

正常月経周期を有する大学生女性 アスリートにおける周期によるエネルギー・アベ イラビリティーの変化

Energy availability is not altered during the menstrual cycle in
female collegiate athletes

御所園実花*1, 田口素子*1,2, 難波 聡*3, 鳥居 俊*2

キー・ワード：energy availability, female athlete, menstrual cycle
エネルギー・アベイラビリティー, 女性アスリート, 月経周期

【要旨】 卵胞ホルモンと黄体ホルモンは女性の月経周期内で大きく変化し、一般女性においては卵胞期と比較して黄体期には総エネルギー摂取量 (TEI) が増加することが知られている。このことから、卵胞期と黄体期でエネルギー・アベイラビリティー (EA) が変化する可能性が考えられる。したがって本研究は、大学生女性アスリートにおける月経周期による EA の変化を明らかにすることを目的とした。対象は、正常月経周期を有する大学生女性アスリート 11 名であった。排卵検査を用いて卵胞期と黄体期を特定し、各期に食事記録法による TEI、心拍数法による運動時エネルギー消費量 (EEE)、DXA 法による身体組成、血清中のホルモン濃度を測定した。EA は、TEI から net-EEE を差し引き、除脂肪量 (FFM) で除して求めた。その結果、卵胞期と黄体期の EA に有意な差は認められなかった。黄体期の血清プロゲステロン濃度は 10.4 (6.0 - 15.9) ng/mL であり、上昇度合いが低かった。周期内のホルモンの変動が小さいことから、卵胞期と黄体期の TEI に有意な差が認められず、EA にも有意な差が認められなかったと考えられる。正常月経周期を有する大学生女性アスリートにおいては、周期による EA に変化は認められないことが明らかとなった。

緒 言

エネルギー・アベイラビリティー (energy availability : EA) は、身体機能及び健康を維持するために利用可能なエネルギー量として、近年国際的に使用されるようになった¹⁾。EA は、総エネルギー摂取量 (total energy intake : TEI) から運動時エネルギー消費量 (exercise energy expenditure : EEE) を差し引き、除脂肪量 (fat-free mass : FFM) で除した値として定義されている¹⁾。Loucks et al. は、一般女性を対象とした実験

において、EA が 30kcal/kg FFM/日未満に低下した状態 (low energy availability : low EA) が 5 日間継続することにより黄体化ホルモン (luteinizing hormone : LH) の周期的な分泌が阻害されることを報告した²⁾。このことから、EA が低下することが月経異常の根本的な原因であると考えられている。陸上中長距離、水泳、新体操及びラクロス選手を対象に EA を調査した研究³⁾では、約半数が low EA を示す 30kcal/kg FFM/日を下回ったことが報告されている。Low EA のリスクは審美系及び持久系競技のみならず、いずれの競技種目においても高いと考えられる。女性アスリートの健康問題の予防と管理のために EA を評価することが推奨されているが、EA の算出方法について、TEI、EEE 及び FFM の測定方法と測定

*1 早稲田大学スポーツ栄養研究所

*2 早稲田大学スポーツ科学学術院

*3 埼玉医科大学病院ゲノム医療科・産婦人科

時期に定義や標準化されたガイドラインは存在しない¹⁾。EAを現場で活用するためには月経周期などの生理学的要因を含めて検討すべきことが多々あると考えられる。

女性は特有の月経周期を有する。月経周期とは、月経開始日より起算して次回の月経開始前日までの日数と定義されており⁴⁾、おもに卵胞期と黄体期に分けられる。卵巣から分泌される卵胞ホルモン(エストロゲン)と黄体ホルモン〔プロゲステロン(progesterone: P₄)〕は、月経周期内で大きく変化し、EAの構成要素にも影響を及ぼすことが明らかになっている。エストロゲンは食事摂取量を低下させる一方で、エストロゲンの存在下においてP₄が食事摂取量を高めると考えられており⁵⁾、TEIは一般人を対象とした先行研究において、卵胞期と比較して黄体期に214kcal高値を示すことが報告されている⁶⁾。同一練習期であれば卵胞期と黄体期のEEEは変化しないと考えられるため、TEIからEEEを差し引きFFMで除して求められるEAは、卵胞期と比較して黄体期において高値を示す可能性がある。しかしながら、卵胞期と黄体期のEAの変化は不明である。生理学的要因によりEAに変化が生じるのであれば、月経周期を考慮した評価を行う必要があるため、卵胞期と黄体期におけるEAの変化を検討することは、EAの現場活用に向けた問題解決の一助となる。

本研究では、正常月経周期を有する女性アスリートにおける周期によるEAの変化を明らかにすることを目的とした。本研究の仮説は、月経周期に特徴付けられる卵胞ホルモンと黄体ホルモンの変化により、卵胞期と比較して黄体期にTEIとEAが有意に高値を示すことであった。

対象および方法

1. 対象者

対象者の選出にあたり、運動部に所属する大学生女性アスリート168名を対象に月経状況についてのアンケート調査を実施した。その中から月経周期日数が25~38日の間にあり、かつ1)代謝やホルモンに関する薬または低用量ピルを服用中、2)怪我や故障等により日常的なトレーニングを行えない、3)喫煙習慣がある、4)減量・増量中、のいずれにも該当しない13名を選出した。そのうち、排卵検査結果が陽性であることが確認できた日本人大学生女性アスリート11名を対象者とし

た。対象者の競技種目はボート、ラクロス、バレーボールであった。対象者には調査及び測定に先立ち、研究の目的、方法、危険性等について十分に説明し、書面にて参加の同意を得た。本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

2. 方法

a. 月経周期の決定

対象者には、毎朝起床時に婦人用電子体温計(MC-172L, (株)オムロン製)を用いて、血液検査実施の約3か月前より基礎体温の測定を行わせた。排卵検査には、排卵検査薬(新ドゥーテストLH排卵検査薬, (株)ロート製薬製)を用いた。各対象者に次回月経開始予定日の17日前から排卵陽性反応が出るまで、毎日一定の時間に排卵検査薬を用いて尿中LH濃度を検査させ、陽性反応が認められた翌日を排卵日とした。基礎体温と排卵検査の結果に基づき、月経開始日から排卵日前日までを卵胞期、排卵日の翌日から次回の月経開始前日までを黄体期とした。

b. 身体組成及び骨密度の評価

身長は身長計(YG-200, (株)ヤガミ製)を用いて測定した。体重は体重計(UC-321, (株)A&D製)を用いて早朝空腹時排尿後に測定させた。身体組成及び全身の骨密度は、各期に1度、二重エネルギーX線吸収法(Dual energy X-ray absorption: DXA法)(Delphi A, (株)Hologic社製)を用いて測定した。FFMは得られた体脂肪率を用いて、体重から脂肪量を差し引き算出した。

c. 総エネルギー摂取量(TEI)及び各栄養素摂取量の評価

TEIを算出するために、秤量記録法及び写真撮影法の併用により、各期に7日間の食事調査を行った。対象者が記入した食事記録と撮影した食事写真をもとに管理栄養士が聞き取りを行い、摂取した料理や食品の材料と分量を把握した。TEI及び各栄養素摂取量の算出には、「日本食品標準成分表2015版(七訂)」に準拠した栄養計算ソフト(WELLNESS21, (株)トップビジネスシステム社製)を用いた。一部の加工食品の分析には、メーカーのホームページ等に記載されている栄養成分表示を用いた。

d. 運動時エネルギー消費量(EEE)の評価

EEEの測定に先立ち、個別の心拍数(heart rate: HR) - 酸素摂取量(oxygen uptake: $\dot{V}O_2$)

表 1 被験者の身体的特性

	卵胞期	黄体期	p 値
年齢 (歳)	21 (20 - 21)	-	-
身長 (cm)	163.6 (159.5 - 165.4)	-	-
体重 (kg)	58.75 ± 6.36	58.71 ± 6.22	0.870
体脂肪率 (%)	20.4 ± 3.3	20.5 ± 3.6	0.623
FFM (kg)	46.7 ± 4.0	46.6 ± 3.9	0.659
運動時間 (分/日)	157 ± 42	136 ± 29	0.106

正規分布：平均値±標準偏差，非正規分布：中央値（25% - 75%）

FFM：除脂肪量

表 2 被験者の婦人科的特性

n = 11	
初経年齢 (歳)	12.3 ± 1.1
婦人年齢 (歳)	8.9 ± 1.6
月経周期日数 (日)	31 ± 4
卵胞期日数 (日)	18 ± 4
黄体期日数 (日)	12 ± 3

平均値±標準偏差

関係式を作成するために、自転車エルゴメーター (Aerobike 75 XLII, コンビウエルネス社製) を用い、漸増負荷法により運動負荷試験を行った。自転車のサドル上で5分間の座位安静後、3分間のウォーミングアップを行い (60W または 90W)、30W/3分の漸増負荷法を用いた自転車運動を実施し、疲労困憊まで運動を継続させた。Breath-by-breath 法を用いた呼気ガス分析 (AE310S, ミナト医科学社製) を行い、同時に HR を記録した。負荷開始後の各ステージの最後の1分間の HR 及び $\dot{V}O_2$ の値を用いて対象者別の HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を作成した。

次に、各期に7日間、運動時に心拍数計 (Polar A300, Polar 社製) を装着させて1秒間隔で HR を測定した。測定した HR を用いて1分間の平均 HR を算出し、対象者別の HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を用いて FLEX-HR 法⁷⁾ により運動中のエネルギー消費量を求めた。EEE は運動中のエネルギー消費量から運動時間あたりの基礎代謝量を差し引いて正味の値 (net-EEE) を求めた。基礎代謝量は先行研究⁸⁾ に基づき日本人アスリートを対象とした推定式 [27.5 (kcal/kg FFM) × FFM (kg) + 5] より算出した。

e. EA の算出

EA は EEE から基礎代謝量を差し引いた net-EEE を用いて、以下の式により算出した^{1,2)}。

$$EA \text{ (kcal/kg FFM/日)} = \{TEI \text{ (kcal)} - \text{net-EEE (kcal)}\} / FFM \text{ (kg)}$$

f. 血液検査

卵胞期は4-10日目、黄体期は4-7日目の各期に1度、10時間絶食後の早朝空腹時に肘静脈より採血を行った。血清中の LH、卵胞刺激ホルモン (follicle stimulating hormone : FSH)、エストラジオール (estradiol : E₂) 及び P₄ 濃度を CLIA 法により測定した。なお、分析は (株) LSI メディエンスに依頼した。

g. 統計処理

卵胞期と黄体期の比較について、正規性が認められた項目は対応のある t 検定を用い、平均値±標準偏差で示した。正規性の認められなかった項目の比較には、Wilcoxon の符号付順位検定を用い、中央値 (25% - 75%) で示した。データの統計処理は、IBM SPSS statistics Ver.26 ((株) 日本アイ・ビー・エム製) を用いて行った。すべてのデータの統計処理において、危険率 5% 未満を統計学的な有意水準とした。

結 果

対象者の身体的特性を表 1 に示した。いずれも卵胞期と黄体期の値に有意な差は認められなかった。また、全身の骨密度の Z-score が -1.0 を下回る者はいなかった。対象者の婦人科的特性を表 2 に示した。すべての対象者が排卵を伴う正常月経周期を有していた。1日あたりの TEI, net-EEE 及び EA を表 3 に示した。TEI, net-EEE 及び EA のいずれも月経周期による変化は認められなかった。1日あたりのたんぱく質摂取量は卵胞期が 80.8 ± 18.3g、黄体期が 78.3 ± 20.5g、脂質摂取量は卵胞期が 72.9 ± 16.1g、黄体期が 72.9 ± 24.0g、炭水化物摂取量は卵胞期が 318.1 ± 51.7g、黄体期が 293.6 ± 66.8g となり、いずれも月経周期による変

表3 1日あたりの総エネルギー摂取量, 運動時エネルギー消費量及びエネルギーアベイラビリティー

	卵胞期	黄体期	p 値
総エネルギー摂取量 (kcal)	2,296 ± 362	2,182 ± 528	0.326
運動時エネルギー消費量 (kcal)	726 ± 215	670 ± 133	0.524
エネルギー・アベイラビリティー (kcal/kg FFM)	33.9 ± 6.5	32.6 ± 11.9	0.689

平均値±標準偏差

FFM: 除脂肪量

表4 ホルモン値

	卵胞期	黄体期	p 値
E ₂ (pg/mL)	38 (27 - 48)	171 (121 - 220)	0.003
P ₄ (ng/mL)	0.3 (0.2 - 0.4)	10.4 (6.0 - 15.9)	0.005
LH (mIU/mL)	3.81 (2.84 - 4.74)	2.26 (1.85 - 4.70)	0.424
FSH (mIU/mL)	4.78 (4.41 - 5.81)	1.91 (1.68 - 2.42)	0.016

中央値 (25% - 75%)

E₂: エストラジオール, P₄: プロゲステロン, LH: 黄体化ホルモン, FSH: 卵胞刺激ホルモン

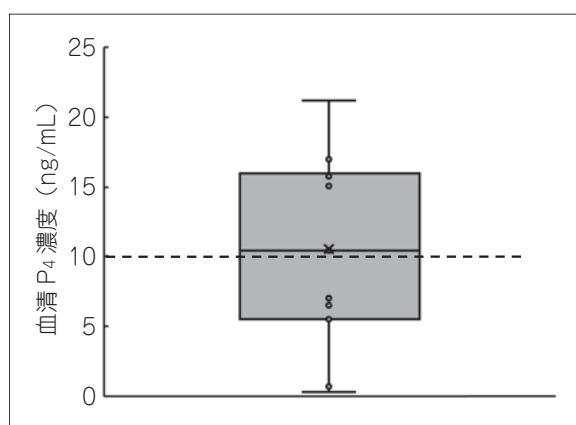


図1 黄体期の血清 P₄ 濃度
点線は 10 ng/mL (黄体機能不全の診断基準の一つ) を示す

化は認められなかった。女性ホルモンの値を表4に示し、黄体期の血清 P₄ 濃度を図1に示した。E₂, P₄ ともに卵胞期と比較して黄体期において有意に高値を示した (p<0.01)。しかし、11名中5名の黄体期の血清 P₄ 濃度が、黄体機能不全の診断基準の一つである 10ng/mL を下回っていた。

考 察

本研究では、正常月経周期を有する日本人大学生女性アスリートを対象に、自由生活下での卵胞期と黄体期における EA の変化を検討した。その結果、卵胞期と黄体期における TEL, net-EEE 及び FFM に有意な差は認められず、EA も卵胞

期と黄体期で有意な差は認められなかった。

卵胞ホルモンと黄体ホルモンは月経周期内で大きく変化することが知られており、黄体期の E₂ は卵胞期の値と比較して約 100%, P₄ は約 1,400% 上昇する⁹⁾。本研究においても、血清 E₂ 及び P₄ 濃度は、卵胞期と比較して黄体期において有意に高値を示し、月経周期に特徴付けられる E₂ と P₄ の変化が認められた。しかしながら、性成熟期の女性において黄体期中期に 20ng/mL 前後となる黄体期の血清 P₄ 濃度¹⁰⁾ は、10.4 (6.0 - 15.9) ng/mL となった。さらに、11名中5名の血清 P₄ 濃度が、黄体機能不全の診断基準の一つである 10ng/mL を下回っており (図1)、本研究の対象者の血清 P₄ 濃度の上昇度合いは低く、月経周期内の血清 P₄ 濃度の変動は小さいことが考えられた。

日本人の平均初経年齢は満 12 歳、卵胞期日数は 17.9 ± 6.2 日、黄体期日数は 12.7 ± 1.6 日とされている¹¹⁾ ことから、初経年齢 12.3 ± 1.1 歳、卵胞期日数 18 ± 4 日、黄体期日数 12 ± 3 日である本研究の対象者は、一般的な日本人と同程度の月経周期を有していたと考えられる。それにもかかわらず、黄体期の血清 P₄ 濃度の上昇度合いが低くなった要因として次の2つが挙げられる。1つ目は、対象者がトレーニングを行うアスリートであった点である。Pirke et al.¹²⁾ は、少なくとも週に3時間以上のトレーニングを行う正常月経周期を有する女性アスリートと一般女性の血中 P₄ 濃度を観察した

結果, 一般女性 (約 12.7ng/mL) と比較して女性アスリート (約 8.7ng/mL) の黄体期の血中 P_4 濃度が有意に低値を示すことを報告している. 正常月経周期を有する大学生ハンドボール選手においても, 一般女子学生と比較して血清 P_4 濃度は明らかに低値を示したことが報告されており¹³⁾, これらの研究は運動のストレスが周期的なホルモンの分泌を調整する視床下部—下垂体—卵巣系に影響を及ぼすことを示唆している. トレーニングの実施に伴う種々のストレスは, 生体の内分泌環境を変化させることが知られている¹⁴⁾. 本研究の対象者は, 1日に2時間以上, 約 700kcal のエネルギーを消費するトレーニングを行うアスリートであった. したがって, 先行研究と同様に黄体期の血清 P_4 濃度の上昇度合いが低くなったものと考えられる. 2つ目は, 対象者の年齢が低い点である. 卵胞期と黄体期の TEI に有意な差が認められたことを報告した Gong et al. の先行研究⁶⁾ では, 平均 31.4 歳の女性を対象としているが, 本研究では平均 21 歳の女性を対象としており, 先行研究よりも年齢の低い集団であった. 21 歳という年齢は成熟期への移行過程であると考えられ, 成熟した女性を対象とした先行研究の結果と比較して性ホルモンの上昇度合いが低くなったものと考えられる.

P_4 はエストロゲンの存在下において食事摂取量が高めると考えられている⁵⁾ ため, 黄体期における P_4 の上昇度合いが低いことは, TEI の変化に影響を及ぼす可能性がある. 本研究の仮説は月経周期における卵胞ホルモンと黄体ホルモンの変化により, 卵胞期と比較して黄体期に TEI が有意に高値を示すことであったが, 卵胞期と黄体期の TEI に有意な差は認められなかった. 先行研究では, 一般的に黄体期の P_4 の上昇度合いが低くなる無排卵周期や黄体期短縮を有する者において, 月経周期を通して TEI に有意な変化が認められなかったことが報告されている¹⁵⁾. 本研究においても黄体期の血清 P_4 濃度の上昇度合いが低くなったことから, E_2 と P_4 の変動による食事摂取量の変化が認められにくくなり, 卵胞期と黄体期の TEI に有意な差が認められなかったと考えられる.

エネルギー消費量もまた TEI に影響を及ぼす要因となることが知られている. 黄体期において 24 時間エネルギー消費量は 5~10% 増加し, 同様に TEI は黄体期に 10% 程度増加する¹⁶⁾. これらのことから, 黄体期に TEI のみが増加するのではな

く, 月経周期を通してエネルギー収支バランスを維持していることが示唆されている¹⁶⁾. P_4 は 24 時間エネルギー消費量の変動にも寄与することが報告されており¹⁷⁾, 月経周期における 24 時間エネルギー消費量の変化に影響を及ぼす要因となる. しかしながら, 本研究では対象者の黄体期における P_4 の上昇度合いが低いことが考えられたため, P_4 の変動による 24 時間エネルギー消費量の変化が認められにくかったものと考えられる. さらに先行研究では, 卵胞期に自発的な活動や運動が減少したことが, 黄体期と比較して卵胞期の 24 時間エネルギー消費量が低くなった一因とされている¹⁷⁾. 本研究においては卵胞期と黄体期の練習状況が変わらないアスリートを対象としたため, net-EEE の値に卵胞期と黄体期で有意な差は認められなかった. これらの結果から, 本研究においては, 卵胞期と黄体期の 24 時間エネルギー消費量は有意な変化が認められなかった可能性が考えられる. さらに, 本研究において卵胞期と黄体期の体重にも有意な差がないことから月経周期を通してエネルギー収支バランスを維持していたことが示唆される. したがって, 卵胞期と黄体期の TEI にも有意な変化が認められなかったものと考えられる. しかしながら, 本研究においては 24 時間エネルギー消費量を実測していないため, 今後の研究では 24 時間エネルギー消費量についても同時に評価する必要があると考えられる.

本研究では卵胞期と黄体期の TEI, net-EEE, FFM 及び EA に有意な差が認められず, 卵胞期の EA は 33.9 ± 6.5 kcal/kg FFM/日となり, 先行研究で報告された日本人女性アスリートの卵胞期の EA 30.1 ± 11.6 kcal/kg FFM/日³⁾ と同程度の結果となった. EA は TEI, EEE 及び FFM を用いて算出される値である^{1,2)}. 本研究では TEI, net-EEE 及び FFM のすべての項目において卵胞期と黄体期の値に有意な差が認められなかったため, EA においても卵胞期と黄体期の値に有意な差が認められなかった.

本研究は大学生女性アスリートを対象に, 自由生活下での卵胞期と黄体期における EA の変化を明らかにし, EA の現場応用に向けた測定時期の検討に貢献したと考えられる. しかしながら, 本研究には 3 つの限界がある. 1 つ目は, 対象者数が 11 名と少ないことである. 今後, 競技特性も考慮しながら, 特に女性アスリートの三主徴が多く報

告されている審美系及び持久系競技の対象者を増やして研究を行う必要がある。2つ目は、EEEとTEIの測定方法及び評価誤差である。HR法は、110-170拍/分程度の運動時にはHRと $\dot{V}O_2$ の間に一定の関係がみられる¹⁸⁾ことを利用した方法である。本研究では対象者が中～高強度の運動を行うアスリートである点を考慮し、HR法を用いた。しかしながら、漸増負荷時と比較して漸減負荷時には同一のHRに対する $\dot{V}O_2$ が低くなることから、HR法は間欠的運動時にエネルギー消費量を過大評価する可能性がある¹⁹⁾。一方で、食事調査によるTEIは、過小評価されることが報告されている²⁰⁾。TEIを過小評価し、EEEを過大評価した場合、EAは過小評価される可能性があり、本研究の結果も少なからず誤差を含むものと考えられる。また本研究では、卵胞期及び黄体期ともにEEEはHR法、TEIは食事調査を用いたため、周期によるEEE及びTEI測定値への影響は少ないと考えられる。3つ目は月経周期の分け方とホルモン値の測定時期である。本研究では黄体期の P_4 値を黄体期4～7日に1度測定したため、必ずしも血清 P_4 濃度のピーク値を検出できていない可能性がある。さらに、先行研究と異なる点として、月経周期の分け方の違いが挙げられる。先行研究においては、エストロゲンのみが上昇する排卵直前の卵胞期または排卵期と比較して黄体期のTEIが有意に高値を示している⁶⁾。 E_2 は排卵直前に卵胞期の値よりも約220%高くなることが報告されている⁹⁾。先行研究においては、エストロゲンの食事摂取量を低下させる作用を受けて卵胞期のTEIが低値を示した可能性が考えられる。一方、本研究においては月経開始から排卵前日までを卵胞期、排卵翌日から月経開始前日までを黄体期として評価したため、排卵期におけるエストロゲンの数日単位で生じる繊細な変化を捉えることができなかった可能性は否定できない。EAはTEIだけでなくEEEも用いて算出されるため、練習状況が大きく変わる環境下では月経周期の違いによるEAの変化を評価することが難しい。自由生活下のアスリートの練習状況を数日単位で生じるホルモンの変化に合わせて調整することは困難である。そのため、自由生活下でのEAの月経周期による変化を検討する場合には、ホルモン変動の大きく異なる卵胞期と黄体期の2つの期に分けて評価することが妥当であると考えられる。

結 語

正常月経周期を有する日本人大学生女性アスリートを対象に、周期によるEAの変化を明らかにすることを目的として、自由生活下での卵胞期及び黄体期のEAを検討した。その結果、卵胞期と黄体期のTEI、net-EEE及びFFMに有意な差は認められず、EAにも有意な差は認められなかった。正常月経周期を有する大学生女性アスリートにおいては、周期によるEAに変化は認められないことが明らかとなった。

謝 辞

本研究の実施にあたり、快く測定にご協力くださった対象者の皆様に深く感謝いたします。本研究は味の素株式会社との共同研究費により実施しました。ここにその旨を記載し、心より感謝いたします。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, et al. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 1867-1882.
- 2) Loucks AB, Thuma JR. Luteinizing Hormone Pulsatility Is Disrupted at a Threshold of Energy Availability in Regularly Menstruating Women. *J Clin Endocrinol Metab.* 2003; 88: 297-311.
- 3) 田口素子, 高田和子, 鳥居 俊, 他. 日本人女性アスリートにおけるエネルギー・アベイラビリティ利用の課題. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2018; 26: 5-11.
- 4) 日本産科婦人科学会. 産科婦人科用語集・用語解説集. 改訂第3版. 東京: 日本産科婦人科学会事務局; 336, 2013.
- 5) Hirschberg AL. Sex hormones, appetite and eating behaviour in women. *Maturitas.* 2012; 71: 248-256.
- 6) Gong EJ, Garrel D, Calloway DH. Menstrual cycle and voluntary food intake. *Am J Clin Nutr.* 1989; 49: 252-258.
- 7) Ceesay SM, Prentice AM, Day KC, et al. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *Br J Nutr.* 1989; 61: 175-

- 186.
- 8) 田口素子, 高田和子, 大内志織. 除脂肪量を用いた女性競技者の基礎代謝量推定式の妥当性. 体力科学. 2011; 60: 423-432.
- 9) Nielsen HK, Brixen K, Bouillon R, et al. Changes in biochemical markers of osteoblastic activity during the menstrual cycle. *J Clin Endocrinol Metab.* 1990; 70: 1431-1437.
- 10) 久保田俊郎. エストロゲン (エストラジオール、尿中エストリオール) プロゲステロン. *Medicina.* 2005; 42: 346-348.
- 11) 日本産科婦人科学会. 産科婦人科用語集・用語解説集. 改訂第3版. 東京: 日本産科婦人科学会事務局; 175, 2013.
- 12) Pirke KM, Schweiger U, Broocks A, et al. Luteinizing hormone and follicle stimulating hormone secretion patterns in female athletes with and without menstrual disturbances. *Clin Endocrinol (Oxf).* 1990; 33: 345-353.
- 13) 橋本有紀, 目崎 登, 村井文江. 運動が月経周期および月経に関する意識に及ぼす影響. *女性心身医学.* 2003; 8: 161-168.
- 14) 川崎彰子, 目崎 登. 運動性ストレスと月経異常. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2006; 14: 399-408.
- 15) Barr S, Janelle K, Prior J. Energy intakes are higher during the luteal phase of ovulatory menstrual cycles. *Am J Clin Nutr.* 1995; 61: 39-43.
- 16) Buffenstein R, Poppitt SD, McDevitt RM, et al. Food intake and the menstrual cycle: a retrospective analysis, with implications for appetite research. *Physiol Behav.* 1995; 58: 1067-1077.
- 17) Howe JC, Rumpler WV, Seale JL. Energy expenditure by indirect calorimetry in premenopausal women: variation within one menstrual cycle. *J Nutr Biochem.* 1993; 4: 268-273.
- 18) 加賀谷淳子. 心拍数に基づいた消費カロリーの算出法とその問題点. *体育の科学.* 1986; 36: 858-863.
- 19) 青木純一郎, 形本静夫. 漸増負荷時と漸減負荷時における心拍応答の差. *体育の科学.* 1997; 27: 243-247.
- 20) 吉田明日美, 高田和子, 別所京子, 他. 女性スポーツ選手における食事記録法によるエネルギー摂取量の評価誤差に関連する要因. *栄養学雑誌.* 2012; 70: 305-315.

(受付: 2020年10月16日, 受理: 2021年6月30日)

Energy availability is not altered during the menstrual cycle in female collegiate athletes

Gshozono, M.^{*1}, Taguchi, M.^{*1,2}, Namba, A.^{*3}, Torii, S.^{*2}

^{*1} Waseda Institute of Sports Nutrition

^{*2} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

^{*3} Department of Clinical Genetics, Obstetrics and Gynecology, Saitama Medical University Hospital

Key words: energy availability, female athlete, menstrual cycle

[Abstract] Estrogen and progesterone levels are drastically altered during the menstrual cycle, and the total energy intake (TEI) is increased in the luteal phase compared to that in the follicular phase in normal, healthy women. This phenomenon may lead to alterations in energy availability (EA) during the menstrual cycle. The purpose of this study was to elucidate whether EA is altered during the menstrual cycle in female athletes. Eleven female collegiate athletes with normal menstruation participated in this study. The follicular and luteal phases were distinguished using the ovulation test. The TEI was assessed using 7-day dietary records. The exercise energy expenditure (EEE) was measured using the HR-VO₂ method. Body composition was assessed by dual-energy X-ray absorptiometry, and serum hormone concentrations were measured. EA was calculated by subtracting the net-EEE from TEI and dividing it by fat-free mass. No differences in EA were observed between the follicular and luteal phases. The concentration of serum progesterone was 10.4 (6.0 - 15.9) ng/mL during the luteal phase, showing a relatively small increase. Therefore, differences in TEI and EA were not considered significant within a cycle. Hence, EA was not altered during the menstrual cycle in female collegiate athletes with normal menstruation.