

〔研究ノート〕

健康な女子大学生の安静時代謝における 月経周期に伴う変動についての予備的研究

春田暁子・山中健太郎

Preliminary Study on Fluctuation of Resting Metabolic Rate according to
Menstrual Cycle in Healthy Female University Students

Akiko HARUTA and Kentaro YAMANAKA

In previous studies, it is controversial whether basal metabolic rate in females fluctuates according to their menstrual cycle. Therefore, in this study, we measured resting metabolic rate (RMR) of six healthy female university students for about one month and evaluated the fluctuation pattern according to their menstrual cycles. Participants measured basal body temperature at supine position immediately upon awakening every day. During the recording period, RMR was measured by indirect calorimetry at least 3 times per week. Fluctuation patterns of basal body temperature and RMR as related to the menstrual cycle were analyzed by sinusoidal curve fitting. The results showed that, for all participants, basal body temperature fluctuated according to the menstrual cycle and was the highest during the luteal phase. On the other hand, the peak of the RMR fluctuation occurred in luteal phase for 4 participants and in the follicular phase for 2 participants. These results indicate that RMR in females does not necessarily fluctuate according to the menstrual cycle. We suggest that the RMR may be maintained at a relatively constant rate by means of the mechanism to compensate for fluctuation of body temperature as related to the menstrual cycle.

Key words: menstrual cycle (月経周期), resting metabolic rate (安静時代謝), basal body temperature (基礎体温), respiratory quotient (呼吸商), indirect calorimetry (間接熱量測定)

緒 言

女性の健康を考える上で月経周期に伴う様々な心身の変動についての理解を深めることが重要である。黄体期に基礎体温が高温になることは周知の事実であるが、それ以外にも、食事摂取量は排卵日付近で最も低くなり、黄体期でピークに達することが示されている¹⁾。一方で、女性の基礎代謝 (Basal metabolic rate: BMR)・安静時代謝 (Resting metabolic rate: RMR) は、基礎体温の変動に応じて変動することが予想されるにもかかわらず、月経周期に応じた変動が確認されたとする報告^{2, 3)}だけ

でなく、確認されないとする報告^{4, 5)}もあり、一貫した結果が得られていない。

BMR とは人が何もせずじっとしていても消費する、生きていく上で必要な生命活動に要するエネルギー消費量とされている。BMR を直接熱量測定で計測するには大掛かりな装置が必要であるため、多くの場合は間接熱量測定法で計測する。その場合、12 時間以上摂食していない (通常は起床直後の) 仰臥位安静の覚醒状態で 15~30 分間呼気ガスを測定し、酸素摂取量 (VO₂) と二酸化炭素排出量 (VCO₂) から、Weir の式⁶⁾を用いて推定する。この推定式の妥当性も確認されている⁷⁾。しかし、実際にこの

ように厳格に規定された測定条件を継続的に確保するのは困難であるため、近年では仰臥位あるいは椅座位安静状態で計測する RMR を用いることが多くなっていて、RMR は BMR の 0.9~1.2 倍程度の値となるとされており⁸⁾、日本人の食事摂取基準(2010年版)では 1.1 倍が使用されている⁹⁾。

BMR および RMR と女性の月経周期の関係を調べた先行研究として、Webb (1986) は 10 名の 20~40 歳代の参加者を対象に、スーツ熱量計を使用した直接熱量測定法と呼気ガス測定による間接熱量測定法で、24 時間エネルギー消費量を算出したところ、10 名中 8 名は排卵後の黄体期に 8~16% 増加することを報告した²⁾。また、Curtis et al. (1996) は、健康な女性 12 名において間接熱量測定法を用いて 5 週間、週末を除いて毎日 BMR を測定した結果、12 名中 9 名の女性で黄体期後期に高く、12 名中 8 名の女性で卵胞期前期に低くなり、卵胞期前期の BMR は黄体期後期の BMR よりも有意に低いことを示した³⁾。一方で、Henry et al. (2003) は間接熱量測定法により、19 名の参加者の RMR を週に 3 回以上測定したところ、月経周期の黄体期に RMR が上がり卵胞期に下がる傾向を示す参加者もみられたが、全体として有意な差はなかったと報告した⁴⁾。また、日本において末田ら (2006) が、27 名の女子大学生の月経期、卵胞期、排卵期、黄体期のそれぞれの時期に、1 回ずつ間接熱量測定法を用いて安静時消費エネルギー (RMR と同義) を測定した結果、有意な月経内周期変動は認められないと報告した⁵⁾。

月経周期と代謝に関する研究として日本人女性を対象に少なくとも 1 サイクルの月経周期を含む長期間継続的に RMR を測定したものは、我々の調べた限りなかった。そこで、本研究では健康な日本人女子大学生において、毎日の基礎体温計測と 3~4 回/週のできるだけ同時刻・同条件で測定した VO_2 と VCO_2 から間接熱量測定法により RMR を算出した。そこから月経周期に関連した安静時代謝の月内変動パターンと基礎的知見を得ることを目的とした。

方 法

実験参加者

実験参加者は、同意を得た健康な女子学生 6 名 (年齢: 22.4 ± 1.5 歳, 身長: 165.1 ± 6.5 cm, 体重: 56.0 ± 8.2 kg) で、経口避妊薬等の服用がなく、喫煙していないことを事前に確認した。実験方法・手順に関しては昭和女子大学倫理委員会の承認を得た (承認番号: 13-18)。実験期間は約 5 週間で参加者には毎日、基礎体温の記録をし、月経開始日も記入してもらった。月経開始日については、5 週間の測定期間中だけでなく、必要に応じて 1 周期前と 1 周期後についても確認した。そして参加者は実験室を週に 3 回以上訪れ、15 分間椅座位安静状態での RMR 測定を行った。RMR 測定は測定しない日を 3 日以上連続させないようにした。

手順

参加者は研究の前後に Inbody J10 (Biospace Japan Inc.) を用いて形態計測 (身長・体重) を行った。参加者は測定期間中、小数点以下第 2 位まで測定できる基礎体温計 (WOMAN[®] C531, テルモ[®]) を用いて、起床直後に安静仰臥位で基礎体温を計測し、測定時間とともに記録した。またその間、最低週に 3 回、昼食前に実験室に来て呼気ガス測定用のマスクを装着し、肺運動負荷エアロモニタ AE-310s (ミナト医科学[®]) を用いて椅座位安静状態での VO_2 、 VCO_2 を 15 分間測定した。同時にベッドサイドモニタ BSM-2401 (日本光電[®]) を用いて心拍数 (Heart rate: HR) を 15 分間測定し、大きな HR の変動がなく精神的ストレスが少ない落ち着いた状態であることを確認した。測定日の朝食は通常通り摂取してもらうが、測定の 2 時間前までには済ませるよう指示した。休暇などで実験室に来室できない場合に限り、持ち運び可能な呼気ガス分析装置 FIT-2100 (日本光電[®]) を用いた VO_2 測定で代替した。

安静時代謝 (RMR) の算出

エアロモニタ AE-310s で 15 分間測定した VO_2 、 VCO_2 から、最初の 5 分間を除いた 10 分間の平均

値を算出した。それらの値を下記の Weir の式⁶⁾に代入して1分あたりの RMR を算出した。

$$\text{RMR}(\text{cal}/\text{min}) = 3.9 \times \text{VO}_2(\text{ml}/\text{min}) + 1.1 \times \text{VCO}_2(\text{ml}/\text{min})$$

これを以下の計算式で1日の RMR に換算した。

$$\text{RMR}(\text{kcal}/\text{day}) = \frac{(\text{RMR}(\text{cal}/\text{min}) \times 60(\text{min}) \times 24(\text{hour}))}{1000}$$

持ち運び可能な呼気ガス分析装置 FIT-2100 を用いた測定では、VO₂のみ測定可能であった。この場合、まず15分間測定したVO₂の結果から、最初の5分間を除いた10分間のVO₂の平均値を算出した。次に、2つの装置で測定されたVO₂の値に差がある傾向が認められたため、それぞれの機材で測定したVO₂の比を用いて補正を行った。そして、エアロモニタ AE-310s で測定したVO₂とVCO₂から算出した呼吸商 (respiratory quotient: RQ = VCO₂/VO₂) の各個人ごとの平均値を用いてVCO₂を推定した。最後に測定したVO₂と上記の手順で推定したVCO₂を用いて、Weirの式から1日のRMRを推定した。

月経周期と基礎体温・安静時代謝(RMR)・呼吸商(RQ)の関係の分析方法

参加者間で月経周期の長さは多様であるため、月経開始日を0、次の月経開始日を1として月経周期を標準化した。次に、標準化した測定日に対し、基礎体温・RMR・RQを示した散布図を、1周期分ではなく前後1周期にも同じデータを用いて月経周期が-1~2までの3周期分作成した。その後、測定

値はすべて月経周期に応じて周期1で振動するものと仮定し、以下の正弦曲線を表す式に最もよく適合する a , b , c の値を、最小二乗法を用いて算出した。

$$y = a \sin(2\pi \cdot x - b) + c$$

このとき、 $|a|$ が振動の振幅、 $b/2\pi + 1/4$ が振動のピーク出現時点、 c が振動の平均値を表すものであった。また、最小二乗法の適合を示す指標として、残差平方平均平方根 (Root mean square of residual: RMSR) も算出した。

結 果

基礎体温の測定は33日~40日間継続して行われた。その間、RMRの測定は16~18回行った。VO₂のみの代替測定は4名の参加者で1~5回行った。残りの2名の参加者はすべてVO₂とVCO₂の両方を測定した。参加者のうち5名の月経周期は28~38日で正常の範囲内であった。1名のみ43日であったが、基礎体温の変化には周期性が認められたので他の参加者と同様に分析した。

全参加者の各測定値の周期的変動の振幅・ピーク時点・平均値・RMSRを表1にまとめて示した。基礎体温は周期的な変動を示し、全参加者で共通して周期の後半(黄体期に相当する時期)にピークが出現し(0.831±0.048(平均±SD))、その範囲は0.761~0.882であった(図1)。振幅は0.207±0.088°C、平均は36.394±0.197°Cであった。RMSRは0.161±0.036°Cと振幅より小さく、基礎体温のデータが正弦曲線によく適合していることを示していた。一方、RMRには全参加者に共通した月経周期に応じた変

表1 全実験参加者の基礎体温・安静時代謝(RMR)・呼吸商(RQ)に適合させた正弦曲線の周期変動の性質を示す係数および残差平方平均平方根(RMSR)

参加者	基礎体温				安静時代謝 (RMR)				呼吸商 (RQ)			
	振幅	ピーク	平均	RMSR	振幅	ピーク	平均	RMSR	振幅	ピーク	平均	RMSR
A	0.246	0.870	36.301	0.163	28.1	0.413	1204.7	80.1	0.022	0.780	0.827	0.038
B	0.243	0.841	36.487	0.144	11.9	0.359	1351.3	82.6	0.027	0.710	0.856	0.022
C	0.103	0.785	36.377	0.171	24.6	0.865	1403.7	44.5	0.012	0.762	0.885	0.026
D	0.160	0.842	36.664	0.098	55.9	0.903	1453.1	53.6	0.039	0.830	0.761	0.030
E	0.147	0.761	36.456	0.201	23.6	0.676	1293.1	49.5	0.037	0.612	0.892	0.038
F	0.346	0.882	36.079	0.186	32.1	0.842	1501.5	56.1	0.038	0.950	0.865	0.023

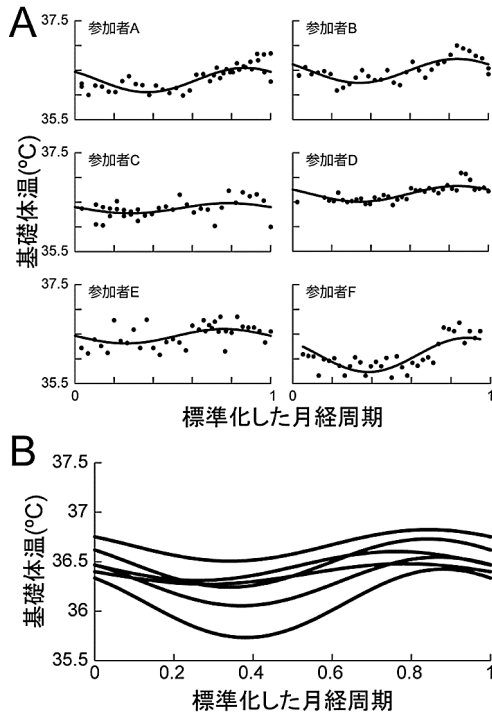


図1 全実験参加者の基礎体温の変動 Aは参加者6名それぞれの基礎体温の計測値と適合させた正弦曲線を示したもの。Bは参加者6名の正弦関数を1つのグラフに重ねて示したもの。縦軸は°C、横軸は月経の1サイクルを示し、0は月経開始日、1は次の月経開始日を表す。

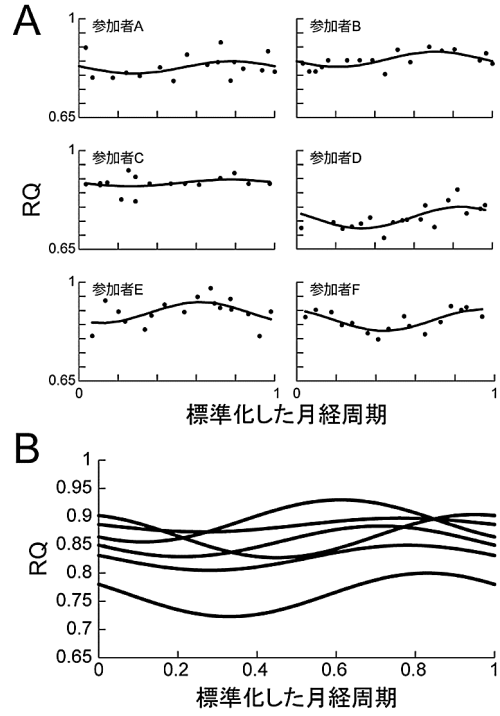


図3 全実験参加者の呼吸商 (RQ) の変動 Aは参加者6名それぞれのRQの計測値と適合させた正弦曲線を示したもの。Bは参加者6名の正弦関数を1つのグラフに重ねて示したもの。縦軸はRQの値で、横軸は月経の1サイクルを示し、0は月経開始日、1は次の月経開始日を表す。

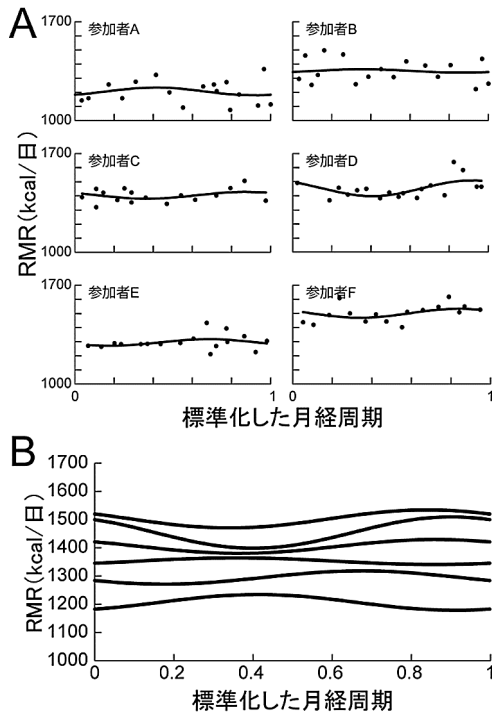


図2 全実験参加者の安静時代謝 (RMR) の変動 Aは参加者6名それぞれのRMRの推定値と適合させた正弦曲線を示したもの。Bは参加者6名の正弦関数を1つのグラフに重ねて示したもの。縦軸はkcal/日、横軸は月経の1サイクルを示し、0は月経開始日、1は次の月経開始日を表す。

動は確認できず、2名(参加者A, B)は周期の前半(卵胞期に相当する時期)、4名(参加者C, D, E, F)は周期の後半にピークが出現した(図2)。振幅は 29.4 ± 14.6 kcal, 平均は 1367.9 ± 108.5 kcalであった。RMSRは 61.1 ± 16.2 kcalと振幅の2倍程度もあり、とくに参加者Aでは振幅のおよそ3倍、Bでは7倍に近い大きな値であったことから、この2名の参加者のRMRのデータは正弦曲線にあまり適合していないことを示していた。また、RQについては多くの参加者で月経周期に応じた周期的変動を示し、黄体期にピークが出現していた(0.774 ± 0.114)(図3)。振幅は 0.029 ± 0.011 , 平均は 0.848 ± 0.048 であった。RMSRは 0.029 ± 0.007 と振幅とほぼ同じで、RQのデータも正弦曲線によく適合していることを示していた。

考 察

本研究では、女性の健康を考える上で重要な月経周期に伴う心身の変動に大きく影響すると考えられ

る基礎体温・RMR・RQを、少なくとも1月経周期全体が入るように継続して調べた。基礎体温に関しては、予想通り周期の後半(黄体期に相当する時期)に高く周期の前半(卵胞期に相当する時期)に低いという結果であった。一方、RMRは予想に反してその周期的変動のパターンに個人差が大きく、体温の変動と同様に周期の後半に高く周期の前半に低い周期的変動を示す参加者もみられたが、むしろ周期の前半で高い参加者もみられた。すなわち、全参加者に共通する月経周期に応じた変動は確認できなかった。RMRのピークが卵胞期に推定された参加者2名については、その残差の大きさから正弦曲線への適合度が低いと考えられた。すなわち、データを説明するのに正弦曲線が適していないということを示しており、むしろ月経周期によらずある一定値に保たれ、そのまわりで不規則に変動していると考えたほうが良いのかもしれない。

黄体期には基礎体温が上昇するため体内での熱産生が増大していると考えられる。しかし本研究では、基礎体温が高い黄体期に、身体内での代謝を反映するRMRが上昇するという結果にならない参加者がみられた。具体的にどのような理由でこのような結果になったかは不明であるが、一つの仮説として、女性の身体ではRMRを一定にしようとする何らかの機構が働く、すなわち月経周期に伴う体温の上昇に関連した代謝の増大を打ち消すメカニズムがあるのかもしれない。

その理由を考える上で、RQにも月経周期に応じた周期的変動を示し、黄体期に高くなる参加者が多かったのは興味深い点である。RQが0.7に近いと体内では脂質を、1に近いと糖質を多く燃焼させているとされている。RQが黄体期に上昇するという事は、脂質によるエネルギー消費の割合が減少し、糖質によるエネルギー消費の割合が増加していることを示している。すなわち、卵胞期には血中の遊離脂肪酸を積極的に燃焼させ、黄体期には逆に体内に蓄えた脂肪をできるだけ保ち血中の糖質を積極的に燃焼させているのかもしれない。排卵や月経周期は、ヒトが子孫を残すために作られている仕組みであり、卵胞期よりも黄体期において、受精後に胎児を成長

させるためのエネルギーを保持しておく必要性が大きいと考えられる。黄体期に体温を上昇させつつ体内でのエネルギー蓄積を保つために、使用するエネルギー基質の割合を変化させ、恒常性を維持しているのかもしれない。また、RMRの周期的変動が明瞭でなかった2名はRQの変動が比較的明瞭に確認できたことから、こうした月経周期に伴う体内での代謝の状況の変化が、最終的にRMRの月経周期に伴う変動が明瞭でないヒトがみられる一つの理由かもしれない。

最後に、本研究では参加者のRMR測定に際して食事を2時間以上前に済ませ、できるだけ同時刻で安静状態を保つことに気を配ったが、それまでの食事や運動などの影響が測定誤差として反映されている可能性も否定できない。また実験室に来室することができない場合に、持ち運び可能な装置を用いて測定したため、装置による測定値の平均的な差を用いて補正したが、呼吸商自体も変動するものであるとすると、そこにも誤差が含まれてしまう。ただし、RMRの周期的変動が明瞭でなかった2名のうち1名はすべて実験室で $VO_2 \cdot VCO_2$ を測定した上での結果であるため、必ずしもそれだけが原因ではないようである。いずれにしても、こうした様々な要因を排除するのは困難を極めるが、より厳密な長期間の測定もしくはより多くの参加者の測定によって、詳細を明らかにすることが必要であろう。さらに、体内での代謝の状況を血液検査などからより直接的に調べる必要があるかもしれない。

要約すると、本研究の結果は、健康な女子大学生において基礎体温は周期的に変動するにもかかわらず、RMRはそれに対応した周期的変動を示さない参加者もいることを示していた。本研究は6名での予備的研究であるので、今後さらに参加者を追加し測定項目を増やすことでRMRの月経周期に応じた変動の有無、その個人差、そこに影響する要因を明らかにすることが可能になるであろう。

謝 辞

本研究の実施にあたり、実験参加者として協力して下さった昭和女子大学の学生の皆様に深く感謝します。

参考文献

- 1) Buffenstein R, Poppitt SD, McDevitt RM, & Prentice AM. Food intake and the menstrual cycle: A retrospective analysis, with implications for appetite research. *Physiol. Behav.* 58: 1067-1077, 1995.
- 2) Webb P. 24-hour energy expenditure and the menstrual cycle. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 614-619, 1986.
- 3) Curtis V, Henry CJK, Birch E, & Ghusain-Choueiri A. Intraindividual variation in the basal metabolic rate of women: Effect of the menstrual cycle. *Am. J. Hum. Biol.* 8: 631-639, 1996.
- 4) Henry CJK, Lightowler HJ, & Marchini J. Intraindividual variation in resting metabolic rate during the menstrual cycle. *Br. J. Nutr.* 89: 811-817, 2003.
- 5) 末田香里, 鈴木かおり, 山下侑子, 増田豊子, 柘植友美子. 月経周期内の体組成と安静時エネルギー代謝量. 名古屋女子大学紀要, 52: 39-43, 2006.
- 6) Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol. (Lond.)*, 109: 1-9, 1949.
- 7) Turell DJ, & Alexander JK. Experimental evaluation of Weir's formula for estimating metabolic rate in man. *J. Appl. Physiol.* 19: 946-948, 1964.
- 8) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids*. The National Academies Press, Washington D. C., 2002.
- 9) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2010年版). p. 53, 第一出版, 東京, 2010.

(はるた あきこ 管理栄養学科4年)

(やまなか けんたろう 健康デザイン学科)