  $45.4 \pm 5.0$  ml/kg/min) が同年齢の $\dot{V}O_2\max$ の平均値 (35ml/kg/min) と比較し, 高かった. そのため, 今回の結果は全ての体力レベルや様々な運動習慣を有する女性を対象に適用できる結果ではないことが考えられる. 今後は被験者数を増やすとともに, 全身持久力や運動習慣を考慮し, 本研究と同様の検討をすることが必要となるであろう.

## V. 要約 (和文)

本研究の目的は健康成人女性における卵胞期および黄体期に漸増多段階運動負荷試験を実施し, フェーズ間における運動強度の変化に伴う脂質酸化量ならびに全身持久力の相違について明らかにすることであった. 本研究の結果, 卵胞期後半および黄体期後半のフェーズ間で運動強度の変化に伴う脂質酸化量の推移に相違は認められず, 血中の糖質および脂質関連項目および脂質分解に関

わるホルモンの推移にも有意な差は認められなかった。また  $\dot{V}O_2$  peak および運動継続時間にも有意な差は認められなかった。よって、本研究の結果から、少なくとも卵胞期後半および黄体期後半のフェーズの相違は漸増多段階運動負荷試験におけるエネルギー基質利用には影響を及ぼさず、運動強度の変化に伴う脂質酸化量の推移ならびに全身持久力に相違を来さないことが示唆された。

## VI. 参考文献

- Achten J., Gleeson M., and Jeukendrup A. E. (2002) Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34 : 92-97.
- Achten J., and Jeukendrup A. E. (2003) The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *J. Sports Sci.*, 21 : 1017-1024.
- Bagley L., Slevin M., Bradburn S., Liu D., Murgatroyd C., Morrissey G., Carroll M., Piasecki M., Gilmore W. S., and McPhee J. S. (2016) Sex differences in the effects of 12 weeks sprint interval training on body fat mass and the rates of fatty acid oxidation and  $\dot{V}O_2$  max during exercise. *BMJ Open Sport Exerc. Med.*, 2 : e000056.
- Borg G. A. (1973) Perceived exertion : a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5 : 90-93.
- Brooks A. G., and Mercier J. (1994) Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise : the "crossover" concept. *J. Appl. Physiol.*, 76 : 2253-2261.
- Fletcher G., Eves F. F., Glover E. I., Rbinson S. L., Vernooij C. A., Thompson J. L., and Wallis G. A. (2017) Dietary intake is independently associated with the maximal capacity for fat oxidation during exercise. *Am. J. Clin. Nutr.*, 105 : 864-872.
- Frayn K. N. (1983) Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 55 : 628-634.
- Hackney A. C., Muoio D., and Meyer W. R. (2000) The effect of sex steroid hormones on substrate oxidation during prolonged submaximal exercise in women. *Jpn. J. Physiol.*, 50 : 489-494.
- Janse de Jonge X. A. (2003) Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Med.*, 33 : 833-851.
- Matsuo T., Saitoh S., and Suzuki M. (1998) Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis during each phase of the menstrual cycle in healthy young women. *J. Clin. Biochem. Nutr.*, 25 : 97-107.
- Maunder E., Plews D. J., and Kilding A. E. (2018) Contextualising maximal fat oxidation during exercise : determinants and normative values. *Front. Physiol.*, 9 : 599.
- Randell R. K., Rollo I., Roberts T. J., Dalrymple K. J., Jeukendrup A. E., and Carter J. M. (2017) Maximal fat oxidation rates in an athletic population. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 49 : 133-140.
- Stisen A. B., Stougaard O., Langfort J., Helge J. W., Sahlin K., and Madsen K. (2006) Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 98 : 497-506.
- 須永美歌子 (2017) 月経周期を考慮したコンディショニングサポート. *女性心身医学*, 22 : 145-148.
- 須永美歌子 (2018) 運動生理学からみた月経周期がコンディショニングに与える影響—月経周期を考慮した栄養摂取は必要か?—. *日本スポーツ栄養研究誌*, 11 : 3-9.

〔令和元年5月10日 受付〕  
〔令和元年9月3日 受理〕