

博士論文

女性アスリートにおける体重管理と月経周期の
関連性の検討
—食欲調整ホルモンとエネルギー摂取量に着目して—

2021年12月

日本体育大学大学院

体育科学研究科 体育科学専攻

21PDA20 亀本 佳世子

研究指導教員

須永 美歌子 教授

女性アスリートにおける体重管理と月経周期の

関連性の検討

—食欲調整ホルモンとエネルギー摂取量に着目して—

Weight management and the menstrual cycle:
the effect of appetite-regulating hormones and
energy intake on female athletes

2021年12月

21PDA20 亀本 佳世子

Kayoko Kamemoto

目次

第1章 序章	1
1-1 女性アスリートの体重管理の現状.....	2
1-1-I エネルギーバランスの重要性.....	2
1-1-II アスリートにおける相対的エネルギー不足.....	4
1-1-III 女性アスリートにおける体重管理の課題.....	5
1-2 月経周期による食欲およびエネルギー摂取量の変化.....	7
1-2-I 月経周期とエネルギー摂取量.....	7
1-2-II 月経周期と食欲調整ホルモン.....	10
1-2-III 一過性運動と食欲調整ホルモン.....	12
1-3 研究目的.....	14
第2章 女性アスリートの体重管理と月経状況に関する調査	16
2-1 背景・目的.....	17
2-2 方法.....	19
2-3 結果.....	23
2-4 考察.....	30
2-5 まとめ.....	33
第3章 月経周期が食欲調整ホルモンおよびエネルギー摂取量に及ぼす影響	34
3-1 背景・目的.....	35
3-2 方法.....	38
3-3 結果.....	41
3-4 考察.....	49
3-5 まとめ.....	53

第 4 章 月経周期が一過性運動に伴う食欲調整ホルモンおよびエネルギー摂取量に及ぼす影響.....	54
4-1 背景・目的.....	55
4-2 方法.....	57
4-3 結果.....	63
4-4 考察.....	72
4-5 まとめ.....	75
第 5 章 総括.....	76
5-1 結論.....	77
5-2 総合的考察と今後の展望.....	79
参考文献.....	82
付 記.....	98
謝辞.....	101

第 1 章

序章

1-1 女性アスリートの体重管理の現状

1-1-I エネルギーバランスの重要性

アスリートにとって体重の調整は、健康の維持およびパフォーマンスの向上に関わる重要な要因である¹⁾。例えば柔道やレスリングなどの重量階級制競技においては、大会前の計量時に規定に合わせて体重を調整する必要があり、大幅な減量が必要となる場合は絶食や水抜きなど健康を害する危険性のある手段を用いて体重を急激に減少させることがある。また、体操や新体操などの審美系競技や持久系競技のアスリートにおいては、体重は標準値よりも低い状態であるにも関わらず、体型維持のため、または体重が増加することを恐れ、エネルギー摂取量を極端に制限して練習を継続することにより、様々な健康障害が生じることが問題となっている^{1,2,3,4,5)}。

エネルギーバランスを決定づけるエネルギー摂取とエネルギー消費に関する主な要因と、それらに影響を与える因子をまとめた図を Figure 1 に示す⁵⁾。エネルギー摂取に関しては、エネルギー摂取量や栄養素の構成、食物繊維の量と質、食品のエネルギー密度、運動と食事のタイミングと内容、最近の体重と体組成、食欲調整ホルモンなどの要因がある。一方、エネルギー消費に関しては安静時代謝、身体活動量、運動プログラム、運動強度、体組成、エネルギー摂取量と栄養素の構成、遺伝などがある。これらの様々な要因は個々人で異なり、生活環境やライフスタイルによって日々変化するものである⁵⁾。つまり、エネルギーの摂取と消費は互いに影響を及ぼす関係であることがわかる。

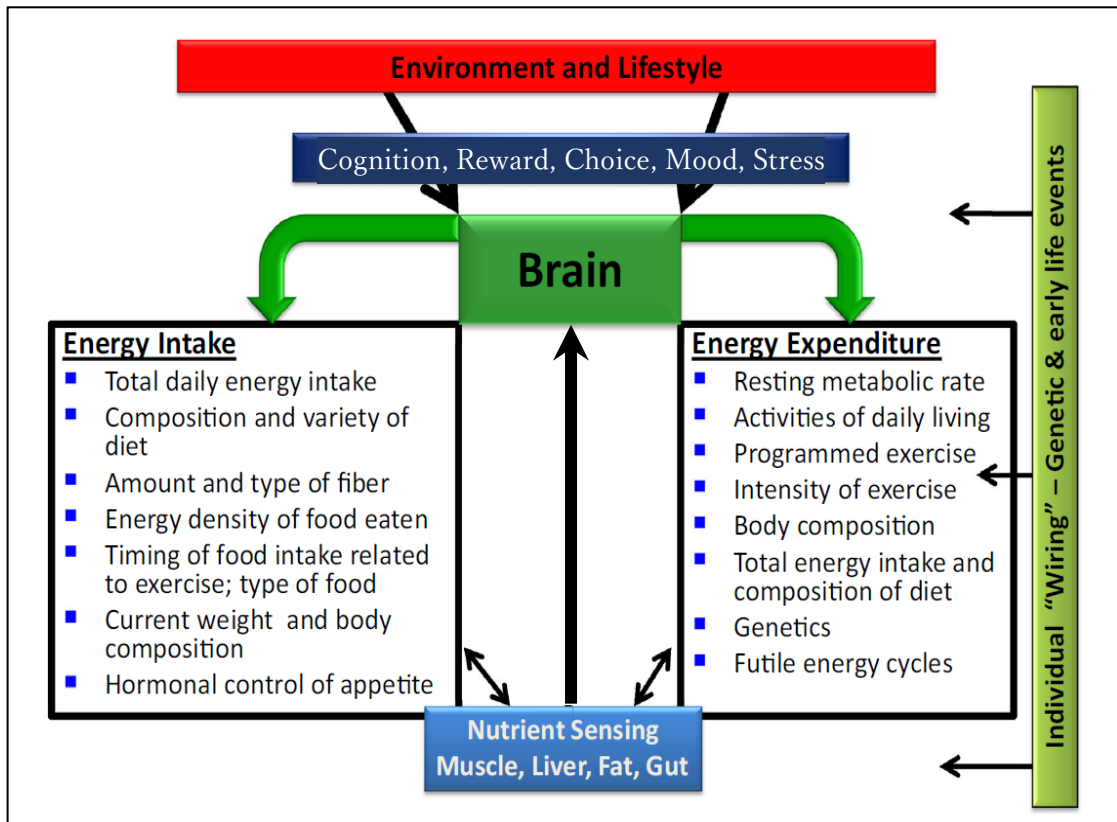


Figure 1. Factors regulating/influence energy balance ⁵⁾

古くからエネルギーバランスに影響を及ぼす要因に関する研究は広く行われてきた。Edholm ら (1955) は年齢, 身長, 体重と身体活動量が同様の男性のエネルギー消費量とエネルギー摂取量を調査し, エネルギー消費量には個人差および個人内変動があり, エネルギー摂取量と関連性があることを報告している⁶⁾。さらにその後の研究により, 体組成とエネルギー摂取量の関連性が示されている。脂肪細胞から分泌されるレプチンには摂食調節作用があり, 体重コントロールに関わる因子として示されている⁷⁾。つまり体脂肪の量がエネルギー摂取量の調整に関わるという説であったが, 近年では除脂肪量とエネルギー摂取量の関連性を示すデータが報告されている。肥満男性の体格指数 BMI (Body Mass Index), 体組成とエネルギー摂取量の関連性を検討した先行研究によると, 除脂肪量とエネルギー摂取量に正の相関関係が認められたが, BMI および体脂肪量とエネルギー摂取量の間には相関関係が認められなかったことを報告している⁸⁾。さらに除脂肪量と空腹感や⁹⁾, 安静時代謝量とエネルギー摂取量および空腹感との関連を示した報告もあり¹⁰⁾, 安静時代謝量の60%以上を除脂肪量が占めていることから¹¹⁾, 除脂肪量がエネルギー摂取量の調整に影響を及ぼしている可能性が高いと考えられる。つまり, 非アスリートと比較して一般的にアスリートは除脂肪量が多い傾向があり, さらに日々の練習による身体活動量の増加を鑑みると, より多くのエネルギーを必要とする可能性が考えられる。ところが, アスリートはパフォーマンス向上を目的としたエネルギー摂取量の制限を実践することにより, 体が必要とするエネルギー量に見合ったエネルギー補給が行われず, 健康問題を引き起こす危険性が高い。

1-1-II アスリートにおける相対的エネルギー不足

2014年に国際オリンピック委員会は「全てのアスリートにおける相対的なエネルギー不足 (Relative Energy Deficiency in Sport: RED-S) は代謝や月経機能, 骨, 免疫, 発育, たんぱく合成, 循環器など全身に悪影響を及ぼし, パフォーマンスの低下をもたらす。」として, 運動で消費するエネルギーに見合ったエネルギー摂取の必要性を示している^{3,4)}。またアメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine : ACSM) は女性アスリートにみられる健康問題として, 利用可能エネルギー不足 (Low Energy Availability : LEA) とそれにより引き起こされる視床下部性無月経, 骨粗鬆症の3つを「女性アスリートの三主徴」と定義し, 警鐘を鳴らしている^{3,4)}。

利用可能エネルギー不足とは, 日々の練習やトレーニングなどによって増加したエネルギー

ギー消費量に対して、エネルギー摂取量が不足した状態である。利用可能エネルギーが低い状態が長期化すると、視床下部における性腺刺激ホルモン放出ホルモン（Gonadotropin Releasing Hormone: GnRH）の周期的な分泌が阻害され、脳下垂体からの黄体化ホルモン（Luteal Hormone: LH）や卵胞刺激ホルモン（Follicle Stimulating Hormone: FSH）の分泌能の低下により、排卵がなくなる。排卵がなくなると月経が不順となり、低いEAが改善されない状態が継続することにより無月経につながる。これが視床下部性無月経を引き起こす要因のひとつとされている¹²⁾。実際に、内分泌の調整には体重減少や心理的ストレス、オーバートレーニングなどのストレスが複合的に影響している。さらに卵巣から分泌されるエストロゲンには骨密度との関連性が認められており、無月経によりエストロゲンの正常な分泌がなくなることは骨の脆弱化を招き、疲労骨折を引き起こす危険性を高める¹²⁾。ACSMは、EA不足に関して最初に行うスクリーニングとして、成人はBMI 17.5kg/m²未満、思春期アスリートは標準体重85%未満を判定基準としている¹³⁾。また、除脂肪量1kgあたりのEAを算出する方法がある。1日の総エネルギー摂取量から運動によって消費したエネルギー量を引き、FFM (kg) で除した値が30kcal/FFM kg/日未満の場合にEAの不足と判定される¹³⁾。

以上のことから、アスリートにおける相対的エネルギー不足は様々な健康問題を引き起こすが、特に女性アスリートにおいては、正常な性ホルモン分泌が行われなくなることによる月経異常や無月経と、そのことに起因する骨障害が問題となっている。

1-1-III 女性アスリートにおける体重管理の課題

アスリートが減量を試みる状況は、大きく分けて2つに分けられる。ひとつは体脂肪が多く、肥満である場合である。ふたつ目は、既に体重の少ないやせ型であるにも関わらず、さらに減量しようとする場合であり、体重が大きく影響する競技（持久系競技、スキージャンプなど）や審美系競技（体操、新体操など）、重量階級制競技（レスリング、柔道など）のアスリートに多く認められる⁵⁾。体重や体脂肪が多いと判定されたアスリートは、減量により競技パフォーマンスの向上および循環器疾患の予防が期待できるが¹⁴⁾、後者の場合は、運動によるエネルギー消費量に見合ったエネルギー補給が行われないことによる健康問題につながる危険性がある。

今日までに持久系競技者および審美系競技者におけるLEAが、健康に及ぼす影響に関して多くの報告がある。持久系競技の女性アスリートを対象としたいくつかの先行研究によ

り、EA の不足、摂食障害、月経異常、および骨密度の低下の発生頻度が多いことが報告されている¹⁵⁻¹⁷⁾。つまり持久系競技の女性アスリートは、運動による消費量に見合ったエネルギーの摂取が行われていないことにより、健康に影響を及ぼしている危険性が高いことが明らかとなっている。Silva ら (2015) は、新体操競技者の月経状況を調査した結果、原発性無月経 (2.5%)、視床下部性無月経 (60.2%)、希発月経 (37.3%) と全員が月経異常であったことを報告している¹⁸⁾。また体操競技者の骨密度に関する review 論文では、練習によるエネルギー消費量の増加および競技における理想体型を追求することにより誘発されるエネルギー摂取量の不足や摂食障害、月経異常などを骨密度低下の原因として挙げている¹⁹⁾。

重量階級制競技は大会前に行われる計量時に、規定の体重以下であることが出場の条件であることから、アスリートは様々な手段を用いて体重の調整を行っている。重量階級制競技のひとつである柔道における減量は、男女共に体重の 2-5%の幅で実施していることが報告されている²⁰⁻²⁴⁾。さらに柔道選手のおよそ 60%は青年期に減量を開始しており、減量が成長や発達に影響を及ぼす危険性も示唆されている²⁰⁾。短期間の急激な減量 (5%を超えた減量) は大会中の怪我やトレーニング中の怪我につながり²⁴⁾、さらには食事制限により免疫力が低下することも、先行研究により明らかとなっている^{25,26)}。Escobar-Molina ら (2015) は、シニアの女性柔道選手の減量方法として最も多いのは食事制限 (64.5%) であり、次いで運動の付加 (54.8%) であったことを報告している²⁷⁾。さらにジュニア (17-20 歳) 世代において、女性アスリートは男性アスリートよりも減量に関する不安感が強い傾向が認められた²⁷⁾。青年期の女性は、第二性徴により体脂肪量が増加するなど体型の変化が起こる年代であり、一般社会的な女性のボディイメージとのギャップにより不安感が助長されることが考えられる^{28,29)}。また格闘技の女性アスリートにおいて、シーズン中に食欲不振や過食などの摂食障害が発生する割合が高いことが報告されていることから^{21,30)}、重量階級制競技の女性アスリートにとって食事および体重の管理は重要な課題であるといえる。

以上のことから、女性アスリートがパフォーマンス向上を目的とした体重管理を実践するうえで、様々な健康問題を抱えていることが明らかとなっている。しかしながら、月経周期を考慮した体重管理法の考案を目指した具体的な課題抽出、およびエネルギー摂取量の調整のための生理学的研究に至っていないのが現状である。

1-2 月経周期による食欲およびエネルギー摂取量の変化

1-2-1 月経周期とエネルギー摂取量

月経周期とは、月経開始日から次に月経が開始する前日までの日数のことであり、わが国の正常月経は25～38日と定義されている³¹⁾。月経周期を通じて生殖関連ホルモン（エストロゲン、プロゲステロン、卵胞刺激ホルモン、黄体化ホルモン）濃度は変化する。月経周期と各種ホルモンの濃度変化をFigure 2に示した³²⁾。月経開始後5日程度の卵胞期前期(Early Follicular)は、全てのホルモン濃度が比較的低く安定している。その後、卵胞期後期(Late Follicular)に入ると、卵胞刺激ホルモン(Follicle Stimulating Hormone: FSH)の刺激により卵巣内の卵胞が成熟しエストロゲンが分泌される。エストロゲン濃度の上昇により黄体化ホルモン(Luteal Hormone: LH)の分泌が促され、排卵が起こる。排卵が起こる短い期間を排卵期(Ovulatory)と呼び、排卵後に黄体期が始まる。黄体期前期(Early Luteal)には黄体化した卵胞からプロゲステロンとエストロゲンの分泌が始まり、黄体期中期(Mid Luteal)にはプロゲステロン濃度はピークを迎え、エストロゲン濃度も2度目のピークを迎える。妊娠が成立しなかった場合は、黄体期後期(Late Luteal)にプロゲステロンとエストロゲンの両ホルモン濃度は低下する。このように月経周期を通じて生殖関連ホルモン濃度は大きく変化するが、特に卵巣で分泌されるエストロゲンおよびプロゲステロンとエネルギー摂取量の関連性に着目した研究が多く報告されている^{33, 34)}。

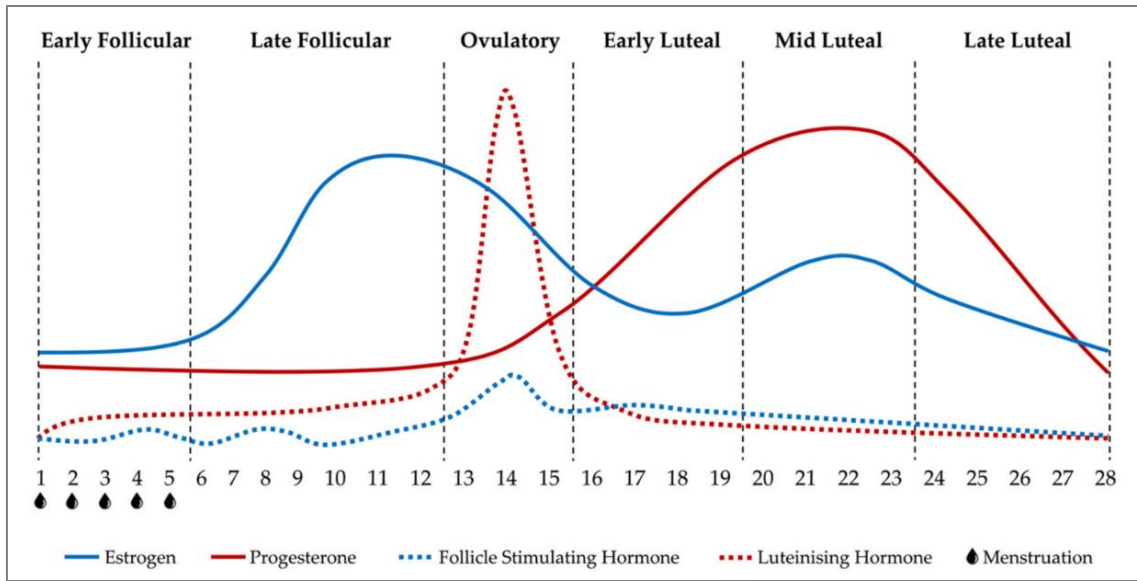


Figure 2. Hormonal events and phases in a eumenorrheic 28-day menstrual cycle ³²⁾

視床下部-下垂体-副腎系 (Hypothalamic-pituitary-gonadal axis : HPG 軸) を介した性腺ステロイドホルモン (Gonadal steroid hormones : GSH) と摂食に関する研究は、これまで数多く行われてきた。GSH は体重、体組成、代謝、消化機能、および摂食など様々な生体機能に影響を及ぼすことが明らかになっている³⁵⁻³⁹⁾。雌ラットまたはマウスの性周期と摂食量に関する研究において、卵巣から分泌されるエストロゲンおよびプロゲステロンが減少する排卵日に、摂食量が低下することが報告されている³³⁾。一方、雄においては一定量が定常的に分泌されるステロイドホルモンのテストステロンと摂食量を観察したところ、摂食量は常に一定であることから、雌においてのみ卵巣ホルモンが摂食量のコントロールに影響を及ぼすことを示している³³⁾。さらに Clegg ら (2007) は、卵巣摘出後のラットの摂食量は増加したが、その後エストロゲンを投与したところ摂食量は減少したことを報告していることから⁴⁰⁾、エストロゲンには摂食抑制作用があると考えられる。さらにエストロゲンは中枢神経組織においても摂食調節に関与している。視床下部の弓状核において、エストロゲンは摂食抑制ニューロン、プロピオメラノコルチン (pro-opimelanocortin : POMC) を直接およびレプチン受容体を介して活性化する作用が認められている^{41,42)}。一方、卵巣ホルモンのプロゲステロンに関しては、摂食亢進作用が報告されている。動物実験においてプロゲステロンを投与した雌ラットは摂食量が増加した⁴³⁾。さらにプロゲステロンを皮下投与した雌ラットにおいて、摂食量の増加に続き体重および体脂肪量の増加を報告している⁴⁴⁾。またプロゲステロンは中枢神経組織において摂食抑制ニューロン POMC の活性を抑制し、反対に摂食亢進ニューロン、神経ペプチド Y (neuropeptide Y : NPY) の活性を亢進することにより摂食量の増加を引き起こすことが報告されている⁴⁵⁾。つまり、エストロゲンとプロゲステロンは摂食に関して拮抗した作用をもつ可能性が示されているが、これらは動物実験において得られた結果であり、ヒトの月経周期と食欲の変化を説明するものではない³⁴⁾。

ヒトにおいては、月経周期のうちエストロゲンおよびプロゲステロン濃度が上昇する黄体期のエネルギー摂取量の増加を報告した先行研究が多数確認されている⁴⁶⁻⁵⁰⁾。また栄養素 (炭水化物、たんぱく質、脂質) 摂取量の割合が月経周期によって変化する可能性も示唆されていることから⁴⁶⁾、ヒトにおいても月経周期によってエネルギー摂取量は変化する可能性が高い。さらに黄体期に食欲が亢進することも報告されており、特に黄体期に抑うつ症状を訴える女性は食欲亢進症状が強かったことを示している⁵¹⁾。また大学生女性アスリートを対象とした調査によると、非アスリートと比較して黄体期の過食または食欲亢進症状

を示した割合が高かったことから⁵²⁾、アスリートが体重管理のためにエネルギー摂取量の調整を試みるうえで、月経周期を考慮する重要性は高いといえる。ヒトの月経周期によってエネルギー摂取量が増える理由は明らかではないが、要因のひとつとして黄体期の基礎代謝の亢進が挙げられている⁵³⁾。つまり黄体期のエネルギー摂取量の増加は、基礎代謝亢進によるエネルギー消費量の増加が関与している可能性も考えられるが、明白な関連性は示されていない。

1-2-II 月経周期と食欲調整ホルモン

エネルギー摂取量の調整は主に脳内の視床下部で行われ、血液や求心性迷走神経を介して末梢からのホルモンや栄養素の信号を受け取る⁵⁴⁾。消化管から分泌されるホルモンは、求心性迷走神経に直接働きかけ、短期的に摂食を調整する働きがあることが明らかとなっている⁵⁴⁾。そこで各種食欲調整ホルモンとその特徴、そして月経周期におけるエネルギー摂取量との関連性を見解を下記にまとめる。

1-2-II-① グレリン

グレリンは胃で産生されるペプチドホルモンであり、食欲調整ホルモンの中でも唯一、食欲亢進作用が確認されている⁵⁵⁻⁵⁸⁾。グレリンは活性型と非活性型に分けられ、特に活性型グレリンに食欲亢進作用が認められている^{59,60)}。グレリンは求心性迷走神経を介して視床下部弓状核内に局在する NPY ニューロンおよびアグーチ関連ペプチド (aguti related protein: AgRP) を活性化し、摂食を亢進させる^{61,62)}。グレリンは飢餓や神経性食欲不振などの負のエネルギーバランスの状態では分泌が亢進し、摂食や高血糖、肥満などの正のエネルギー状態時に減少する^{62,63)}。

Clegg ら (2007) は、卵巣摘出ラットにおいて摂食量の増加および体重の増加、そして食欲亢進ホルモンであるグレリンの増加を報告しており、エストロゲンにはグレリンの抑制作用があることを示唆している⁴⁰⁾。一方、ヒトを対象とした研究によると、正常月経を有する女性において、グレリンは月経周期を通じて変化しなかったことを報告している^{64,65)}。さらに、月経前の黄体期に食欲亢進などの心身症状を呈する月経前症候群 (Premenstrual syndrome: PMS) を有する女性において、グレリンは月経周期による変化は認められず、PMS 症状の無い女性との間にも差は認められなかった⁶⁶⁾。ところが視床下部性無月経の女性アスリートにおいて、グレリンは増加することが報告されている^{67,68)}。視床下部性無月経

を引き起こす要因のひとつとして、利用可能エネルギーの不足が挙げられることから、摂取エネルギーの不足した状態が消化管におけるグレリンの分泌を助長する可能性が考えられる。しかしながら、グレリンと黄体期の食欲亢進およびエネルギー摂取量との関連性は確認できていない。

1-2-II-② PYY (Peptide YY)

PYY は食欲抑制作用をもつ消化管ホルモンであり、食物が消化管で消化されることにより小腸 L-細胞から分泌され、求心性迷走神経を介して脳に情報を伝達する^{69,70}。PYY は末梢において PYY₁₋₃₆ と PYY₃₋₃₆ の 2 つの形で存在するが、活性型である PYY₃₋₃₆ の食欲抑制作用が認められている⁷⁰。

ヒトを対象とした PYY と月経周期に関する研究は少ないのが現状である。Campolier ら (2016) は、空腹時の Total PYY (PYY₁₋₃₆ と PYY₃₋₃₆ を併せて評価したもの) は卵胞期前期 (月経期) より黄体期に低値を示したことを報告している⁷¹。さらに先述の先行研究によると、黄体期はその他のフェーズと比較して胃内容排出時間が短く、胃内容排出時間とプロゲステロンに負の相関が認められたことから、卵巣ホルモンが消化機能に影響を及ぼし、間接的に PYY の分泌が変化する可能性を示している⁷¹。しかしながら月経周期による主観的食欲ならびにエネルギー摂取量の変化と、PYY との関連性を報告した研究は現時点で見当たらない。

1-2-II-③ CCK (Cholecystokinin)

食事によって腸管内分泌細胞から分泌される消化管ホルモンのひとつとして、コレシストキニン (Cholecystokinin : CCK) が挙げられる⁵⁴。摂食調整に関与するホルモンは相乗的に求心性迷走神経を活性化することが明らかとなっている。例えば CCK とレプチンに応答する迷走神経下神経節 (Nodose ganglion: NG) ニューロンは重複しており、2 つのホルモンの同時投与により、NG ニューロンの強い活性化が誘導され、さらに強い摂食抑制作用を發揮することが報告されている^{72,73}。ラットを用いた研究において、CCK は容量依存的に食事量を減少させる作用があることが、1970 年代には既に証明されていた⁷⁴。小腸で分泌される CCK は血液脳関門を透過できることから、中枢における摂食調整作用は液性経路および求心性迷走神経を介して起こる⁷⁵。

エストロゲンは延髄孤束核で食欲抑制作用を亢進するが、CCK を介することでその作用

は増強し、その結果、摂食量が減少することが明らかとなっている⁷⁶⁾。ところが正常月経の女性を対象とした研究によると、主観的空腹感ならびにエネルギー摂取量は卵胞期より黄体期に有意に増加したが、血中CCKは月経周期で変化しなかったことを報告している⁷⁷⁾。ただし、先行研究は糖負荷後の血中濃度変化を検討した結果であり、CCKの分泌を促進する脂質を含まない試験食であったことから、ヒトの月経周期におけるCCKの食欲抑制作用との関連性は明らかになっていない。

1-2-III 一過性運動と食欲調整ホルモン

最高酸素摂取量60%以上の強度の一過性持久性運動後に、主観的食欲が一時的に抑制される現象を「運動誘発性食欲不振」と呼び、運動後の食欲低下と消化管から分泌される食欲調整ホルモンの血中濃度変化との関連性について、多くの検討が行われてきた⁷⁸⁻⁸¹⁾。そこで、本研究では運動後の一時的な食欲低下の現象を、女性アスリートにおけるエネルギー摂取量の調整に活かすことを考えた。一過性運動が食欲調整ホルモンに与える影響に関する見解を下記にまとめる。

1-2-III-① グレリン

グレリンは運動の影響を受けて血中濃度が変化することが明らかとなっている⁷⁸⁻⁸¹⁾。Schubertら(2014)のreview論文によると、主に一過性の持久性運動(ランニング、歩行、自転車運動)後に活性型グレリンは減少すると結論づけているが⁸⁰⁾、一過性運動が活性型グレリンに与える影響は運動強度、運動様式、および対象者の運動習慣によって異なる結果であることも報告している^{78,80)}。さらに活性型グレリンが主観的食欲および運動後のエネルギー摂取量に与える影響に関する結果も、対象者の体格、または運動習慣の違いによって異なる⁸¹⁾。肥満の無い健康な男性を対象とした先行研究において、一過性の持久性運動の負荷により活性型グレリンは減少し、主観的食欲は低下した⁸²⁻⁸⁴⁾。しかしながらWasseら(2013)は、活動的な男性を対象とした研究においてランニングおよび自転車運動中に活性型グレリンの減少を認めたが、主観的食欲は変化しなかったことを報告している⁸⁵⁾。同様に、男性アスリートを対象とした先行研究では、活性型グレリンは持久性運動後に減少したにも関わらず、主観的食欲および運動後の摂取エネルギーは安静試行と比較して有意な差は認められなかった⁸⁶⁾。一方、女性アスリートを対象とした先行研究によると、一過性運動後に活性型グレリンは増加し、主観的食欲および摂取エネルギーは安静試行と比較し

て変化が認められなかったことを報告している⁸⁷⁾。以上のことから、一過性運動がアシル型グレリンに与える影響に関して統一した見解は認められず、さらに運動鍛錬者の運動後の主観的食欲および摂取エネルギーへの影響は確認されていない。

1-2-III-② PYY (Peptide YY)

Total PYY と一過性運動との関連性を検討した先行研究によると、運動中から直後に Total PYY は増加し、食欲低下との関連性も確認されている^{82,83,88,89)}。しかしながら、グレリンと同様に一過性運動が PYY に与える影響は、運動強度および対象者の運動習慣によって異なる結果が示されている。健康な一般男性を対象とした研究によると、中～高強度の持久性運動後に PYY は増加し、主観的食欲は低下した^{82,83,90,91)}。一方で、Hazell らは運動習慣のある男性を対象に強度の異なる自転車運動(中強度(65% VO₂ max), 高強度(85% VO₂ max), スプリントインターバルトレーニング(6×30 秒全力ペダル)を実施し食欲調整ホルモンと主観的食欲を調査した⁹²⁾。その結果 Total PYY は安静試行より高強度およびスプリントインターバルトレーニング直後に有意に増加したが、主観的食欲は試行間で有意な差は認められなかったことを報告している⁹²⁾。同様に、女性アスリートを対象とした研究において、PYY₃₋₃₆ は中強度の 60 分のランニング直後の値が安静時と比較して有意に増加したが、主観的食欲は安静時と運動試行間に有意な差は認められなかったことを報告している⁸⁷⁾。つまり、運動鍛錬者を対象とした一過性運動後の PYY に関する先行研究の多くは、一過性運動により PYY は増加するが、主観的食欲およびエネルギー摂取量への影響を確認していない。以上のことから、PYY の血中濃度は運動の強度依存的に変化する可能性が考えられ、さらに主観的食欲および運動後の摂取エネルギーへの影響に関しては統一した見解は認められない。

1-2-III-③ CCK (Cholecystokinin)

既述の通り CCK が持つ食欲抑制作用は明らかとなっているが、一過性運動が血中 CCK に与える影響を検討した報告は少ない。Bailey ら(2001)は、健康な男性を対象としてエルゴメーターを用いた疲労困憊運動 30 分を実施した結果、CCK が増加したことを報告している⁹³⁾。また、男女 11 名を対象とした研究によると、マラソン走行後に CCK が有意に増加したことを報告しているが⁹⁴⁾、一過性運動後のエネルギー摂取量または主観的食欲と血中 CCK の関連性を検討した研究は見当たらない。

1-3 研究目的

近年、女性アスリートが目覚ましい活躍を見せる一方で、多くの女性アスリートが抱える競技力向上のためのコンディショニングの課題、なかでも月経周期との関連性とその対策に関する研究は少ないのが現状である。そこで本研究は月経周期と食欲、エネルギー摂取量の関連性に着目し、女性アスリートの体重管理と月経に関する課題の抽出、および食欲、エネルギー摂取量の調節に関わる消化管ホルモン、女性ホルモンと運動との関連性を検討する。月経周期とエネルギー摂取量に関する疫学的小および生理学的手法を用いた研究アプローチにより、女性アスリートの月経周期を考慮した体重管理法の考案に繋がる科学的根拠を示すことを目的として、下記の研究課題を設定した。

1) 女性アスリートの体重管理と月経状況に関する横断調査 (第2章)

大学生アスリートならびにパラアスリート(注)を対象とした横断調査(アンケート調査)を実施する。月経周期と主観的食欲および食事に関する課題を抽出し、減量経験が月経に及ぼす影響に関して練習状況、食生活、既往歴などの要因を含め包括的に比較検討を行う。なお、近年のパラリンピック競技大会などでもみられるように、より競技性が高まっているパラスポーツ(注)の女性アスリートにおいても月経周期とコンディショニングに関する課題が生じていることが報告されていることから⁹⁵⁾、その現状を掌握するためにもパラアスリートも対象とした。

注) 日本パラスポーツ協会では、障がいのある選手の表現に関して IPC Style Guide⁹⁶⁾ に則り、"Para Athlete"とすることが推奨されていることから、パラアスリートとしている。同様に障がい者スポーツは"Para sport or sport for athletes with an impairment"とされていることから、パラスポーツとしている。

2) 月経周期が食欲調整ホルモンおよびエネルギー摂取量に及ぼす影響 (第3章)

正常月経を有する大学生アスリートにおける空腹時の食欲調整ホルモン(グレリン, PYY, CCK)の血中濃度を、月経周期の卵胞期前期と黄体期中期で比較し、主観的食欲ならびにエネルギー摂取量との関連性を検討する。

3) 月経周期が一過性運動に伴う食欲調整ホルモンおよびエネルギー摂取量に及ぼす影響 (第4章)

正常月経を有する大学生アスリートを対象として、一過性持久性運動が食欲調整ホルモンと主観的食欲およびエネルギー摂取量に与える影響について、卵胞期前期と黄体期中期で検討を行う。

第2章

女性アスリートの体重管理と 月経状況に関する横断調査

2-1 背景・目的

正しい体重管理は、アスリートの競技パフォーマンス向上に繋がる。ところが、時にアスリートは標準または標準よりも低い体重であるにも関わらず、さらに減量を試みることがある。先行研究によると、重量階級別競技や審美系競技の選手において体重管理に関する問題が多く報告されている²⁾。またアスリートによっては断続的に食事量の調整を試みることがあり、このような食生活が利用可能エネルギー不足 (Low energy availability: LEA) を引き起こす可能性がある。利用可能エネルギーの不足とは、運動によるエネルギー消費量が摂取エネルギー量を上回っていることを指し、生体機能維持のためのエネルギーが不足することにより健康障害が起こる危険性が高まった状態である^{3,4)}。アメリカスポーツ医学会 (The American College of Sports Medicine: ACSM) が提言した女性アスリートの三主徴とは①利用可能エネルギー不足、②視床下部性無月経、③骨粗鬆症の3つの健康障害を指す¹³⁾。このうち視床下部性無月経および骨粗鬆症は、治療や選手として復帰するまでに長い時間を要することから、予防する重要性が高いといえる¹³⁾。

LEA は視床下部-下垂体-性腺軸のホルモン分泌の変化によって、月経周期や骨密度に影響を与えることが明らかとなっている⁹⁷⁾。卵巣ホルモンの分泌低下は、黄体機能不全、無排卵症、希発月経および無月経など、女性アスリートの月経異常を引き起こす原因となる⁹⁷⁾。Williams らは、月経周期3周期の期間でエネルギー摂取量が8-42%減った場合、月経異常を引き起こす可能性が高まることを報告している⁹⁹⁾。つまり、競技力向上のための体重管理を実施する女性アスリートは、断続的な食事制限を行うことによるエネルギー不足から月経異常を引き起こす危険性が高い。

女性は月経周期によってエネルギー摂取量が増加する。エネルギー摂取量は卵胞期より黄体期に増加することが多くの先行研究によって示されているが⁴⁶⁻⁵⁰⁾、メカニズムは明らかになっていない。さらに日本人大学生アスリートを対象とした調査によると、黄体期に過食または食欲亢進症状を示した割合が、非アスリートと比較して高値であったことを報告している⁵²⁾。つまり、試合や練習スケジュールに合わせて日々のエネルギー摂取量をコントロールする必要があるアスリートにとって、月経周期による食欲およびエネルギー摂取量の変化は、体重管理を行うに当たり考慮すべき要因である。しかしながら現時点で、月経周期による食欲亢進と体重管理に関する課題の抽出は行われていない。

また、障がいのないアスリートの LEA に関する調査が行われる一方で、パラアスリートを対象とした報告は少ない⁴⁾。脊髄損傷はパラアスリートが有する障がいのひとつであり、

脊髄または神経の一部が損傷を受けることにより、損傷部位より下方の筋力や動作に影響を及ぼすものである。脊髄損傷のあるエリートパラアスリートを対象とした調査によると、太り過ぎを予防する、または競技に適した体組成を維持するために食事のコントロールを行い、その結果エネルギーおよび栄養素が不足するリスクがあることを報告している^{100,101)}。また下肢切断者のうち義足使用者は、歩行の不均衡による動きの非効率性が起こり、エネルギー消費量が増加する可能性があり、パラアスリートにおけるLEAを引き起こす要因のひとつとして示唆されている¹⁰²⁾。ところが、現時点において下肢切断パラアスリートを対象としたLEAに関する調査は見当たらず、その関連性は不明である¹⁰³⁾。

本研究は、女性アスリートの体重管理と月経状況に関する横断調査を行うことにより、体重管理において月経が関与する課題を抽出し、減量の取り組みが女性の健康に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。仮説として、女性アスリートの体重管理は月経周期による心身症状の影響を受けることが課題として挙げられ、障がいの有無に関わらず、減量が月経異常ならびにエネルギー不足が引き起こす様々な健康障害との関連性を示すこととした。

2-2 方法

2-2-1 対象者

対象者は、N 体育大学の体育会クラブに所属する女子大学生，ならびに日本パラリンピック委員会に加盟する競技団体に所属する女性パラアスリートとした。データの回収は 2017 年 7 月から 9 月に実施した。対象者への調査の説明は書面にて行い，対象者が質問紙に回答し返送を行うことにより，調査への同意を得られたものとした。2017 年 7 月，調査書類を N 体育大学体育会クラブ（24 クラブ・840 名）および日本パラリンピック委員会加盟競技団体（20 チーム・148 名）に郵送し，同年 9 月までに 263 名の大学生アスリートおよび 34 名のパラアスリートから回答を得た（回答率 30.1%）。このうち記入漏れのあった大学生アスリート 38 名とパラアスリート 7 名を除いた，大学生アスリート 225 名およびパラアスリート 27 名のデータを解析対象とした。対象者が未成年（20 歳以下）の場合，保護者または責任者の同意署名を得た。本調査は，日本体育大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（NO.017-H047）。対象者の競技を Table 1 に示した。

Table 1. The sports of the participants

Collegiate athletes (n = 225)		Para-athletes (n = 27)	
Sports	n	Sports	n
Softball	42	Badminton	11
Athletics (sprint, middle-distance running, high jump, long jump, pole vault, javelin throw, discus throw, heptathlon)	35	Football	4
Handball	28	Judo	3
Rugby	23	Alpine skiing	2
Volleyball	19	Futsal	2
Rhythmic gymnastics	15	Cross country skiing	1
Fencing	14	Weightlifting	1
Badminton	13	Handball	1
Weightlifting	12	Equestrian	1
Archery	10	Athletics/ sprint	1
Alpine skiing	7		
Cross-country skiing	2		
Canoeing	4		
Modern pentathlon	1		
Total	225	Total	27

2-2-II 質問紙

質問紙は自記式質問紙とし、対象者の競技、障がい、身体的特徴、体重管理、健康状態、食生活習慣、月経に関する質問を行った。対象者の身長、体重をたずね、体重 (kg) / 身長² (m) により体格指数 BMI (Body mass index) を算出した。パラアスリートに対しては、障がいの種類および障がいの先天性または後天性を質問した。競技に関しては競技種目、競技歴 (年)、練習頻度 (日/週)、および練習時間 (分) をたずねた。体重管理は「減量をしたことはありますか?」、「増量をしたことはありますか?」の質問を行い、「はい」または「いいえ」で回答を促した。さらに「月経周期を考慮した体重・体組成管理は必要だと思いますか?」の問いに関して「はい」または「いいえ」で回答を促した。生活習慣は「お酒は飲みますか?」について毎日、時々、または飲まないで回答し、「タバコは吸いますか?」について「はい」または「いいえ」で回答し、「平均睡眠時間はどのくらいですか?」について5時間以下、6~7時間、または8時間以上で回答するものとした。健康状態は、疾病の診断の有無および「疲労骨折をしたことがありますか?」「摂食障害 (拒食症、過食症) になったことがありますか?」の質問に対して「はい」または「いいえ」で回答を促した。続いて食事に関して、「食事は1日3食、定期的に食べていますか?」、「食事の時に特定の食べ物や食品群 (穀類、肉類など) を避けますか?」、「健康食品 (サプリメント、プロテインを含む) を摂っていますか?」の質問を設け、「はい」または「いいえ」の2択で回答するものとした。月経状況に関しては初経年齢、ホルモン剤 (ピル) の使用、月経周期と月経 (出血) 期間、月経周期による心身の変化の有無、月経前の食欲亢進、月経前から月経中にかけて練習や試合に影響を及ぼすような身体症状の有無をたずねた。月経周期は28-35日を正常月経、27日以下または36日以上を月経不順、3ヶ月以上月経が無いものを無月経とした³¹⁾。月経期間は4-7日を正常月経期間、8日以上を月経過多、3日以下を希発月経とした³¹⁾。

2-2-III 統計処理

統計解析はSPSS for Windows (Version 25, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) を用いた。大学生アスリートとパラアスリート、各々のグループ内において、質問紙の「減量をしたことはありますか?」の質問に対して「はい」と回答した者を減量経験あり (the weight loss: WL) 群、「いいえ」と回答した者を減量経験無し (the no weight loss: NWL) 群に分け、身体的特徴、既往歴、生活習慣、月経状況に関する回答結果の比較を行った。正規性は

Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて評価した。2 群の比較はカイ二乗検定またはマンホイットニーの U 検定を行った。結果は中央値を示し、統計学的有意水準は 5%とした。

2-3 結果

2-3-1 大学生アスリートとパラアスリートの比較

大学生アスリートの年齢の中央値は 20 歳 (18–25 歳)、パラアスリートは 24 歳 (15–50 歳) であった。パラアスリートは身体障がい 12 名 (脊髄損傷, 切断, 脳性小児まひ), 視覚障がい 4 名 (視野狭窄, 弱視), 聴覚障がい 10 名, 内臓障がい 4 名 (腎臓, 膀胱) であった。尚, パラアスリートの障がいに関する回答は複数回答可能とした。パラアスリートのうち 77.8% (21 名) は先天性の障がい, 22.2% (6 名) は後天性の障がい (障がい歴, 平均 ± 標準偏差, 23.3±13.3 年) であった。

大学生アスリートの 1 週間の練習日数と 1 回当たりの練習時間は, パラアスリートと比較して有意に多かった (6 日 / 週 vs. 5 日 / 週, $P = .000$; 210.0 分 vs. 180.0 分, $P = .000$)。パラアスリートは大学生アスリートと比較して, 疲労骨折の既往歴がある割合が低い結果であった (7.4% vs. 27.1%, $P = .025$)。月経に関して, パラアスリートの初経年齢は大学生アスリートよりも有意に低かった (12 歳 vs. 13 歳, $P = .044$)。また, ホルモン剤の使用率はパラアスリートが有意に高かったが (14.8% vs. 1.8%, $P = .000$)。正常月経を有する割合は大学生アスリートが 67.1%, パラアスリートが 77.8% であり有意な差は認められず ($P = .500$)。月経期間もグループ間で有意な差は認められなかった ($P = .647$)。月経前に食欲が亢進すると回答した割合は, パラアスリートより大学生アスリートにおいて高い結果であったが (51.9% vs. 74.7%, $P = .012$)。月経前から月経中にかけて練習や試合に影響を及ぼすような身体症状があると回答した割合は, 大学生アスリートよりパラアスリートにおいて高かった (55.6% vs. 81.5%, $P = .010$) (Table 2)。月経周期を考慮した体重・体組成管理の必要性について, 「必要がある」と回答した割合は大学生アスリートが 75.7%, パラアスリートが 85.2% でありグループ間に有意な差は認められなかった ($P = .463$)。

Table 2. Comparison of general characteristics and menstruation between collegiate athletes and para-athletes.

Characteristics	Collegiate athletes	Para-athletes	Mann-Whitney <i>U</i> or Chi-square test	
	(n=225)	(n=27)	χ^2/Z	<i>p</i> -value
Age (years)	20 (18 – 25)	24 (15 – 50)	4.91	<0.001
Height (cm)	161.0 (146.4 – 181.4)	156.0 (137.5 – 164.5)	4.99	<0.001
Weight (kg)	58.0 (42.0 – 95.0)	52.5 (37.0 – 70.3)	3.91	<0.001
Body mass index (kg/m ²)	22.2 (17.4 – 38.8)	21.6 (16.2 – 28.9)	1.10	0.271
Number of athlete years (years)	9.0 (1.0 – 18.0)	12.0 (0.4 – 25.0)	1.60	0.110
Number of training sessions (/week)	6 (4 – 7)	5 (3 – 5)	5.94	<0.001
Average training session duration (min)	210 (60 – 240)	180 (60 – 300)	3.79	<0.001
Medical history				
stress fracture	61 (27.1)	2 (7.4)	4.99	<0.05
eating disorder	5 (2.2)	0 (0)	0.61	0.434
Alcohol consumption				
everyday	1 (0.4)	2 (7.4)		
sometimes	96 (42.7)	13 (48.2)	10.66	<0.05
not at all	128 (56.9)	12 (44.4)		
Smoking habit	1 (0.4)	0 (0)	0.12	0.729
The average amount of sleep				
<5 hours	32 (14.2)	5 (18.5)		
6-7hours	185 (82.2)	19 (70.4)	3.87	0.144
8<hours	8 (3.6)	3 (11.1)		
Meal frequency 3 Meals a day	187 (83.1)	19 (70.4)	2.62	0.105
Unbalanced diet	30 (13.3)	5 (18.5)	0.54	0.462
Supplement intake	63 (28.0)	11 (40.7)	1.89	0.170
History of weight gain	49 (21.8)	6 (22.2)	0.00	0.618
History of weight loss	97 (43.1)	13 (48.1)	0.25	0.958
Age at menarche (y)	13.0	12.0	2.02	<0.05
Use of oral contraceptives	4 (1.8)	4 (14.8)	13.33	<0.001
Menstrual cycle length and regularity				
regular menstrual cycles	151 (67.1)	21 (77.8)		
irregular menstrual cycles	72 (32.0)	6 (22.2)	1.39	0.500
amenorrhea	2 (0.9)	0 (0)		
Menstrual duration of flow				
normal menstrual flow	213 (94.7)	25 (92.6)		
prolonged menstrual flow	9 (4.0)	1 (3.7)	0.87	0.647
hypomenorrhea	3 (1.3)	1 (3.7)		
Increasing in appetite before menstruation	168 (74.7)	14 (51.9)	6.26	<0.05
Physical symptoms affected training or competition	125 (55.6)	22 (81.5)	6.67	<0.05

Data are expressed as numbers (%) or medians (minimum – maximum).

2-3-II 減量経験の有無による競技・身体的特徴・既往歴および生活習慣の比較

大学生アスリートとパラアスリートにおいてそれぞれ減量経験の有無によって 2 群に分け、競技および食生活に関するアンケート項目を比較した (Table 3)。大学生アスリートにおいて、1 週間の練習日数は NWL 群で 4 日/週が 0.0%、5 日/週が 14.8%、6 日/週が 84.4%、7 日/週が 0.8%であり、WL 群は 4 日/週が 1.0%、5 日/週が 27.8%、6 日/週が 67.0%、7 日/週が 4.1%であった ($P < .05$)。さらに疲労骨折の既往の割合は WL 群が NWL 群より有意に高かったが (36.1% vs 20.3%, $P < .01$)、身体的特徴および生活習慣の項目において 2 群に有意な差は認められなかった (Table 3A)。パラアスリートにおいて、体重は NWL 群で 50.5 kg, WL 群で 54.0kg, BMI は NWL 群で 21.0 (kg/m²), WL 群で 21.8 (kg/m²)であり、両項目において WL 群が有意に高い値を示した ($P < .05$)。パラアスリートの競技、既往歴および生活習慣項目に関して 2 群間に有意な差は認められなかった (Table 3B)。

Table 3. Comparison of the general characteristics between the weight loss (WL) and no weight loss (NWL) groups in collegiate athletes (A) and para-athletes (B)

A. Collegiate athletes (n = 225)				
Characteristic	NWL	WL	Mann-Whitney <i>U</i> -test or Chi-squared test	
	(n = 128)	(n = 97)	χ^2/Z	<i>p</i> -value
Age (y)	20 (18 – 25)	20 (18 – 22)	0.24	0.813
Height (cm)	160.9 (146.0 – 173.7)	161.0 (148.9 – 181.4)	0.09	0.926
Weight (kg)	56.8 (42.0 – 70.5)	59.0 (42.8 – 95.0)	1.63	0.103
Body mass index (kg/m ²)	21.9 (17.4 – 26.8)	22.5 (17.5 – 38.8)	1.75	0.081
Number of athlete years	10.0 (1.0 – 18.0)	9.0 (2.0 – 16.0)	0.31	0.757
Number of training sessions				
4 days / week	0 (0.0)	1 (1.0)		
5 days / week	19 (14.8)	27 (27.8)		
6 days / week	108 (84.4)	65 (67.0)	10.8	0.013
7 days / week	1 (0.8)	4 (4.1)		
Training session duration (min)	210 (90 – 360)	210 (60 – 420)	0.34	0.738
Medical history				
Stress fracture	26 (20.3)	35 (36.1)	6.95	0.008
Eating disorder	2 (1.6)	3 (3.1)	0.60	0.441
Alcohol consumption				
Everyday	1 (0.8)	0 (0)		
Sometimes	61 (47.7)	35 (36.1)	3.97	0.137
Not at all	66 (51.6)	62 (63.9)		
Smoking habit	0 (0.0)	1 (1.0)	1.33	0.250
Average amount of sleep				
<5 hours	17 (13.3)	15 (15.5)		
6–7 hours	105 (82.0)	80 (82.5)	1.26	0.534
>8 hours	6 (4.7)	2 (2.1)		
Meal frequency 3 meals a day	109 (85.2)	78 (80.4)	0.89	0.347
Unbalanced diet	13 (10.2)	17 (17.5)	2.59	0.107
Supplement intake	34 (26.6)	29 (29.9)	0.30	0.581

B. Para-athletes (n = 27)				
Characteristic	NWL	WL	Mann-Whitney <i>U</i> -test or Chi-squared test	
	(n = 14)	(n = 13)	χ^2/Z	<i>p</i> -value
Age (y)	21 (15 – 50)	29 (17 – 41)	0.80	0.422
Height (cm)	153.0 (145.0 – 161.0)	157.0 (137.5 – 164.5)	0.97	0.331
Weight (kg)	50.5 (37.0 – 57.0)	54.0 (47.0 – 70.3)	1.97	0.049
Body mass index (kg/m ²)	21.0 (16.2 – 24.1)	21.8 (19.7 – 28.9)	2.06	0.039
Number of athlete years	11.0 (0.4 – 19.0)	14.0 (1.0 – 25.0)	0.95	0.342
Number of training sessions (days / week)	5 (2 – 6)	4 (1 – 6)	1.12	0.261
Training session duration (min)	180 (60 – 300)	150 (90 – 240)	0.07	0.941
Medical history				
Stress fracture	0 (0.0)	2 (15.4)	2.33	0.127
Eating disorder	0 (0.0)	0 (0.0)	–	–
Alcohol consumption				
Everyday	1 (7.1)	1 (7.7)		
Sometimes	7 (50.0)	6 (46.2)	0.04	0.980
Not at all	6 (42.9)	6 (46.2)		
Smoking habit	0 (0.0)	0 (0.0)	–	–
Average amount of sleep				
<5 hours	2 (14.3)	3 (23.1)		
6–7 hours	11 (78.6)	8 (61.5)	0.97	0.615
>8 hours	1 (7.1)	2 (15.4)		
Meal frequency 3 meals a day	9 (64.3)	10 (76.9)	0.52	0.472
Unbalanced diet	2 (14.3)	3 (23.1)	0.35	0.557
Supplement intake	5 (35.7)	6 (46.2)	0.30	0.581

Data are expressed as numbers (%) or medians (minimum – maximum).

2-3-III 減量経験の有無による月経関連項目の比較

月経に関する項目を2群で比較した結果をTable 4に示した。大学生アスリートにおいては初経年齢がNWL群は12歳、WL群は13歳とWL群が有意に高い値を示した($P<.05$)。さらに月経状況は、NWL群の75.0%が正常月経、24.2%が月経不順、0.8%が無月経であったのに対し、WL群では56.7%が正常月経、42.3%が月経不順、1.0%が無月経と、WL群の月経異常の割合が高かった($P<.05$)。大学生アスリートにおいて、ピルの服用、月経期間、月経前の食欲亢進および月経周期による身体症状がトレーニングや試合に影響を及ぼす割合は2群間に有意な差は認められなかった(Table 4A)。パラアスリートは月経状況に関して、NWL群全員(100.0%)が正常月経であったのに対し、WL群においては53.8%が正常月経であり、46.2%が月経不順であった($P<.01$)。さらに月経周期による身体症状がトレーニングや試合に影響を及ぼすと回答した割合は、NWL群は64.3%、WL群は100%であり、WL群が有意に高い割合を示した($P<.05$)。パラアスリートにおいては初経年齢、ピルの服用、月経期間、月経前の食欲亢進の割合は2群間に有意な差は認められなかった(Table 4B)。

Table 4. Comparison of menstruation and symptoms between the weight loss (WL) and no weight loss (NWL) groups in collegiate athletes (A) and para-athletes (B)

A. Collegiate athletes (n = 225)				
Characteristic	NWL	WL	Mann-Whitney <i>U</i> -test or Chi-squared test	
	(n = 128)	(n = 97)	χ^2/Z	<i>p</i> -value
Age at menarche (y)	12 (11 – 17)	13 (9 – 18)	2.15	0.032
Use of oral contraceptives	2 (1.6)	2 (2.1)	0.08	0.779
Menstrual cycle length and regularity				
Regular menstrual cycles	96 (75.0)	55 (56.7)		
Irregular menstrual cycles	31 (24.2)	41 (42.3)	8.41	0.015
Amenorrheic	1 (0.8)	1 (1.0)		
Menstrual flow duration				
Normal menstrual flow	123 (96.1)	90 (92.8)		
Prolonged menstrual flow	3 (2.3)	6 (6.2)	2.22	0.330
Hypomenorrheic	2 (1.6)	1 (1.0)		
Increased appetite before menstruation	90 (70.3)	78 (80.4)	2.98	0.085
Physical symptoms affected training or competition	65 (50.8)	60 (61.9)	2.74	0.098
B. Para-athletes (n = 27)				
Characteristics	NWL	WL	Mann-Whitney <i>U</i> -test or Chi-squared test	
	(n = 14)	(n = 13)	χ^2/Z	<i>p</i> -value
Age at menarche (y)	12 (10 – 14)	13 (10 – 15)	0.30	0.765
Use of oral contraceptives	2 (14.3)	2 (15.4)	0.01	0.936
Menstrual cycle length and regularity				
Regular menstrual cycles	14 (100.0)	7 (53.8)		
Irregular menstrual cycles	0 (0.0)	6 (46.2)	8.31	0.004
Amenorrheic	0 (0.0)	0 (0.0)		
Menstrual flow duration				
Normal menstrual flow	14 (100.0)	11 (84.6)		
Prolonged menstrual flow	0 (0.0)	1 (7.7)	2.34	0.313
Hypomenorrheic	0 (0.0)	1 (7.7)		
Increased appetite before menstruation	5 (35.7)	9 (69.2)	3.03	0.082
Physical symptoms affected training or competition	9 (64.3)	13 (100.0)	5.70	0.017

Data are expressed as numbers (%) or medians (minimum – maximum).

2-4 考察

本研究の目的は、女性アスリートにおける体重管理と月経状況との関連性に関する検討を行うことであった。横断調査を実施した結果、正常月経を有する割合は大学生アスリートで約 67%、パラアスリートで約 78%であった。さらに大学生アスリートの約 75%、パラアスリートの約 52%は月経前に食欲が亢進すると回答し、大学生アスリートの約 76%、パラアスリートの約 85%は月経周期を考慮した体重・体組成管理の必要性があると回答した。大学生およびパラアスリートの両グループにおいて、WL 群は NWL 群よりも月経不順を有する割合が有意に高く、さらに大学生アスリートにおける WL 群は、NWL 群よりも疲労骨折の既往歴を有する割合が高かった。パラアスリートにおいて WL 群全員が、月経周期による身体症状がトレーニングや試合に影響を及ぼすと回答した。

競技の中でも特に LEA が懸念されるもの、つまり選手の体重や体型が競技へ大きな影響を及ぼす競技を分類すると、① 重力に対して自分の体をより速く移動させる、または跳躍などの動作を伴う競技（例. 陸上長距離、跳躍、クロスカントリースキーなど）、② 重量階級制競技（例. 柔道、ボクシング、ウェイトリフティングなど）、③ 審美系競技（例. 新体操、体操、フィギュアスケートなど）が挙げられる²⁾。本調査の対象者において LEA が懸念される競技に分類されるのは大学生アスリート 45 名 (20.0%)、パラアスリート 5 名 (14.8%) であったが、対象者全体の 40%以上に減量経験があった。さらに、減量経験のあるパラアスリートは約半数が月経不順であり、大学生アスリートにおいては減量経験のある群は、減量経験の無い群よりも月経不順の割合が高かった。LEA が長期化することにより、視床下部におけるゴナドトロピン放出ホルモンの周期的な分泌が阻害され、下垂体からの黄体形成ホルモンおよび卵胞刺激ホルモンの分泌が減少し、排卵が停止する¹²⁾。脊髄損傷を有するパラアスリートを対象とした先行研究によると、平均栄養素摂取量は推定平均必要量を下回っていたことを報告している¹⁰⁴⁾。つまり本研究の結果から、女性アスリートにおける減量の取り組みは、競技の違いおよび障がいの有無に関わらず LEA に起因する月経異常ひいては無月経を引き起こす可能性が示唆された。

本研究の大学生アスリートにおいて、WL 群は NWL 群よりも疲労骨折の既往歴を有する割合が有意に高い結果であった。10代の日本人女性アスリートを対象とした調査によると、無月経、低骨密度、LEA が疲労骨折のリスクファクターであることを報告している¹⁰⁵⁾。減量を目的とした食事制限は、エネルギーや栄養素の不足を招き、栄養不足の状態が長期化することによる骨の健康への影響が危惧される。さらに卵巣から分泌されるエストロゲンは

骨形成を促進する働きをもつことから、栄養不足によって引き起こされる無月経によるエストロゲンの分泌低下は、骨の脆弱性が高まり、疲労骨折の危険性を高める¹⁰⁶⁾。つまり、大学生女性アスリートにおける減量と疲労骨折の関連性が本調査によって示されたが、月経異常および無月経によるエストロゲン分泌の低下が骨の脆弱性を高めたことが疲労骨折の既往を増加させた要因のひとつとして考えられる。一方、パラアスリートにおいては、WL群とNWL群で疲労骨折の既往割合に差は認められなかった。脊髄損傷または二分脊椎など下肢が荷重を受けない身体状況の場合、下肢の骨折リスクが高まることが報告されている¹⁰¹⁾。エリートパラアスリートを対象としてLEA、月経状況および骨に関する調査によると、男性パラアスリートにおいて疲労骨折の既往歴を有したのは7.3%であったのに対し、女性パラアスリートは11.8%であり、さらに女性パラアスリートの44.0%が希発月経または無月経であったことを報告している¹⁰⁷⁾。つまり、パラアスリートはその障がいの状況により疲労骨折のリスクが上昇する危険性があり、さらに減量によるエネルギー不足がエストロゲン分泌を低下させることに起因する骨密度の低下を引き起こした場合、障がいのないアスリートよりも一層、疲労骨折のリスクを懸念すべきである。

先行研究により月経周期がアスリートのパフォーマンスに影響を及ぼすことが報告されている¹⁰⁸⁾。近年発表された総説論文によると、多くの女性アスリートにおいて卵胞期前期および黄体期後期にパフォーマンスが低下するという報告がある¹⁰⁸⁾。日本産婦人科学会によると「月経前、3～10日の間続く精神的あるいは身体的症状で、月経開始とともに軽快ないし消失するもの」を月経前症候群（premenstrual syndrome：PMS）と定義しており、具体的な症状として身体症状（下腹部膨満感、食欲亢進、腰痛、頭痛、浮腫、乳房緊満感など）と、精神症状（気分の変動、易怒性、抑うつ気分など）などがある³¹⁾。本研究は体重管理と月経状況の関連性を検討する目的から、月経前の食欲亢進に着目し調査を行った結果、大学生アスリートのおよそ75%、パラアスリートの約50%が月経前に食欲が亢進すると回答した。月経前の食欲亢進症状は、減量経験の有無による有意な差は認められなかったが、大学生アスリートの減量経験がある群の約80%、パラアスリートの減量経験がある群の約69%は食欲亢進症状があると回答した。以上のことから、減量経験の有無に関わらず女性アスリートの多くは月経周期による食欲の変化を感じていることが明らかとなった。

また月経期間中に月経に随伴して起こる病的症状を月経困難症といい³¹⁾、女性アスリートのコンディションに影響を与える症状のひとつと考えられる。2016年、リオデジャネイロパラリンピックに出場した選手を対象とした調査によると、月経前にみられる症状が競

技に影響を与えていると回答したアスリートは 91%であり、主な症状として「腰痛」が最も多く、次いで「いらいら（精神不安定）」、「気分の落ち込み」、「下腹部痛」が続いた。その他の身体症状として「胸の張り」「眠気」「むくみ」「体重増加」「食欲増加」などが挙げられていた⁹⁵⁾。さらに同調査において 7 割以上のアスリートは月経痛が競技に影響を与えていると回答した⁹⁵⁾。本研究において、減量経験のあるパラアスリート全員が月経周期による身体症状が競技に影響を及ぼすと回答したことから、減量と PMS または月経困難症による身体的な症状や痛み、関連性がある可能性が示唆された。さらに本調査対象者に含まれる脊髄損傷または脳性小児まひを有する場合、障がい起因する痛みを生じている可能性があることから¹⁰⁹⁾、月経周期によって生じる痛みや不快感が助長される可能性が考えられるが、アスリートの減量と痛みとの関連性については、さらなる研究が必要である。

本研究は、女性アスリートにおける体重管理と月経状況に関する調査を行い、月経周期による食欲亢進またはその他の心身症状が競技に影響すること、さらに減量の経験がある者は月経異常である割合が高いことを報告した初めての研究である。また対象者を大学生アスリートおよびパラアスリートとしたことにより、これまで当該分野における調査が十分に実施されてこなかった、パラアスリートの体重管理と月経状況を報告したことも本研究の強みのひとつであると考えられる。しかしながら本研究の限界として以下の点を挙げる。ひとつ目は、本研究はアンケート用紙を用いた横断研究であることから、栄養素摂取状況ならびに身長、体重の測定時期と方法が不明であり、得られた値の精度が保証されない点である。さらに減量を行った期間と程度を確認していないことから、エネルギーバランスを評価することができなかった点も本研究の限界点と考えられる。ふたつ目として、本研究の対象者は重量階級制競技および審美系競技であるウエイトリフティング、柔道および体操選手を含んでいたが、LEA および月経異常の危険性が高いとされる持久系競技の選手^{110, 111)}を含んでいないことである。また大学生アスリートの対象者は 225 名であったのに対しパラアスリートは 25 名にとどまり、障がいごとの特性ならびに体重管理と月経状況の関連性に関する根拠を示すためには、パラアスリートを対象とし規模を拡大した調査が必要である。

2-5 まとめ

本研究では大学生アスリートおよびパラアスリートを対象として、体重管理と月経周期との関連性を検討することを目的として、アンケートを用いた横断調査を実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 対象者の約 80%は月経周期を考慮した体重・体組成管理の必要性があると回答し、月経前（黄体期）に食欲が亢進する者はパラアスリートより大学生アスリートにおいて高い割合で認められ、大学生アスリートのうち減量経験がある群の約 80%は月経前に食欲が亢進すると回答した。

2) 大学生アスリートおよびパラアスリートにおいて、減量経験がある群は減量経験がない群よりも月経不順の割合が高かった。

3) 大学生アスリートにおいて、減量経験がある群は、減量経験がない群よりも疲労骨折の既往歴を有する割合が高かった。

以上の結果から、大学生アスリートおよびパラアスリートにおいて月経周期を考慮した体重・体組成管理の必要性は高く、多くの女性アスリートにおいて月経周期が食欲の変化に影響を及ぼしていることが明らかとなった。さらに障がいの有無に関わらず女性アスリートにおける減量の取り組みは月経異常につながる可能性が示された。

第3章

月経周期が食欲調整ホルモンおよび エネルギー摂取量に及ぼす影響

3-1 背景・目的

パフォーマンス向上のために体重を管理する必要があるアスリートにとって、食欲およびエネルギー摂取量のコントロールはコンディショニング課題のひとつといえる。我々が行った調査によると、大学生アスリートの70%以上が月経前に食欲が亢進すると回答し、そのうち減量経験がある者は減量経験がない者よりも疲労骨折の既往歴が多く、月経不順の割合が高かった¹¹²⁾。さらにパラアスリートにおいては、減量経験者は月経周期による身体症状がトレーニングや試合に影響を及ぼすと回答し、減量経験がない者よりもその割合は有意に高い値を示した¹¹²⁾。つまり、女性アスリートにおけるエネルギー摂取量の調整は月経周期と密接な関連性があり、月経不順や疲労骨折など健康を損なう危険性を伴っていると考えられる。女性アスリートの体重管理を考える上で月経の状況および月経周期に伴う心身症状の有無を考慮することが必要である。

月経周期とエネルギー摂取量に関する多くの先行研究により、卵胞期より黄体期に1日の平均エネルギー摂取量が増加することが報告されている⁴⁶⁻⁵⁰⁾。さらにアスリートは非アスリートの女性と比較して、黄体期に過食および食欲亢進症状を有する者の割合が高いことが示されていることから⁵²⁾、体重管理のための食欲およびエネルギー摂取量のコントロールを試みるうえで、月経周期を考慮する重要性は高いといえる。しかしながら、ヒトの月経周期における食欲およびエネルギー摂取量の変化の原因は明らかになっていない。卵巣ホルモンであるエストロゲンおよびプロゲステロンは中枢神経組織において摂食調節に関与していることが、動物実験によって明らかになっている。エストロゲンは食欲抑制作用を示し^{41,42)}、プロゲステロンは食欲亢進作用があることが報告されていることから⁴⁵⁾、エストロゲンとプロゲステロンは摂食に関して拮抗した作用をもつ可能性が示されている。ところが、ヒトにおける食欲亢進およびエネルギー摂取量の増加が認められる黄体期は両ホルモン濃度が上昇する時期であることから、卵巣ホルモンの摂食調節作用のみで、月経周期によるエネルギー摂取量の変化を説明することはできない。

摂食調節に関わるホルモンとして代表的なものに消化管から分泌されるホルモン（グレリン、PYY (Peptide YY)、CCK (Cholecystokinin))、および脂肪組織から分泌されるレプチンが挙げられる。消化管ホルモンのうち唯一食欲を亢進する作用をもつのが、胃で分泌されるグレリンである⁵⁴⁻⁵⁸⁾。グレリンは空腹時や飢餓時に分泌が亢進し、摂食によってその分泌は抑制されることが知られている^{54-58,62,63)}。グレリンと卵巣ホルモンとの関連性は、動物実験においてエストロゲンがグレリンの摂食亢進効果を抑制することが実証されている

一方で^{34, 40)}, ヒトにおいては月経周期によってグレリンの血中濃度に変化が認められなかったこと⁶⁴⁾, また黄体期の食欲亢進症状とグレリンには有意な関連性が認められなかったこと¹¹³⁾が報告されていることなどから, ヒトの月経周期によるエネルギー摂取量の変化との関連性は明らかになっていない。また, 食後に小腸から分泌される食欲抑制ホルモン PYY, CCK は求心性迷走神経を介してエネルギー摂取を抑制する働きをもつ⁵⁴⁾。ヒトを対象とした先行研究によると, 空腹時の血中 PYY は卵胞期前期(月経期)より黄体期に有意に低値であったことを報告している⁷¹⁾。しかしながら, 月経周期による主観的食欲ならびにエネルギー摂取量の変化と PYY について検討した研究は現時点で見当たらない。CCK も同様に, ヒトの月経周期とエネルギー摂取量の変化との関連性を検討した論文は少ない。Brennan ら(2009)は, 主観的空腹感および1日の平均エネルギー摂取量は卵胞期より黄体期に有意に多かったが, 糖負荷試験後の CCK は月経周期で変化しなかったことを報告している⁷⁷⁾。

脂肪細胞から分泌されるレプチンは, 視床下部弓状核のニューロンに発現する受容体に結合することで食欲を抑制する作用をもつホルモンである^{7, 41)}。エストロゲンは視床下部弓状核の食欲亢進作用を示すニューロン, 神経ペプチド Y (neuropeptide Y: NPY) を抑制する作用があるが, エストロゲンの受容体が存在しないため, その作用はレプチン受容体を介したものであると考えられている⁴¹⁾。また食欲抑制ニューロンであるプロピオメラノコルチン (pro-opiomelanocortin: POMC) のレプチン受容体の発現を亢進させ, レプチンの作用を増強する^{41, 42)}。血漿レプチン濃度は黄体期に上昇することがいくつかの研究によって報告されており, 女性ホルモンがレプチン分泌のトリガーの作用をしている可能性を示している¹¹⁴⁻¹¹⁶⁾。しかし, 黄体期に食事量の増加または食欲亢進症状などの心身症状を呈する月経前症候群 (Premenstrual syndrome: PMS), または精神症状が強く人間関係や社会生活に影響を及ぼす症状を呈する月経前不快気分障害 (Premenstrual Dysphoric Disorder: PMDD) と血中レプチン濃度の関連性を検討した研究の結果は, 一致していない^{66, 113)}。つまりレプチンの中枢神経系における食欲抑制作用は明らかであり, 月経周期との関連性も認められているにも関わらず, レプチンと月経周期による摂食量の変化および食欲亢進に関する明確なメカニズムは明らかになっていない。以上のことから, 摂食は様々なホルモンの働きによってコントロールされていることがわかるが, 月経周期による主観的食欲およびエネルギー摂取量の変化との関連性を検討した研究は少なく, 各種ホルモンによる摂食調節機能と月経周期によるエネルギー摂取量の変化との関連性は明らかになっていない。

そこで本研究では, 月経周期における主観的食欲およびエネルギー摂取量の変化と食欲

調整ホルモンとの関連性を明らかにすることを目的とした。仮説として、卵巣ホルモンまたは食欲調整ホルモンは主観的食欲またはエネルギー摂取量と関連性があり、さらに卵巣ホルモン濃度が異なる卵胞期前期と黄体期中期では、血中ホルモンと食欲およびエネルギー摂取量との関連性が異なるとした。

3-2 方法

3-2-I 対象者

第2章「女性アスリートの体重管理と月経状況に関する横断調査」において、月経前に食欲が亢進すると回答した対象者のうち、減量または増量を意図的に行っていない大学生女子ソフトボール選手 15 名を対象とし、参加者全員に対して実験に関する説明を行った後、同意書の署名を得た。対象者が未成年（20 歳以下）の場合、保護者または責任者の同意署名を得た。対象者の練習頻度は週 6 日であり、全国大会優勝経験のあるチームに所属する選手であった。対象者は減量を行っていないこと、喫煙をしていないこと、サプリメントの摂取していないこと、疾病（貧血、糖尿病、ぜんそく、腎臓、循環器疾患、精神疾患、甲状腺疾患、婦人科系疾患）の診断を受けたことが無いこと、妊娠をしていないこと、ホルモン剤の使用が無いこと、正常月経（月経周期 25–38 日）³⁾であることを確認した。研究参加の同意を得た後に 4 名が月経不順となり、1 名が選手からマネージャーに転向したため、5 名を対象者から除外し、10 名を本研究の対象者とした。対象者の月経周期は試験開始前 3 ヶ月間の月経状況を確認し、実施日を決定した。さらに試験当日の血清エストロゲンおよびプロゲステロン濃度を測定し、月経周期の確認を行った。本研究は、日本体育大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（NO. 017-H096）。

3-2-II 実験プロトコル

対象者は月経周期の卵胞期前期と黄体期中期に試験を行う、クロスオーバーデザインとした。卵胞期前期の試験は月経開始から 1～5 日以内に実施し、黄体期中期の試験は月経開始から 18～30 日に実施した。対象者のうち 4 名は初回の試験を卵胞期に実施し、6 名は黄体期に実施した。

実験当日、対象者は最低 10 時間以上の絶食（水以外の飲食を禁止）した状態で、8:30 または 9:30 に実験室に来室した。到着後、体重および体組成の計測を行い、主観的食欲を測定した（詳細は「主観的食欲」の項を参照）。その後、肘正中皮静脈より採血を行った。

3-2-III エネルギー摂取量

対象者に、実験室来室日を含む連続した 3 日間の食事の記録を依頼し、記録方法は、書面および口頭にて対象者に伝えた。食事の記録方法は、携帯電話のカメラ機能を使用した食事写真の撮影および記録用紙へのメニュー名、食品名、調理法の記入とした。加工食品に関し

では、可能な限りパッケージや栄養成分表示の写真の撮影を依頼した。実験室来室 1 日目に、管理栄養士が対象者に食事記録の内容の確認を行った。

3-2-IV 主観的食欲

食欲の主観的な評価を行うために、100 mm の視覚的アナログスケール (Visual analog scale: VAS) を用いた¹¹⁷⁾。尺度は下記の 4 つの質問、「空腹感」「満腹感」「どのくらい食べられるか」「満足感」で構成されている。対象者は 10 時間以上の絶食後、実験室に来室し身体計測後に VAS の記入を依頼した。VAS の 0 mm と 100 mm には、それぞれ「全くない」と「非常にある」という言葉を記した。4 つの食欲評価の結果から、食欲スコアを算出した【満足感 + 満腹感 + (100 - 空腹感) + (100 - どのくらい食べられるか) / 4】¹¹⁸⁾。食欲スコアが高いほど、食欲が「ない」ことを示す。

3-2-V 血液分析

静脈血サンプルは、採取後直ちに採血管 (Venoject II, テルモ株式会社, 東京, 日本) に移した。血清サンプルはエストロゲン, プロゲステロン, Total PYY, CCK, レプチンの濃度を分析した。血液サンプルは室温 (20-22°C) で 30 分間凝固させた後, 4°C 3000rpm で 10 分間遠心分離し, その後血清サンプルを 2 本のマイクロチューブに分けた。1 本のチューブはエストロゲンおよびプロゲステロンの測定を行うまで 5°C で冷蔵保管した。もう 1 本のチューブは Total PYY, CCK, およびレプチンの測定を行うまで -80°C で冷凍保管した。エストロゲンおよびプロゲステロンの濃度は, 化学発光免疫測定法により測定した (エストロゲン: Alinity G06284R06, アボットジャパン合同会社, 東京, 日本; プロゲステロン: Alinity 470736R03, アボットジャパン合同会社, 東京, 日本)。血清中の Total PYY, CCK およびレプチンは, 酵素結合免疫吸着測定法 (Total PYY: YK080, 株式会社矢内原研究所, 静岡, 日本; CCK: CEA802Hu, cloud-clone, テキサス, アメリカ合衆国; レプチン: HL-81HK, EMD Millipore, オンタリオ, カナダ) を用いて 2 重測定を行った。変動係数はエストロゲン 1.9%, プロゲステロン 3.4%, Total PYY 4.3%, CCK 2.9% およびレプチン 3.8% であった。活性型グレリンは血漿サンプルを用いて測定を行った。静脈血サンプルを, EDTA-アプロチニン採血管 (Venoject II, テルモ株式会社, 東京, 日本) に採取し, 直ちに 4°C 3000rpm で 10 分間遠心分離を行った後に, 血漿サンプルをマイクロチューブに移し, 300 μ L の血漿に 30 μ L の 1mol/L 塩酸を加え, 測定を行うまで -80°C で冷凍保管した。活性型グレリンは酵素

結合免疫吸着測定法 (Active ghrelin: ELISA kit, SCETI, 東京, 日本)を用いて二重に測定した。活性型グレリン測定時の変動係数は1.6%であった。

3-2-VI 統計解析

全てのデータ分析は、統計解析ソフト IBM SPSS Ver. 25.0 for Windows (SPSS, Inc., シカゴ, アメリカ合衆国)を用いて行った。対象者の身体的特徴, 血中ホルモン, エネルギー摂取量, 栄養素摂取量, および主観的食欲は, 正規性の検定 (Kolmogorov-Smirnov 検定)を用いて評価した後に, 対応のある t 検定またはウィルコクソンの符号順位和検定を用いて卵胞期前期と黄体期中期で比較した。エネルギー摂取量は, 3 日間の平均エネルギー摂取量を体重で除し, 体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量を算出した。体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量および主観的食欲 (食欲スコア) と血中ホルモンの相関について, スピアマンの順位相関係数を用いて算出した。統計的有意水準は 5%とし, 全ての結果は平均値±標準偏差 (Standard deviation: SD) で示した。また t 分布と自由度 (n-1) を用いて, 95%信頼区間 (The 95% confidence intervals: CI) を算出した。効果量は全ての t 検定について Cohen's d を用いて, $d = 0.2$ は「小」, $d = 0.5$ は「中」, $d = 0.8$ は「大」とした¹¹⁹⁾。

3-3 結果

3-3- I 対象者

10名の対象者（年齢 20.6 ± 0.7 歳，身長 159.2 ± 2.8 cm）のうち4名は卵胞期前期に最初の試験を実施し，6名は黄体期中期に最初の試験を行った．対象者の体格および体組成は，卵胞期前期（体重 59.8 ± 7.9 kg; BMI 23.6 ± 2.9 kg/m²; 体脂肪率 $21.9 \pm 6.3\%$ ），黄体期中期（体重 59.6 ± 7.6 kg; BMI 23.5 ± 2.7 kg/m²; 体脂肪率 $22.3 \pm 5.4\%$ ）であった．試行間で比較した結果，体重（95% CI $-0.2 - 0.5$ kg, $P = 0.371$, $d = 0.02$ ），BMI（95% CI $-0.1 - 0.2$ kg/m², $P = 0.298$, $d = 0.03$ ），および体脂肪率（95% CI $-1.8 - 0.9$ %, $P = 0.483$, $d = 0.08$ ）に有意な差は認められなかった．対象者の月経周期は 30.9 ± 1.5 日であった．

3-3- II 血中ホルモン濃度・主観的食欲

Table 5 に卵胞期前期および黄体期中期の血中ホルモン濃度および主観的食欲の平均値を示した．CCK の測定に関して，対象者1名の値が検出できなかったため除外し，9名分の結果を示した．エストロゲンとプロゲステロン濃度は，黄体期中期が卵胞期前期より有意に高い値を示した（95%CI $225.5 - 74.1$ pg/mL, $P = 0.002$, $d = 2.16$; 95%CI $11.8 - 6.6$ ng/mL, $P < 0.001$, $d = 3.58$ ）．また，黄体期中期の判定にはプロゲステロン濃度が 5.1 ng/mL 以上であることを基準として用い^{120,121}），黄体期中期として実施した試行のプロゲステロン濃度は全てこの基準を満たしていた．活性型グレリン，Total PYY，CCK，レプチンの血中濃度，および主観的食欲（空腹感，満腹感，どのくらい食べられるか，満足感，および食欲スコア）は，卵胞期前期と黄体期中期で有意な差は認められなかった．

Table 5. The hormone concentrations and subjective appetite scores in the early follicular phase and the mid luteal phase trials.

	The early follicular phase	The mid luteal phase	<i>P</i> value
Estradiol (pg/mL)	29.1 ± 19.2	178.9 ± 96.3	0.002 ^a
Progesterone (ng/mL)	0.31 ± 0.14	9.51 ± 3.63	< 0.001 ^a
Acylated ghrelin (fmol/mL)	21.7 ± 14.5	21.9 ± 18.3	0.937 ^a
Total PYY (ng/mL)	0.56 ± 0.29	0.61 ± 0.41	0.272 ^a
CCK (pg/mL)	37.4 ± 22.3	37.5 ± 17.2	0.990 ^a
Leptin (pg/mL)	7221 ± 3166	8003 ± 4133	0.421 ^a
Hunger (mm)	58.3 ± 23.0	66.3 ± 18.7	0.241 ^b
Fullness (mm)	31.6 ± 24.3	23.3 ± 21.2	0.169 ^b
Prospective food consumption (mm)	64.9 ± 17.0	71.1 ± 14.5	0.247 ^a
Satiety (mm)	28.6 ± 18.2	25.5 ± 13.8	0.333 ^a
Overall appetite score	34.2 ± 19.7	27.9 ± 13.6	0.241 ^b

Values are expressed as mean ± SD. ^a Paired Student's *t*-test. ^b Wilcoxon's test. Total PYY, total PYY; CCK, cholecystokinin.

3-3-III エネルギー摂取量

Table 6 に、1日のエネルギー摂取量、体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量、たんぱく質、脂質、炭水化物の摂取量およびエネルギー比率を示した。1日の平均エネルギー摂取量は卵胞期前期に 2063.3 ± 366.0 kcal、黄体期中期に 2243.7 ± 217.2 kcal であり、体重 1 kgあたりに換算したエネルギー摂取量は卵胞期前期に 34.7 ± 5.9 kcal、黄体期中期に 38.2 ± 6.2 kcal であり、それぞれ試行間で有意な差は認められなかった ($P = 0.074$; 95%CI $-7.4 - 0.5$ kcal/kg/day, $P = 0.082$, $d = 0.57$)。たんぱく質、脂質、炭水化物の摂取量およびエネルギー比率も、卵胞期前期と黄体期中期で有意な差は認められなかった。

Table 6. Energy and macronutrients intake in the early follicular phase and the mid luteal phase trials.

	The early follicular phase	The mid luteal phase	<i>P</i> value
Energy intake (kcal/day)	2063.3 ± 366.0	2243.7 ± 217.2	0.074 ^b
Energy intake (kcal/kg/day)	34.7 ± 5.9	38.2 ± 6.2	0.082 ^a
Protein (g/day)	71.4 ± 11.8	75.4 ± 11.7	0.404 ^a
% of energy from protein	14.0 ± 2.0	13.4 ± 1.5	0.498 ^a
Fat (g/day)	69.1 ± 14.8	71.4 ± 12.4	0.695 ^a
% of energy from fat	30.2 ± 3.9	28.7 ± 4.2	0.331 ^a
Carbohydrate (g/day)	278.5 ± 59.8	315.9 ± 43.3	0.059 ^a
% of energy from carbohydrate	55.8 ± 4.7	57.9 ± 5.2	0.243 ^a

Values are expressed as mean ± SD. ^a Paired Student's *t*-test. ^b Wilcoxon's test.

3-3-IV エネルギー摂取量と血中ホルモンの相関

体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量と卵巣ホルモン，食欲調整ホルモンの相関を Table 7 に示した。卵胞期前期において，体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量とエストロゲンおよび CCK は有意な負の相関が認められた ($r = -0.74, P = 0.01$; $r = -0.78, P = 0.01$)。黄体期中期においては，体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量と卵巣ホルモンおよび食欲調整ホルモンに有意な相関関係は認められなかった。

Table 7. The correlations between energy intake (/kg body weight) and hormones during menstrual cycle.

	The early follicular phase		The mid luteal phase	
	r	<i>P</i> value	r	<i>P</i> value
Estradiol (pg/mL)	-0.74	0.01	0.19	0.60
Progesterone (ng/mL)	0.11	0.77	0.42	0.23
Acylated ghrelin (fmol/mL)	0.01	0.99	-0.18	0.63
Total PYY (ng/mL)	0.12	0.75	-0.19	0.60
CCK (pg/mL)	-0.78	0.01	0.42	0.27
Leptin (pg/mL)	0.09	0.80	-0.07	0.86

Total PYY, total PYY; CCK, cholecystokinin.

3-3-V 主観的食欲と血中ホルモン濃度の相関

「空腹感」「満腹感」「どのくらい食べられるか」「満足感」の4つの質問結果から算出した食欲スコア(スコアが高いほど食欲が「ない」ことを示す)と卵巣ホルモンおよび食欲調整ホルモンとの相関関係を検討した結果を Table 8 に示した。卵胞期前期において、食欲スコアと全てのホルモン値の間に有意な相関関係は認められなかった。黄体期中期においては、食欲スコアと Total PYY および CCK との間に有意な正の相関が認められた ($r = 0.69$, $P = 0.03$; $r = 0.75$, $P = 0.02$)。

Table 8. The correlations between overall appetite score and hormones during the menstrual cycle.

	The early follicular phase		The mid luteal phase	
	r	<i>P</i> value	r	<i>P</i> value
Estradiol (pg/mL)	0.07	0.85	-0.44	0.20
Progesterone (ng/mL)	-0.11	0.77	-0.01	0.99
Acylated ghrelin (fmol/mL)	-0.15	0.68	-0.15	0.68
Total PYY (ng/mL)	0.27	0.45	0.69	0.03
CCK (pg/mL)	-0.08	0.83	0.75	0.02
Leptin (pg/mL)	0.49	0.15	0.03	0.93

Total PYY, total PYY; CCK, cholecystokinin.

3-4 考察

本研究は、女性アスリートを対象に月経周期にともなう主観的食欲およびエネルギー摂取量の変化と、食欲調整ホルモンとの関連性を明らかにすることを目的として、卵胞期前期と黄体期中期にそれぞれ実験を行った。その結果、エネルギー摂取量、主観的食欲、および食欲調整ホルモンは卵胞期前期と黄体期中期で有意な差は認められなかった。月経周期とエネルギー摂取量の関連性を調査した多くの先行研究によると、エネルギー摂取量は卵胞期より黄体期に増加することが報告されている⁴⁶⁻⁵⁰。McNeilら（2012）の総説論文によると、卵胞期と黄体期でエネルギー摂取量を比較した先行研究が報告した1日のエネルギー摂取量の差は、87～500 kcalであった⁴⁶。本研究におけるエネルギー摂取量は卵胞期前期の平均値は2063 kcal/日、黄体期中期の平均値は2244 kcal/日であり、その差は約180kcal/日であった。つまりフェーズ間で有意な差は認められなかったものの、先行研究を支持する結果であったと考えられる。また、本研究では食事調査を行った3日間のうち、初日は22時以降の飲食を禁止し（飲水のみ可）、2日目は朝食を摂らずに実験室へ来室する様に対象者に依頼したことが、対象者の摂食行動を制限した可能性がある。

さらに本研究においては事前に実施した横断調査により「月経前に食欲が亢進する」と回答した者を対象者として実験を行ったが、主観的食欲は月経周期による有意な差は認められなかった。本研究と同様に、日本人大学生アスリートを対象とした調査によると、非アスリートと比較して黄体期の過食および食欲亢進症状を示す割合が高いことが報告されている⁵²。しかし、先行研究で用いた質問紙はPMSの症状を判定するものであり、過去3カ月において月経前1週間から月経開始直後までに認められた症状の程度を回答する方法であった⁵²。本研究は、早朝空腹時の食欲についてVASを用いて評価し、異なる月経周期で比較を行った初めての研究であり、その結果卵胞期前期と黄体期中期では有意な差は認められなかった。

消化管から分泌される食欲調整ホルモン（活性型グレリン、Total PYY、CCK）および主に脂肪細胞から分泌されるレプチンは、本研究において卵胞期前期と黄体期中期で比較した結果、有意な差は認められなかった。食欲調整ホルモンのうち唯一、食欲亢進作用が確認されている活性型グレリンは、空腹時に胃からの分泌が亢進し、摂食によってその分泌が抑制される^{54-58,62,63}。正常月経を有する女性の空腹時の血中グレリン濃度は月経周期によって変化しないことが先行研究によって明らかとなっているが⁶⁴、本研究の対象者であるアスリートにおいても同様の結果が得られた。

月経周期と PYY に関する検討を行った先行研究において、空腹時の PYY 濃度は卵胞期初期より黄体期に低値を示したことが示されている⁷¹⁾。PYY は長期的なエネルギーバランスの調節にも関与しているが¹²²⁾、多くの女性アスリートや身体活動量の多い女性において、摂取エネルギーが不足した状態であることが報告されている¹²³⁾。つまり、本研究の対象者である女性アスリートにおいては月経周期の影響よりも日常的なエネルギーバランスが、PYY の血中濃度に影響を及ぼしている可能性も考えられる。また、摂食により腸管で分泌される CCK の食欲抑制作用は、エストロゲンによって亢進されることが動物実験によって明らかとなっているが⁷⁶⁾、ヒトの月経周期との関連性は不明である。本研究はヒトにおいて空腹時の CCK は月経周期によって変化しないことを報告する初めて研究である。

脂肪細胞によって産生されるレプチンは、エネルギーバランスを調節する末梢シグナルとして知られている⁷⁾。月経周期とレプチンの関連性を検討した先行研究によると、黄体期にレプチンの増加を報告するものが散見され、それらはエストロゲンがレプチン分泌のトリガーの作用をしている可能性を示している¹¹⁴⁻¹¹⁶⁾。また女性アスリートを対象とした先行研究においても、正常月経のアスリートは卵胞期より黄体期にレプチン濃度の上昇を示したが、レプチンとエストロゲンおよびエネルギー摂取量との間に相関関係は認められなかったことを報告している¹²⁴⁾。ところが、レプチンと卵巣ホルモンに関して有意な相関関係があったことを報告する先行研究もあり^{115,116)}、レプチンと卵巣ホルモンの相関に関する先行研究の見解は一致していない。先行研究結果の見解不一致ならびに本研究の結果から考えられることは、月経周期によるレプチンと卵巣ホルモンおよびエネルギー摂取量との関連性は間接的なものであり、対象者の体格や体組成が関与している可能性である。

中枢神経組織においてエストロゲンは摂食抑制作用がある一方で、プロゲステロンは摂食亢進作用をもつ可能性が示されているが、これらは動物実験において得られた結果であり、ヒトの月経周期とエネルギー摂取量および食欲の変化を説明できるメカニズムの解明には至っていない^{33,34)}。本研究では、卵胞期前期に体重 1 kgあたりのエネルギー摂取量とエストロゲンおよび CCK との間に有意な負の相関が認められた。さらに黄体期中期において、食欲スコアは Total PYY および CCK と有意な正の相関関係が認められた。つまり、黄体期中期における主観的な食欲と食欲抑制ホルモンの関連性が示唆された。エストロゲンは、延髄孤束核における CCK の食欲抑制作用を亢進することが明らかとなっていることから⁷⁶⁾、本研究における卵胞期前期のエネルギー摂取量とエストロゲンおよび CCK との負の相関は、先行研究によって示された食欲抑制作用を示すホルモンの働きと一致すると考え

られる。卵胞期前期は月経周期のうちエストロゲン濃度が最も低い時期ではあるが、同時に食欲亢進作用をもつプロゲステロン濃度も低い時期であるため、エストロゲンの食欲抑制作用が実際のエネルギー摂取量との関連性を示した可能性が考えられる。実際に、エストロゲンとプロゲステロンの両ホルモン濃度が上昇する黄体期中期においては、エネルギー摂取量および主観的食欲と卵巣ホルモンに有意な相関関係は認められなかった。ところが黄体期中期においては食欲スコアと食欲抑制ホルモンである Total PYY および CCK との間に有意な相関関係が認められたことから、黄体期における食欲は卵巣ホルモンの直接的な影響は認められず、食欲調整ホルモンである Total PYY および CCK を介して影響を及ぼす可能性が示された。

本研究の対象者は身体障がいを持っていない女性アスリートであった。身体障がいのうち、脊髄損傷を有する者と身体障がいの無い男性を対象に、食欲調整ホルモンならびに主観的食欲を調査した先行研究によると、空腹時と食後の両タイミングにおいて活性型グレリン、Total PYY はグループ間で有意な差は認められなかったものの、食後の満腹感と満足感は脊髄損傷者のグループが有意に高かったことを報告している¹²⁵⁾。つまり、脊髄損傷による身体の障がいは食欲調整ホルモンの分泌に影響を与えないが、主観的な食欲は障がいの無い者と異なる反応を示す可能性が考えられる。脊髄損傷を有する女性における食欲調整ホルモンの関連性を検討した先行研究は現時点で見当たらないため、今後、脊髄損傷を有する女性を対象として、異なる月経周期のフェーズで食欲調整ホルモンおよび主観的食欲の変化を検討することにより、パラアスリートにおける月経周期と食欲およびエネルギー摂取量の関連性を明らかにする一助となる。

本研究は正常月経を有する女性アスリートを対象に、異なる月経周期で食欲調整ホルモン（活性型グレリン、Total PYY、CCK、レプチン）とエネルギー摂取量および主観的食欲の関連性を検討した初めての研究である。食後に消化管で分泌される Total PYY および CCK と月経周期に関する検討は、食後の胃内容排出時間を用いて評価した先行研究が確認されているが^{71, 77)}、月経周期における空腹時の PYY および CCK と 1 日のエネルギー摂取量および主観的食欲との関連性を検討した研究は現時点で見当たらない。本研究の限界点として、1 点目として空腹時のみの食欲調整ホルモンと 1 日の平均エネルギー摂取量に関して検討を行ったことを挙げる。食欲調整ホルモンのうち主に食後に分泌される Total PYY ならびに CCK の評価としては食後の反応を評価することが必要であると考えられ、今後は食事ならびに運動負荷を実施し、アスリートの通常の生活様式に近づけた形の研究デザインで

の実施が望まれる。2点目として、対象者の人数は10名にとどまったことから、血中ホルモン濃度とエネルギー摂取量および主観的食欲の関連性を検討するに当たり、今後は対象者を増加しての検討を行うことが望ましいと考える。

本研究は女性アスリートを対象として、卵胞期前期と黄体期中期に空腹時の食欲調整ホルモンと1日のエネルギー摂取量、および主観的食欲を検討した。その結果、月経周期による食欲調整ホルモン、エネルギー摂取量および主観的食欲の変化は認められなかった。卵胞期前期において、体重1kg当たりのエネルギー摂取量とエストロゲンおよびCCKとの間に有意な負の相関が認められ、黄体期中期においては主観的食欲とTotal PYYおよびCCKとの間に正の相関が認められた。以上の結果から、月経周期によってエネルギー摂取量および主観的食欲の調整因子が異なる可能性が示唆された。

3-5 まとめ

本研究は女性アスリートを対象に月経周期が早朝空腹時の食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量に与える影響について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 早朝空腹時の食欲調整ホルモン、主観的食欲、および1日の平均エネルギー摂取量は月経周期によって変化しなかった。

2) 卵胞期前期において、体重1kg当たりのエネルギー摂取量とエストロゲンおよびCCKとの間に有意な負の相関が認められた。

3) 黄体期中期において、食欲スコアとTotal PYYおよびCCKとの間に正の相関が認められた。

以上の結果から、女性アスリートの空腹時の食欲調整ホルモン（活性型グレリン、Total PYY、CCK）、主観的食欲、およびエネルギー摂取量は月経周期によって変化しないが、主観的食欲ならびにエネルギー摂取量は、卵胞期前期と黄体期中期においてそれぞれ異なるホルモンの影響を受ける可能性が示唆された。

第4章

月経周期が一過性運動に伴う食欲調整ホルモン

およびエネルギー摂取量に及ぼす影響

4-1 背景・目的

食事や運動は、食欲およびエネルギー摂取量の調整に影響を与える主要な行動であり、それらは体格やホルモン分泌に影響を与え、エネルギーバランスを調整する¹²³⁾。エネルギー摂取量の調整は主に脳内視床下部で行われ、ホルモンや栄養素などを介して末梢からの信号を受け取る⁵⁴⁾。ペプチド YY (Peptide YY:PYY) とコレシストキニン (Cholecystokinin:CCK) は、主に食後に消化管から分泌されるホルモンであり食欲抑制作用を示す^{54,66,67)}。一方、唯一食欲亢進作用を示す消化管ホルモンとして、胃から分泌されるグレリンが確認されている⁵⁴⁻⁵⁸⁾。なかでも活性型グレリンは、非活性型グレリンよりも食欲を刺激する作用が強いことが報告されている¹²⁶⁾。

競技力向上のために体重を調整する必要があるアスリートにとって、食欲のコントロールはコンディショニング課題のひとつといえる。食欲はエネルギーバランスのみならず様々な要因の影響を受けるが、食欲に影響を及ぼす要因の一つとして月経周期が挙げられる。月経周期に伴う性ホルモン濃度と食欲、およびエネルギー摂取量の変化に関して、これまで多くの研究が行われてきた^{33,34)}。月経周期のうち、卵巣から分泌されるホルモンであるエストロゲンおよびプロゲステロン濃度が低い卵胞期と比較して、両ホルモン濃度が上昇する黄体期に、食欲亢進またはエネルギー摂取量が増加することが、ヒトを対象とした研究において報告されている⁴⁶⁻⁵⁰⁾。エストロゲンは、視床下部において食欲抑制ニューロンを直接およびレプチン受容体を介して間接的に刺激することが確認されている^{41,42)}。一方、プロゲステロンは食欲亢進ニューロンを刺激し、さらに食欲抑制ニューロンの活性を抑制することにより、エネルギー摂取量を増加させる働きが動物実験において確認されている⁴⁵⁾。さらにヒトにおいては、プロゲステロンおよびエストロゲン/プロゲステロン比率が食後の胃内容排出時間と相関することを報告しており、卵巣ホルモンがエネルギー摂取量の調整に間接的に関与する可能性が示唆されている⁷¹⁾。しかしながら、ヒトの月経周期におけるエストロゲンとプロゲステロンの濃度変化と、食欲およびエネルギー摂取量の変化との関連性は明らかになっていない。

近年、多くの研究により高強度運動後に引き起こされる一過性の食欲不振と食欲調整に関わる消化管ホルモンの血中濃度との関連性が示されている⁸²⁻⁹²⁾。先行研究のうち女性を対象とした研究は少なく、女性を対象者に含む研究においては性ホルモンの影響を排除する目的から、卵胞期に実験を実施したことを示している¹²⁷⁻¹³¹⁾。一過性運動による食欲調整ホルモンおよび食欲への影響の性差を、女性は卵胞期に実験を行うことを条件として検討

した先行研究によると、活性型グレリン、PYY、主観的食欲、および相対的エネルギー摂取量に対する一過性運動の影響に関して、性差は認められなかったことを報告している¹³⁰⁾。

活性型グレリンは月経周期で変化しないが^{64,65)}、PYYは月経周期によって変化することが先行研究により示されていることから⁷¹⁾、一過性運動による食欲調整ホルモンへの影響は月経周期によって変化する可能性が考えられるが、月経周期の異なるフェーズで食欲調整ホルモンに対する一過性運動の影響について検討した研究は見当たらない。

そこで本研究は、女性アスリートを対象として一過性持久性運動が食欲調整ホルモンに及ぼす影響に関して、月経周期において卵巣ホルモン濃度が異なる卵胞期前期と黄体期中期で比較することを主な目的とした。さらに一過性運動後の主観的食欲およびエネルギー摂取量を卵胞期前期と黄体期中期で比較することを副次的な目的とした。仮説として、両フェーズにおいて、一過性運動後に活性型グレリンは減少し、PYYならびにCCKは増加するとした。さらに黄体期中期に増加するエストロゲンが中枢におけるCCKの食欲抑制作用を助長することにより、黄体期中期における運動後の主観的食欲およびエネルギー摂取量は抑制され、卵胞期前期と同等か低い値を示すとした。

4-2 方法

4-2-I 対象者

第2章「女性アスリートの体重管理と月経状況に関する横断調査」において、月経前に食欲が亢進すると回答した対象者のうち、減量または増量を意図的に行っていない大学生女子ソフトボール選手 15 名を対象とし、参加者全員に対して実験に関する説明を行った後、同意書の署名を得た。対象者が未成年（20 歳以下）の場合、保護者または責任者の同意署名を得た。練習頻度は週 6 日であり、全国大会優勝経験のあるチームに所属する選手であった。対象者は減量を行っていないこと、喫煙をしていないこと、サプリメントの摂取していないこと、疾病（貧血、糖尿病、ぜんそく、腎臓、循環器疾患、精神疾患、甲状腺疾患、婦人科系疾患）の診断を受けたことが無いこと、妊娠をしていないこと、ホルモン剤の服用が無いこと、正常月経（月経周期 25–38 日）³¹⁾であることを確認した。研究参加の同意を得た後に 4 名が月経不順となり、1 名が選手からマネージャーに転向したため、5 名を対象者から除外し、10 名を本研究の対象者とした。対象者の月経周期は試験開始前 3 ヶ月間の月経状況を確認し、実施日を決定した。さらに試験当日の血清エストロゲンおよびプロゲステロン濃度を測定し、月経周期の確認を行った。本研究は、日本体育大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（NO. 017-H096）。

4-2-II 事前測定

本測定実施前 4 週間以内に、下記に示す体力測定を行った。身長は、身長計を用いて 0.1 cm の単位で測定した（YG-200, 株式会社ヤガミ, 愛知, 日本）。体重は 0.1kg 単位で測定し、体組成はインピーダンス法を用いて測定した（InBody 770, 株式会社インボディ・ジャパン, 東京, 日本）。身長と体重の値から体格指数（Body Mass Index: BMI）を算出した。対象者の最高酸素摂取量は自転車エルゴメーターを用いて測定した（Corival 1000S; Lode B.V Medical Technology, フローニンゲン, オランダ）。運動中の心拍数の測定は遠隔測定機器を用いた（Polar V800, Polar Electro, ニューヨーク, アメリカ合衆国）。40 ワットで 2 分間のウォーミングアップを行い、60 ワットでテストを開始した。15 分まで、3 分ごとに 30 ワットずつ負荷を増やし、その後は 1 分ごとに 10 ワットずつ増やし、疲労困憊まで行った¹³²⁾。テスト中はペダルの回転数を 60 rpm を維持するように指示した。疲労困憊の判断基準は、ペダルの回転数が 60 rpm 未満になった時点、または自覚的運動強度ボルグスケール（Rate of perceived exertion: RPE, The Borg Scale）が 20 に達した場合（最大値 = 20）とした¹³³⁾。安静時心拍数

と自転車運動によって得た最高心拍数を用いて、最大心拍予備能（Heart rate reserve: HRR）の 70%の心拍数を算出した。

4-2-III 実験プロトコル

実験プロトコル図を Figure 3 に示した。対象者は月経周期の卵胞期前期と黄体期中期に試験を行う、クロスオーバーデザインとした。卵胞期前期の試験は月経開始から 1～5 日以内に実施し、黄体期中期の試験は月経開始から 18～30 日に実施した。対象者のうち 4 名は初回の試験を卵胞期に実施し、6 名は黄体期に実施した。

実験当日、対象者は最低 10 時間以上の絶食（水以外の飲食を禁止）した状態で、8:30 または 9:30 に実験室に来室した。到着後、体重および体組成の計測を行い、主観的食欲を測定した（詳細は「主観的食欲」の項を参照）。対象者には、試験実施中に食べ物に関する内容の写真や動画を見ないように依頼した。留置針を用いて安静時の採血を実施した後に、自転車エルゴメーターを用いて 9:00 または 10:00 から運動を開始した。HRR 70%を目標強度に設定し、5 分間のウォーミングアップを含む 60 分間実施した。運動中の心拍数と RPE は遠隔測定機器（Polar V800, Polar Electro, ニューヨーク, アメリカ合衆国）およびボルグスケールを用いて記録を行った。運動後、対象者は実験室内で 90 分間の安静をとった（読書、スマートフォンおよびパソコンの使用を許可した）。対象者に 90 分間の安静中に 350mL の水を摂取するように指示した。採血および主観的食欲の測定は、09:30 または 10:30（運動中）、10:00 または 11:00（運動直後）、10:45 または 11:45（運動後 45 分）、11:30 または 12:30（運動後 90 分）に実施した。90 分の安静後、対象者はビュッフェ式の食事（*Ad libitum meal*）を摂取した。食事中、対象者には食事に関する話をすることを控えるように実験実施者から依頼した。

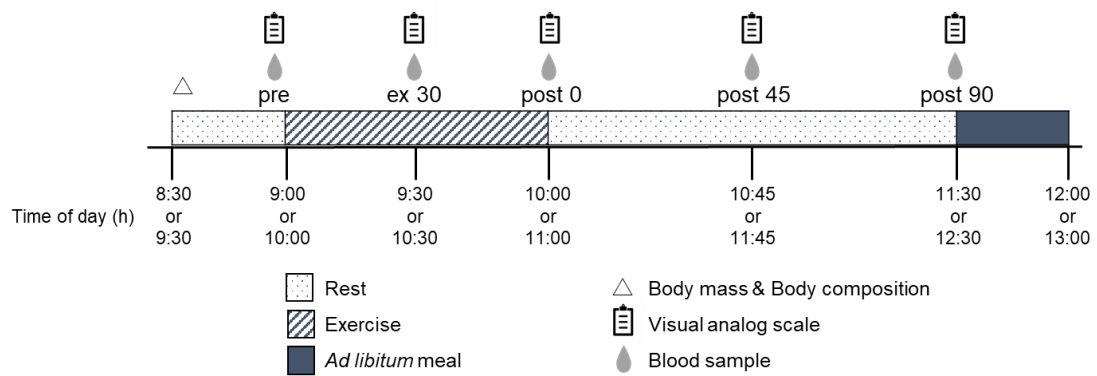


Figure 3. A schematic illustration of the study protocol.

All participants ($n = 10$) performed 60 min of cycling exercise followed by a 90-min rest, in the early follicular and mid luteal phases of the menstrual cycle. Thereafter, all participants consumed an ad libitum meal.

4-2-IV ビュッフェ式食事試験 (*Ad libitum meal*)

対象者には事前にビュッフェ食のメニューを提示し、食物アレルギーの有無および嗜好に関するアンケートへの回答を依頼した。ビュッフェのメニューは、おにぎり（鮭、塩）、食パン、チョコレートパン、グラノーラ、ロースハム、ゆで卵、ツナ、バナナ、オレンジ、プレーンヨーグルト、コーンスープ、味噌汁、牛乳、緑茶、水、マーガリン、イチゴジャム、ブルーベリージャム、蜂蜜、マヨネーズ、塩、コショウを用意した。対象者には、最大 30 分のメニュー選びと喫食の時間を与え、満足する程度まで食べるように指示した。食事は、環境が食物の選択に影響を及ぼすことがない様に、個室において食事ブースを設けて対象者と実験実施者の 2 名で実施し、実験実施者は対象者の実施状況を監視した。飲食物の総摂取量 (g) は最初にとった量から、残食量の重量を差し引いて記録した。摂取した飲食物のエネルギーと栄養素は、管理栄養士が栄養計算ソフト (エクセル栄養君 Ver. 8, 建帛社, 東京, 日本) を用いて分析した。

4-2-V 主観的食欲

食欲の主観的な評価を行うために、100 mm の視覚的アナログスケール (Visual analog scale: VAS) を用いた¹¹⁷⁾。尺度は下記の 4 つの質問、「空腹感」「満腹感」「どのくらい食べられるか」「満足感」で構成されている。運動前、運動中、運動直後 (0 分)、運動後 45 分および 90 分に、対象者に VAS の記入を依頼した。VAS の 0 mm と 100 mm には、それぞれ「全くない」と「非常にある」という言葉を記した。4 つの食欲評価の結果から、食欲スコアを算出した【満足感 + 満腹感 + (100 - 空腹感) + (100 - どのくらい食べられるか) / 4】¹¹⁸⁾。

4-2-VI 血液分析

静脈血サンプルは、採取後直ちに採血管 (Venoject II, テルモ株式会社, 東京, 日本) に移した。血清サンプルはエストロゲン、プロゲステロン、Total PYY, CCK の濃度を分析した。血液サンプルは室温 (20-22°C) で 30 分間凝固させた後、4°C 3000rpm で 10 分間遠心分離し、その後血清サンプルを 2 本のマイクロチューブに分けた。1 本のチューブはエストロゲンおよびプロゲステロンの測定を行うまで 5°C で冷蔵保管した。もう 1 本のチューブは、Total PYY, CCK, の測定を行うまで -80°C で冷凍保管した。エストロゲンおよびプロゲステロンの濃度は、化学発光免疫測定法により測定した (エストロゲン: Alinity G06284R06, ア

ボットジャパン合同会社, 東京, 日本; プロゲステロン: Alinity 470736R03, アボットジャパン合同会社, 東京, 日本). 血清中の Total PYY および CCK は, 酵素結合免疫吸着測定法 (Total PYY:YK080, 株式会社矢内原研究所, 静岡, 日本; CCK: CEA802Hu, cloud-clone, テキサス, アメリカ合衆国) を用いて 2 重測定を行った. 変動係数はエストロゲン 1.9%, プロゲステロン 3.4%, Total PYY 4.3%, および CCK 2.9%であった. 活性型グレリンは血漿サンプルを用いて測定を行った. 静脈血サンプルを, EDTA-アプロチニン採血管 (Venoject II, テルモ株式会社, 東京, 日本) に採取し, 直ちに 4°C 3000rpm で 10 分間遠心分離を行った後に, 血漿サンプルをマイクロチューブに移し, 300 μ L の血漿に 30 μ L の 1mol/L 塩酸を加え, 測定を行うまで-80°Cで冷凍保管した. 活性型グレリンは酵素結合免疫吸着測定法 (Active ghrelin: ELISA kit, SCETI, Tokyo, Japan)を用いて二重に測定した. 活性型グレリン測定時の変動係数は 1.6%であった.

4-2-VII 統計解析

全てのデータ分析は, 統計解析ソフト IBM SPSS Ver. 25.0 for Windows (SPSS, Inc., シカゴ, アメリカ合衆国) を用いて行った. 対象者の身体的特徴, ベースラインのホルモン, ビュッフェ食の栄養素摂取状況, およびベースラインの主観的食欲は, 対応のある t 検定またはウィルコクソンの符号順位和検定を用いて, 卵胞期前期と黄体期中期で比較した. ホルモンと食欲の変化を検討するために, ベースライン (運動前) の値からの変化値を算出し分析を行った. ホルモン濃度 (エストロゲン, プロゲステロン, 活性型グレリン, Total PYY, CCK) と主観的食欲は, 二元配置の分散分析 (試行 \times 時間) を用いて, 正規化したベースラインからの値の変化を分析した. 有意な主効果が得られた場合は, ボンフェローニ法を用いて事後検定を行った. さらに, エストロゲン, プロゲステロン, 活性型グレリン, Total PYY, CCK, および主観的食欲のベースラインに対する変化値を用いて, 時間平均の曲線下面積 (The time-averaged area under the curve: AUC) を台形法で算出し, 対応のある t 検定により卵胞期前期と黄体期中期で比較した. 統計的有意水準は 5%とし, 全ての結果は平均値 \pm 標準偏差 (Standard deviation: SD) で示した. また t 分布と自由度 (n-1) を用いて, 95% 信頼区間 (The 95% confidence intervals: CI) を算出した. 効果量は全ての t 検定について Cohen's d を用い, 二元配置の分散分析の交互作用と主効果については偏イータ 2 乗 (Partial eta-squared: ηp^2) を用いて Cohen's f を算出した (Cohen's d の基準は, $d = 0.2$ は「小」, $d = 0.5$ は「中」, $d = 0.8$ は「大」とし, Cohen's f の基準は $f = 0.1$ は「小」, $f = 0.25$

は「中」、 $f = 0.4$ は「大」とした)^{119,134)}.

4-3 結果

4-3-I 対象者

10名の対象者(年齢 20.6 ± 0.7 歳, 身長 159.2 ± 2.8 cm)は, 約5時間/日, 6日/週の部活動を行っていた。卵胞期前期(体重 59.8 ± 7.9 kg; BMI 23.6 ± 2.9 kg/m²; 体脂肪率 $21.9 \pm 6.3\%$)と黄体期中期(体重 59.6 ± 7.6 kg; BMI 23.5 ± 2.7 kg/m²; 体脂肪率 $22.3 \pm 5.4\%$)に対象者の体格および体組成を測定した。試行間で比較した結果, 体重(95%CI $-0.2 - 0.5$ kg, $P = 0.371$, $d = 0.02$), BMI(95%CI $-0.1 - 0.2$ kg/m², $P = 0.298$, $d = 0.03$), および体脂肪率(95%CI $-1.8 - 0.9\%$, $P = 0.483$, $d = 0.08$)に有意な差は認められなかった。対象者の月経周期は 30.9 ± 1.5 日であった。

4-3-II 運動反応

自転車エルゴメーターを用いた60分間の運動は卵胞期前期に HRR $69.6 \pm 5.7\%$, および黄体期中期に HRR $71.8 \pm 7.6\%$ の強度で実施した。主観的運動強度について, 卵胞期前期の RPE は 14.2 ± 0.9 , 黄体期中期の RPE は 14.7 ± 1.5 であり試行間に有意な差は認められなかった(95%CI $-1.6 - 0.7$, $P = 0.405$, $d = 0.42$)。

4-3-III 血中ホルモン濃度・主観的食欲(ベースライン)

CCKの測定に関して, 対象者1名の値が検出できなかったため除外し, 9名分の結果を用いた。エストロゲンとプロゲステロンの血清濃度は, 黄体期中期が卵胞期前期より有意に高い値を示した(95%CI $225.5 - 74.1$ pg/mL, $P = 0.002$, $d = 2.16$; 95%CI $11.8 - 6.6$ ng/mL, $P < 0.001$, $d = 3.58$)。また, 黄体期中期の判定にはプロゲステロン濃度が 5.1 ng/mL 以上であることを基準として用い^{120,121}), 黄体期中期として実施した試行のベースラインのプロゲステロン濃度は全てこの基準を満たしていた。活性型グレリン, Total PYY, CCKの血中濃度, および主観的食欲(空腹感, 満腹感, どのくらい食べられるか, 満足感, および食欲スコア)は, 卵胞期前期と黄体期中期で有意な差は認められなかった。

4-3-IV エストロゲン・プロゲステロン

エストロゲンの変化値は時間の主効果($P < 0.001$, $f = 1.88$), および試行と時間の交互作用($P < 0.001$, $f = 1.33$)が認められた(Figure 4A)。試行と時間の交互作用について事後検定を行ったところ, 運動中および運動直後のエストロゲンの変化値は, 黄体期中期が卵胞期前期

より有意に高い値を示した (95% CI 12.0–43.0 pg/mL, $P < 0.01$; 95% CI 15.8–68.4 pg/mL, $P < 0.01$). さらに, 運動後 45 分および 90 分のエストロゲン濃度の変化値は, 黄体期中期が卵胞期前期より有意に低い値を示した (95% CI - 20.9– - 0.75 pg/mL, $P < 0.05$; 95% CI - 40.2– - 4.2 pg/mL, $P < 0.05$). プロゲステロンの変化値は時間の主効果 ($P < 0.001, f = 1.28$), および試行と時間の交互作用 ($P < 0.001, f = 1.20$)が認められた (Figure 4B). 試行と時間の交互作用について事後検定を行ったところ, 運動中および運動直後のプロゲステロンの変化値は, 黄体期中期が卵胞期前期より有意に高い値を示した (95% CI 0.21–2.57 ng/mL, $P < 0.05$; 95% CI 0.09–3.55 ng/mL, $P < 0.05$). エストロゲンの時間平均 AUC は卵胞期前期 1962.9 ± 1199.1 pg/mL h, および黄体期中期 11518.2 ± 5610.2 pg/mL h, プロゲステロンの時間平均 AUC は卵胞期前期 16.1 ± 6.7 ng/mL h, および黄体期中期 587.6 ± 240.0 ng/mL h であり, 黄体期中期が卵胞期前期より有意に高い値を示した (95% CI - 14004.2– - 5106.4 pg/mL h, $P = 0.001, d = 2.36$; 95% CI - 742.8– - 400.0 ng/mL h, $P < 0.001, d = 3.37$).

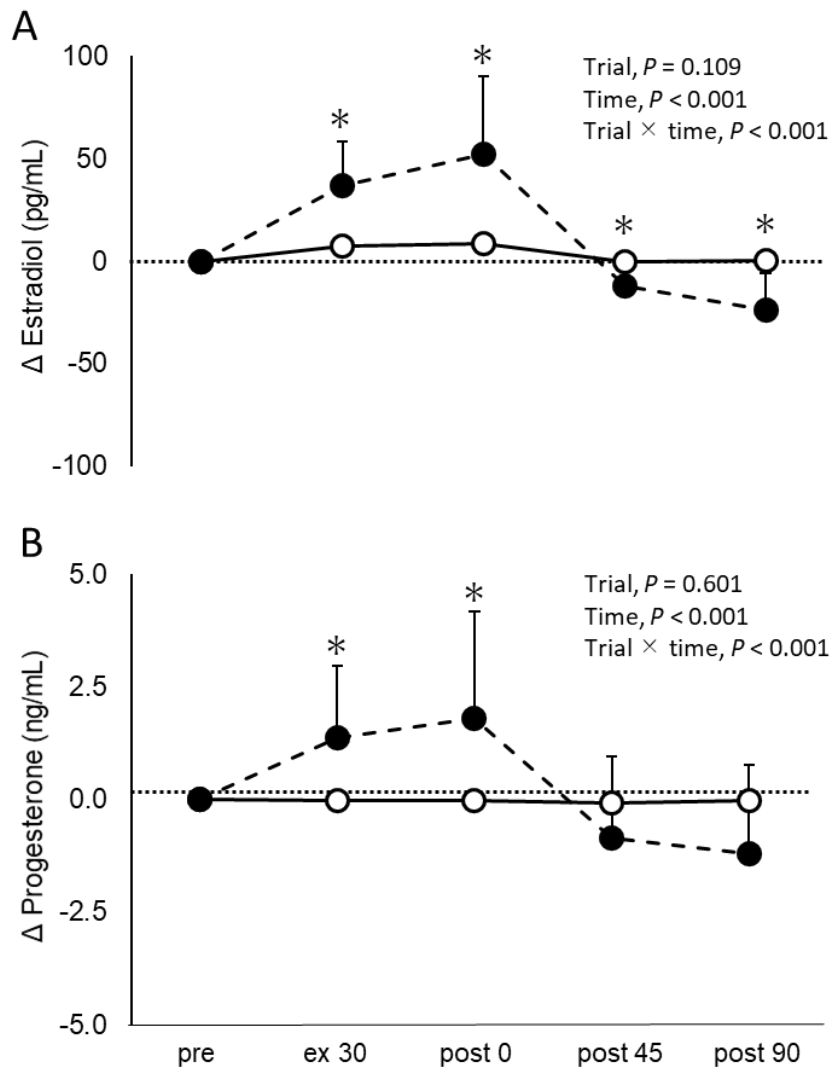


Figure 4. Changes in estradiol (A, $n = 10$) and progesterone (B, $n = 10$) concentrations across all time points relative to baseline in the early follicular phase trial (\circ); and the mid luteal phase trial (\bullet). pre, pre-exercise (i.e., baseline); ex 30, during exercise (30-min); post 0, immediately post-exercise; post 45, post-exercise 45-min; post 90, post-exercise 90-min.

Values are means \pm SD.

*Significantly different between trials, $P < 0.05$.

4-3-V 活性型グレリン・Total PYY・CCK

活性型グレリンの変化値は、試行の主効果 ($P=0.953, f=0.00$), 時間の主効果 ($P=0.481, f=0.27$), および試行と時間の交互作用 ($P=0.395, f=0.33$) は認められなかった (Figure 5A). さらに活性型グレリンの時間平均 AUC は卵胞期前期 1214.7 ± 791.9 fmol/mL h, および黄体期中期 1274.4 ± 857.5 fmol/mL h であり, 試行間に有意な差は認められなかった (95% CI - 342.5 - 223.1 fmol/mL h, $P=0.645, d=0.07$). Total PYY の変化値は, 時間の主効果が認められ, 両試行において運動中および運動直後は, 運動後 45 分より高い値を示したが ($P=0.003, f=0.90$), 試行と時間の交互作用 ($P=0.187, f=0.42$), および試行の主効果 ($P=0.721, f=0.14$) は認められなかった (Figure 5B). CCK の変化値は, 試行の主効果 ($P=0.953, f=0.00$), 時間の主効果 ($P=0.303, f=0.40$), および試行と時間の交互作用 ($P=0.832, f=0.14$) は認められなかった (Figure 3C). Total PYY の時間平均 AUC は卵胞期前期 35.5 ± 20.2 ng/mL h, および黄体期中期 39.0 ± 26.8 ng/mL h であり, CCK の時間平均 AUC は卵胞期前期 2199.0 ± 1282.5 pg/mL h, および黄体期中期 2198.1 ± 889.2 pg/mL h であり, それぞれのホルモンにおいて試行間で有意な差は認められなかった (95% CI - 9.9 - 2.9 ng/mL h, $P=0.245, d=0.15$; 95% CI - 825.4 - 827.1 pg/mL h, $P=0.998, d=0.00$).

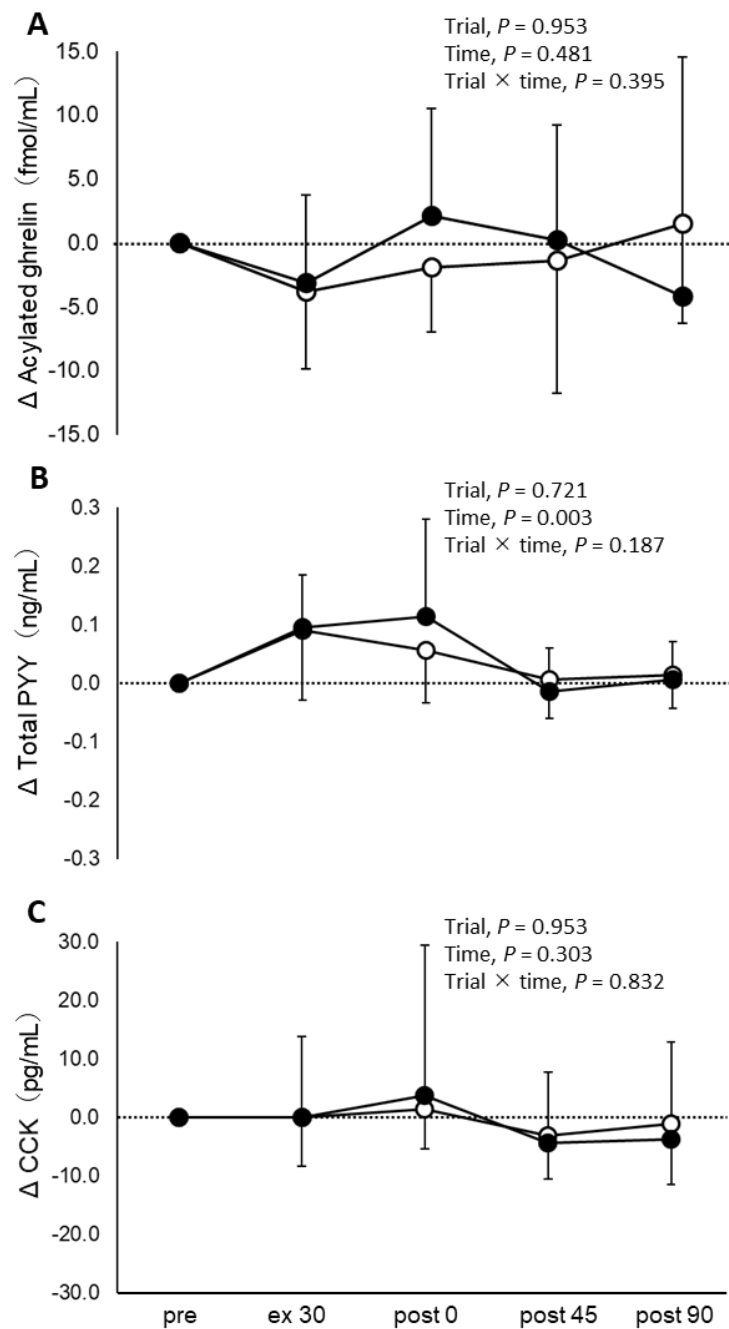


Figure 5. Changes in acylated ghrelin (A, $n = 10$), total peptide YY (PYY) (B, $n = 10$), and cholecystokinin (CCK) (C, $n = 9$) concentrations across all time points relative to baseline in the early follicular phase trial (\circ); and the mid luteal phase trial (\bullet).

pre, pre-exercise (i.e., baseline); ex 30, during exercise (30-min); post 0, immediately post-exercise; post 45, post-exercise 45-min; post 90, post-exercise 90-min.

Values are means \pm SD.

4-3-VI 主観的食欲

主観的食欲の4項目「空腹感」「満腹感」「どのくらい食べられるか」「満足感」の変化値を Figure 6 に示した。全ての項目において時間の主効果が認められた（「空腹感」, $P=0.002$, $f=1.00$, 「満腹感」, $P=0.042$, $f=0.67$, 「どのくらい食べられるか」, $P=0.002$, $f=0.98$, 「満足感」, $P=0.014$, $f=0.77$ ）。全ての主観的食欲の評価項目において、試行と時間の交互作用および試行の主効果は認められなかった。同様に、時間平均 AUC は全ての主観的食欲の評価項目で有意な差は認められなかった（詳細データの表示なし）。4つの主観的食欲評価項目から算出した食欲スコアは時間の主効果が認められたが（ $P=0.003$, $f=0.98$ ）、試行の時間の交互作用（ $P=0.684$, $f=0.25$ ）および試行の主効果は認められなかった（卵胞期前期 30.9 ± 5.1 , 黄体期中期 25.0 ± 2.7 , $P=0.120$, $f=0.58$ ）。

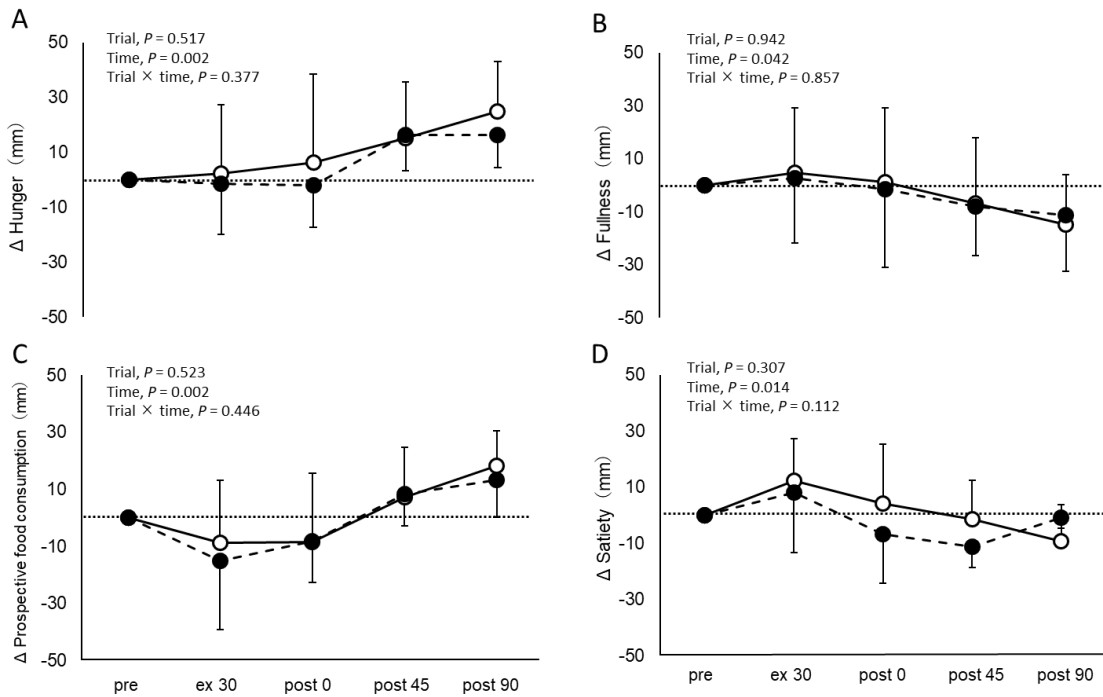


Figure 6. Changes in appetite scores (A, hunger, $n = 10$; B, fullness, $n = 10$; C, prospective food consumption, $n = 10$; D, satiation, $n = 10$) across all time points relative to baseline, as measured using a visual analog scale in the early follicular phase trial (\circ) and in the mid luteal phase trial (\bullet). pre, pre-exercise (i.e., baseline); ex 30, during exercise (30-min); post 0, immediately post-exercise; post 45, post-exercise 45-min; post 90, post-exercise 90-min. Values are means \pm SD.

4-3-VII ビュッフェ食のエネルギーおよび栄養素摂取量

Table 9 に卵胞期前期および黄体期中期の試行における、ビュッフェ食のエネルギーと栄養素摂取量を示した。エネルギー、たんぱく質、脂質、および炭水化物の摂取量は、卵胞期前期と黄体期中期の試行間で有意な差は認められなかった。

Table 9. Energy and macronutrients intake during the ad libitum meal in the early follicular phase and the mid luteal phase trials.

	The early follicular phase	The mid luteal phase	<i>P</i> value
Energy intake (kcal)	1014.7 ± 268.7	980.4 ± 231.0	0.579
Protein (g)	37.0 ± 10.5	35.0 ± 8.8	0.332
% of energy from protein	14.7 ± 3.1	14.3 ± 1.4	0.662
Fat (g)	33.7 ± 10.6	30.9 ± 8.1	0.343
% of energy from fat	30.1 ± 4.4	28.5 ± 3.5	0.371
Carbohydrate (g)	141.7 ± 41.7	143.1 ± 35.7	0.902
% of energy from carbohydrate	55.2 ± 6.2	57.2 ± 4.2	0.383

Values are expressed as mean±SD.

4-4 考察

本研究は女性アスリートを対象として一過性の自転車運動後の食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量について、月経周期の影響を明らかにすることを目的とした。その結果、運動後の活性型グレリン、Total PYY、CCK、主観的食欲、およびビュッフエ食は、月経周期の卵胞期前期と黄体期中期で有意な差は認められなかった。また、黄体期中期において運動によるエストロゲンおよびプロゲステロンの一時的な増加が認められたが、これらの卵巣ホルモンの反応は食欲調整ホルモンに影響を及ぼさなかった。以上の結果から、女性アスリートにおいて黄体期中期の一過性運動は一時的にエストロゲンとプロゲステロンを増加させるが、食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量は月経周期の影響を受けないことが示唆された。

本研究は黄体期中期の一過性運動により、エストロゲンとプロゲステロンの血中濃度が一時的に上昇することを確認した。この現象は持久性運動後の卵巣ホルモンの増加を報告している先行研究と一致している^{135,136}。一過性運動により卵巣ホルモン濃度が上昇する理由として、卵巣への物理的な刺激が関与している可能性を示している先行研究があるが¹³⁶、そのメカニズムは明らかになっていない。さらに我々は、運動後の食欲およびエネルギー摂取量を卵胞期前期と黄体期中期で比較した結果、フェーズ間に有意な差は認められなかった。つまり、黄体期中期に実施した一過性運動により卵巣ホルモンは一時的に増加したが、運動後の食欲およびエネルギー摂取量に影響を及ぼさないと考えられる。

一過性運動に対する食欲調整ホルモンの応答に関して、活性型グレリンおよびCCK濃度は変化が認められなかったが、Total PYYは運動中から運動直後にかけて増加した。これまで多くの先行研究は、一過性の持久性運動による活性型グレリンの減少^{82-85,131,137-139}、および食欲抑制ホルモンの増加^{82,83,87-89,127,128,131,138}を報告している。女性を対象者に含む先行研究のうち、最大酸素摂取量65%¹²⁸、最高酸素摂取量70%¹³⁰、または最大酸素摂取量70%⁸⁷で30~84分間の一過性運動を実施した後に、Total PYYまたはPYY₃₋₃₆濃度が増加したことを報告している。さらに最大酸素摂取量70%で60分間のランニングを行った後に、PYY₃₋₃₆濃度と同様に食欲亢進ホルモンである活性型グレリン濃度も上昇したことを報告した研究が1本のみ確認されている⁸⁷。一過性運動が食欲調整ホルモンに影響を与えるメカニズムは明らかではないが、Islamら(2017)は中強度(最大酸素摂取量65%)の運動後に、PYYと炎症性サイトカインであるIL-6は増加したが、活性型グレリンと血中乳酸は変化しなかったことを報告している¹⁴⁰。一方で、高強度運動(最大素摂取量85%)により活性型グレ

リンは減少し、乳酸は増加が認められ、運動後の乳酸と活性型グレリンの曲線下面積値に負の相関が認められたことも報告している¹⁴⁰⁾。つまり、運動による代謝産物およびサイトカインの分泌が食欲調整ホルモン分泌の調整の役割を担っている可能性を示唆している。近年発表された総説によると、乳酸が胃細胞からのグレリン産生を抑制することが、運動による食欲抑制にまつわるメカニズムのひとつとして挙げられているが¹⁴¹⁾、乳酸と食欲抑制ホルモンの関連性については不明である。また、一過性運動が食欲調整ホルモン濃度を变化させるメカニズムとして、遊離脂肪酸の関連性も示されている。遊離脂肪酸の増加はグレリンの分泌を抑制し¹⁴²⁻¹⁴⁴⁾、PYY^{143, 144)}およびCCK¹⁴⁵⁾を増加させることから、一過性運動による血中遊離脂肪酸の増加¹⁴⁶⁾は、食欲調整ホルモン分泌の調整に関与する可能性がある。以上のことから、本研究においては乳酸および遊離脂肪酸の測定を行っていないが、一過性運動によりTotal PYYが一時的に増加したことから、運動によるエネルギー代謝の亢進が食欲調整ホルモンの分泌に影響した可能性が示唆された。

本研究の結果から一過性運動による食欲調整ホルモンへの影響は、月経周期による差は認められなかった。月経周期と運動パフォーマンスに関する総説によると、月経周期は運動による血中乳酸産生に影響を与えない可能性が示されている¹⁴⁷⁾。このことは、本研究において一過性運動後の活性型グレリンは卵胞期前期と黄体期中期で有意な差が認められなかったことを説明するものである。さらに、Hortonら(2006)は90分間の自転車運動による血中遊離脂肪酸濃度は月経周期によって変化しなかったことを報告している¹⁴⁸⁾。本研究では遊離脂肪酸の測定を行っていないが、運動による遊離脂肪酸の産生は月経周期の影響を受けないことを仮定すると¹⁴⁸⁾、一過性運動に対する活性型グレリン、Total PYY、CCKの反応が、卵胞期前期と黄体期中期で同程度であったことを説明することができる。

運動後90分に摂取したビュッフェ食のエネルギー摂取量は、卵胞期前期と黄体期中期で有意な差は認められなかった。多くの先行研究によると、ヒトの月経周期において卵胞期より黄体期にエネルギー摂取量が増加することが示唆されている⁴⁶⁻⁵⁰⁾。しかし、これらの先行研究は1日の平均エネルギー摂取量を月経周期で評価しており⁴⁶⁻⁵⁰⁾、一過性運動後のエネルギー摂取量について、異なる月経周期で比較しているのは本研究が初めてである。興味深いことに、本研究では黄体期中期にエストロゲンとプロゲステロンが一過性運動後に増加し、運動後に減少することが観察された。ところが一過性運動による卵巣ホルモンの一時的な変化は、運動後のエネルギー摂取量に影響を与えなかった。なお、各試行前日の食事は統制を行っておらず、試行間の平均エネルギー摂取量は約400kcalの差が認められたが(詳細デ

ータの表示なし)、各試行当日の空腹状態での食欲調整ホルモンおよび主観的食欲に有意な差は認められなかったことから、前日のエネルギー摂取量の差は試験当日のビュッフェ食のエネルギー摂取量に影響を及ぼさなかった可能性が考えられる。

これまで女性を対象として一過性運動が食欲調整ホルモンとエネルギー摂取量に与える影響を検討した研究は散見されるが^{87,127,129-131)}、本研究は、女性アスリートを対象として一過性運動による食欲調整ホルモンへの影響を異なる月経周期で比較を行った初めての研究である。さらに、対象者は全員同じ大学の部活動で募集を行った。つまり、対象者の日常の身体活動量および強度は統制されていたことを示している。日常的に不活動者は活動的な人と比べて運動後の代償エネルギー摂取量が多いことが示されていることから¹⁴⁹⁾、本研究において対象者の属性の統制は、運動後のエネルギー摂取量に起こり得る個人差を最小限に抑えた。しかしながら本研究はいくつかの限界点を含む。ひとつめに、本研究の2名の対象者が異なる時間帯(8:30と9:30)に試験を行ったが、食欲調整ホルモンには日内変動が確認されていることから^{122,150)}、日内変動による値の変化の影響を排除していない点が挙げられる。しかしながら、異なる時間に試験を開始した2名のベースラインの食欲調整ホルモンに、試行間の差は認められなかった。ふたつめとして、実験実施時の食事摂取状況が挙げられる。食後のTotal PYYは卵胞期前期より黄体期に低値を示すことが先行研究によって報告されていることから⁷¹⁾、本研究は食事の影響を除き、一過性運動が食欲調整ホルモンに与える影響を月経周期によって比較することを目的としたため、意図的に運動前のエネルギー摂取を行わなかった。しかし、13時間以上の絶食状態は通常の日常生活から逸脱しており、試験日のエネルギー摂取量に影響を与えている可能性がある。最後に、本研究の対象者の人数は少ないため、今後の研究においてはより多くの対象者の参加が必要である。

本研究は女性アスリートを対象として、卵胞期前期と黄体期中期に一過性の中等度自転車運動を行った結果、黄体期中期では運動後にエストロゲンとプロゲステロンが一時的に増加したが、食欲調整ホルモンおよび運動後のエネルギー摂取量に影響を及ぼさなかった。以上の結果から、一過性運動に対する食欲調整ホルモンの反応は月経周期の影響を受けないことが明らかとなった。

4-5 まとめ

本研究は女性アスリートを対象に一過性持久性運動後の食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量について、月経周期の影響を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 一過性持久性運動後の食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量は月経周期によって変化しなかった。

2) 中等度の持久性運動により、黄体期中期のエストロゲンおよびプロゲステロンが一時的に増加したが、主観的食欲およびエネルギー摂取量への影響は認められなかった。

以上の結果から、女性アスリートにおける一過性運動後の食欲調整ホルモン（活性型グレリン、Total PYY, CCK）、主観的食欲およびエネルギー摂取量は、月経周期によって変化しないことが示唆された。

第 5 章

総括

5-1 結論

本研究は月経周期と食欲、エネルギー摂取量の関連性に着目し、女性アスリートの体重管理と月経状況に関する課題の抽出、および食欲、エネルギー摂取量の調整に関わる消化管ホルモンおよび女性ホルモンと運動との関連性を検討することを目的とした。

1) 女性アスリートの体重管理と月経状況に関する横断調査（第2章）

大学生アスリートならびにパラアスリートを対象とした横断調査（アンケート調査）を実施し、減量経験が月経状況に及ぼす影響に関して練習状況、食生活、既往歴などの要因を含め包括的に比較検討を行った。その結果、月経前（黄体期）に食欲が亢進すると回答した者はパラアスリートより大学生アスリートにおいて高い割合で認められ、大学生アスリートのうち減量経験がある群の約80%は月経前に食欲が亢進すると回答した。大学生アスリートおよびパラアスリートの両グループにおいて、減量経験がある群は減量経験がない群よりも月経不順の割合が高かった。つまり、女性アスリートにおける減量の取り組みは月経状況に影響を及ぼす可能性が示唆され、さらに月経周期による身体症状の助長および疲労骨折との関連性が示されたことから、障がいの有無に関わらず全ての女性アスリートにおける体重管理は月経状況を考慮して実施されるべきである。

2) 月経周期が食欲調整ホルモンおよびエネルギー摂取量に及ぼす影響（第3章）

正常月経を有する大学生アスリートにおける空腹時の食欲調整ホルモン（活性型グレリン、Total PYY, CCK）の血中濃度を、卵胞期前期と黄体期中期で比較し、主観的食欲ならびにエネルギー摂取量との関連性を検討した。その結果食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量は月経周期による差は認められなかった。主観的食欲およびエネルギー摂取量とホルモンの関連性を検討した結果、卵胞期前期にエストロゲンならびにCCKがエネルギー摂取量と負の相関を示し、黄体期中期においてはTotal PYYならびにCCKと主観的食欲の間に有意な正の相関が得られた。以上の結果から、女性アスリートの空腹時の食欲調整ホルモンは月経周期によって変化しないが、食欲およびエネルギー摂取量に食欲調整作用をもつホルモンが及ぼす影響は、月経周期によって異なる可能性が示唆された。

3) 月経周期が一過性運動に伴う食欲調整ホルモンおよびエネルギー摂取量に及ぼす影響 (第4章)

正常月経を有する大学生アスリートを対象として、一過性持久性運動が食欲調整ホルモンと主観的食欲およびエネルギー摂取量に与える影響について、卵胞期前期と黄体期中期に検討を行った。その結果、運動後の食欲調整ホルモン、主観的食欲、およびエネルギー摂取量は月経周期によって変化しなかった。黄体期中期における一過性運動により、エストロゲンおよびプロゲステロンの血中濃度が一時的に上昇したが、主観的食欲およびエネルギー摂取量への影響は認められなかった。以上の結果から、女性アスリートにおける一過性運動後の食欲調整ホルモン（活性型グレリン、Total PYY, CCK）、主観的食欲およびエネルギー摂取量は、月経周期によって変化しないことが明らかとなった。

5-2 総合的考察と今後の展望

女性アスリートの体重管理と月経周期に関する課題のひとつとして、月経周期による食欲の変化が認められた。多くの先行研究により、エネルギー摂取量および食欲は月経周期によって変化することが明らかとなっており⁴⁶⁻⁵⁰⁾、本研究においても大学生アスリートの7割以上が、月経前に食欲亢進症状があることを報告している¹¹²⁾。対象者のうち正常月経を有する割合は大学生アスリートで67.1%、パラアスリートで77.8%と全体で7割程度のアスリートは正常な月経周期を有していたことから¹¹²⁾、月経周期はアスリートの食欲およびエネルギー摂取量の調整に影響を及ぼす可能性が高いといえる。また、減量に取り組んだ経験は月経異常の発生率を増やし、疲労骨折および月経随伴症状の増大と関連する可能性が示された。長時間高強度の練習を日々行うアスリートはエネルギー消費量が多く、十分なエネルギー摂取が行われない場合はエネルギー出納が負に傾き、月経異常および骨の脆弱化を引き起こすことが明らかとなっている¹²⁾。2007年にACSMが女性アスリートにみられる健康問題として「女性アスリートの三主徴」を提唱して以降¹³⁾、これまでアスリートのエネルギー摂取量と消費量のバランスが、健康および競技パフォーマンスに及ぼす影響に関して様々な研究が行われてきた。しかしながら、アスリートの体重管理と月経周期に着眼点をおいた研究は少なく、具体的な課題抽出のための横断研究が必要であった。本研究は、月経周期による食欲の変化という課題の抽出に成功し、新たに減量の取り組みと月経異常および疲労骨折との関連性を示唆した。また女性アスリートにおける減量の取り組みが、障がいの有無に関わらず月経異常とそれに付随する心身の諸症状を引き起こす可能性を示した意義は大きい。

さらに月経周期による食欲およびエネルギー摂取量の変化に関して、本研究は食欲調整作用をもつ消化管ホルモン（活性型グレリン、Total PYY, CCK）に着目した。エストロゲンとプロゲステロンの血中濃度が異なる2つのフェーズ（卵胞期前期と黄体期中期）に、早朝空腹時の血中ホルモン濃度ならびに主観的食欲の測定と1日のエネルギー摂取量に関して検討を行った。その結果、活性型グレリン、Total PYY, CCKは卵胞期前期と黄体期中期で変化が認められなかったが、卵胞期前期においてのみエストロゲンおよびCCKとエネルギー摂取量に負の関連性が認められ、黄体期中期はTotal PYYとCCKが満腹感と相関が認められた。Total PYYならびにCCKは食後に消化管から分泌される食欲抑制作用をもつホルモンであり、空腹時は血中濃度が低い^{66,79)}。しかしながらCCKは1日のエネルギー摂取量および主観的食欲との関連性が示され、Total PYYは黄体期中期においてのみ主観的食欲

との関連性が認められたため、今後は食後の食欲調整ホルモンと主観的食欲およびエネルギー摂取量の関連性を検討する必要がある。また相対的なエネルギー不足による視床下部性無月経のアスリートはグレリンおよびPYYが増加することが報告されていることから⁶⁷⁾、対象者がアスリートである場合は、普段の運動によるエネルギー消費量と摂取量のバランス、つまり相対的エネルギー不足の有無を確認することも、一過性運動の影響を検討するうえで重要である。

月経周期による食欲およびエネルギー摂取量の変化は、女性アスリートのコンディショニング、特に体重管理に影響を及ぼすことが明らかとなり、さらにエストロゲンが直接または食欲調整ホルモンを介して食欲およびエネルギー摂取量の変化を引き起こす可能性が示された。さらに我々は、一時的な食欲不振を起こす一過性運動^{77, 80)}に着目した実験を行った。習慣的に中～高強度の身体活動を行う女性アスリートにおいて、運動後食欲不振を引き起こす食欲調整ホルモンの変化と、食欲およびエネルギー摂取量への影響を明らかにすることは、月経周期を考慮した女性アスリートの食欲およびエネルギー摂取量の調整法の提案につながる。その結果、一過性運動が食欲調整ホルモンに及ぼす影響は月経周期による変化は認められず、運動後の食欲ならびにエネルギー摂取量も月経周期の影響を受けなかった¹⁵¹⁾。今後は女性アスリートの日常生活により近い形の研究デザインにするために、食後に運動を行い、その後の食事のエネルギー摂取量と主観的な食欲を検討する必要があると考える。Campolierら(2016)は、一般的な食事後のTotal PYYは卵胞期前期より黄体期に低値であったことを示している⁶⁸⁾。PYYは一過性運動後に増加し、食欲抑制作用を及ぼす可能性が示されており^{82,83,88,89)}、本研究においても60分の持久性運動中から運動直後にかけてPYYの増加が認められた。しかしながら、本研究は安静試行を設けていないため、一過性運動が女性アスリートの食欲調整ホルモンに与える影響は検討できなかった。今後は各フェーズにおいて安静試行と運動試行を設けることが望ましい。

本研究は女性アスリートの月経周期と食欲およびエネルギー摂取量に関して、横断調査により体重管理と月経状況の関連性を明らかにし、女性アスリートの健康維持と競技力向上のために月経状況を考慮した体重管理、つまり食欲およびエネルギー摂取量の調整法の必要性が示された。そこで、食欲調整を担う消化管ホルモンと月経周期との関連性を、空腹時ならびに一過性運動を実施して検討を行った結果、一過性運動が食欲調整ホルモンに与える影響は月経周期による変化は認められなかった。本研究は一過性運動が食欲調整ホルモン、主観的食欲およびエネルギー摂取量に与える影響に関して、月経周期の異なるフェー

ズで検討を行った初めての研究である。そこで今後は、対象者特性、運動様式と強度、および食事のタイミングなどを変更した研究による科学的根拠の蓄積が望まれる。一過性運動による食欲ならびにエネルギー摂取量の抑制作用に関して、月経周期との関連性を明らかにすることにより、女性アスリートにおけるエネルギー摂取量の調整に活かすことを目指す。つまり当該分野の研究の発展は、食欲のコントロールならびにエネルギー摂取量の調整法の考案に繋がり、アスリートの健康と競技力向上に貢献することができると考える。

参考文献

- 1) Ackland TR, Lohman TG, Sundgot-Borgen J, Maughan RJ, Meyer NL, Stewart AD, Müller W. (2012) Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med.*, 42(3): 227-249.
- 2) Sundgot-borgen J, Meyer NL, Lohman TG, Ackland TR, Maughan RJ, Stewart AD, Müller W. (2013) How to minimise the health risks to athletes who compete in weight-sensitive sports review and position statement on behalf of the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance, under the auspices of the IOC Medical Commission. *Br J Sports Med.*, 47(16): 1012-1022.
- 3) Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, Meyer N, Sherman R, Steffen K, Budgett R, Ljungqvist A. (2014) The IOC consensus statement: Beyond the Female Athlete Triad-Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med.*, 48(7): 491–497.
- 4) Mountjoy M, Burke L, Ackerman KE, Blauwet C, Lebrun C, Melin A, Meyer N, Sherman R, Tenforde AS, Torstveit MK, Budgett R. (2018) International Olympic Committee (IOC) Consensus Statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): 2018 Update. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 28(4): 316–331.
- 5) Manore MM. (2015) Weight Management for Athletes and Active Individuals: A Brief Review. *Sport Med.*, 45 Suppl 1: S83–92.
- 6) Edholm OG, Fletcher JG, Widdowson EM, Mccance RA. (1955) The energy expenditure and food intake of individual men. *Br J Nutr.*, 9(3): 286-300.
- 7) Friedman JM, Halaas JL. (1998) Leptin and the regulation of body weight in mammals. *Nature*, 395(6704): 763-770.
- 8) Blundell JE, Caudwell P, Gibbons C, Hopkins M, Näslund E, King NA, Finlayson G. (2012) Body composition and appetite: fat-free mass (but not fat mass or BMI) is positively associated with self-determined meal size and daily energy intake in humans. *Br J Nutr.*, 107(3): 445-449.
- 9) Weise CM, Thiyyagura P, Reiman EM, Chen K, Krakoff J. (2015) A potential role for the midbrain in integrating fat-free mass determined energy needs: An H2 (15) O PET

- study. *Hum Brain Mapp.*, 36(6): 2406-2415.
- 10) Caudwell P, Finlayson G, Gibbons C, Hopkins M, King N, Näslund E, Blundell JE. (2013) Resting metabolic rate is associated with hunger, self-determined meal size, and daily energy intake and may represent a marker for appetite. *Am J Clin Nutr.*, 97(1): 7-14.
 - 11) Johnstone AM, Murison SD, Duncan JS, Rance KA, Speakman JR. (2005) Factors influencing variation in basal metabolic rate include fat-free mass, fat mass, age, and circulating thyroxine but not sex, circulating leptin, or triiodothyronine. *Am J Clin Nutr.*, 82(5): 941-948.
 - 12) Gordon CM, Ackerman KE, Berga SL, Kaplan JR, Mastorakos G, Misra M, Murad MH, Santoro NF, Warren MP. (2017) Functional hypothalamic amenorrhea: An endocrine society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab.*, 102(5): 1413–1439.
 - 13) De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, Gibbs JC, Olmsted M, Goolsby M, Matheson G. (2014) 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med.*, 48(4): 289.
 - 14) Borchers JR, Clem KL, Habash DL, Nagaraja HN, Stokley LM, Best TM. (2009) Metabolic syndrome and insulin resistance in Division 1 collegiate football players. *Med Sci Sports Exerc.*, 41(12): 2105-2510.
 - 15) Barrack MT, Rauh MJ, Barkai HS, Nichols JF. (2008) Dietary restraint and low bone mass in female adolescent endurance runners. *Am J Clin Nutr.*, 87(1): 36-43.
 - 16) Melin A, Tornberg ÅB, Skouby S, Møller SS, Sundgot-Borgen J, Faber J, Sidelmann JJ, Aziz M, Sjödín A. (2015) Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports.*, 25(5): 610-622.
 - 17) Muia EN, Wright HH, Onywera VO, Kuria EN. (2016) Adolescent elite Kenyan runners are at risk for energy deficiency, menstrual dysfunction and disordered eating. *J Sports Sci.*, 34(7): 598-606.
 - 18) Silva MR, Paiva T. (2015) Low energy availability and low body fat of female gymnasts

- before an international competition. *Eur J Sport Sci.*, 15(7): 591-599.
- 19) Nichols DL, Sanborn CF, Essery EV. (2007) Bone density and young athletic women. An update. *Sports Med.*, 37(11): 1001-1014.
 - 20) Artioli GG, Gualano B, Franchini E, Scagliusi FB, Takesian M, Fuchs M, Lancha AH Jr. (2010) Prevalence, magnitude, and methods of rapid weight loss among judo competitors. *Med Sci Sports Exerc.*, 42(3): 436-442.
 - 21) Franchini E, Brito CJ, Artioli GG. (2012) Weight loss in combat sports: physiological, psychological and performance effects.. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1): 52.
 - 22) Kowatari K, Umeda T, Shimoyama T, Nakaji S, Yamamoto Y, Sugawara K. (2001) Exercise training and energy restriction decrease neutrophil phagocytic activity in judoists. *Med Sci Sports Exerc.*, 33(4):519-24.
 - 23) Mendes SH, Tritto AC, Guilherme JP, Solis MY, Vieira DE, Franchini E, Lancha AH Jr, Artioli GG. (2013) Effect of rapid weight loss on performance in combat sport male athletes: does adaptation to chronic weight cycling play a role? *Br J Sports Med.*, 47(18): 1155-1160.
 - 24) Prouteau S, Benhamou L, Courteix D. (2006) Relationships between serum leptin and bone markers during stable weight, weight reduction and weight regain in male and female judoists. *Eur J Endocrinol.*, 154(3): 389-395.
 - 25) Yaegaki M, Umeda T, Takahashi I, Matsuzaka M, Sugawara N, Shimaya S, Tanabe M, Kojima A, Mochida N, Yamamoto Y, Nakaji S. (2007) Change in the capability of reactive oxygen species production by neutrophils following weight reduction in female judoists. *Br J Sports Med.*, 41(5):322-327.
 - 26) Abedelmalek S, Chtourou H, Souissi N, Tabka Z. (2015) Caloric Restriction Effect on Proinflammatory Cytokines, Growth Hormone, and Steroid Hormone Concentrations during Exercise in Judokas. *Oxid Med Cell Longev.*, 2015: 809492.
 - 27) Escobar-Molina R, Rodríguez-Ruiz S, Gutiérrez-García C, Franchini E. (2015) Weight loss and psychological-related states in high-level judo athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 25(2): 110-118.
 - 28) Markey CN. (2010) Invited commentary: Why body image is important to adolescent development. *J Youth Adolesc.*, 39(12): 1387-1391.

- 29) Xu X, Mellor D, Kiehne M, Ricciardelli LA, McCabe MP, Xu Y. (2010) Body dissatisfaction, engagement in body change behaviors and sociocultural influences on body image among Chinese adolescents. *Body Image.*, 7(2): 156-164.
- 30) Smolak L, Murnen SK, Ruble AE. (2000) Female athletes and eating problems: a meta-analysis. *Int J Eat Disord.*, 27(4): 371-380.
- 31) 公益社団法人日本産婦人科学会, 公益社団法人日本産婦人科医会. (2020) 産婦人科診療ガイドライン 婦人科外来編 2020. 公益社団法人日本産科婦人科学会事務局.
- 32) Carmichael MA, Thomson RL, Moran LJ, Wycherley TP. (2021) The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.*, 18(4): 1667.
- 33) Asarian L, Geary N. (2006) Modulation of appetite by gonadal steroid hormones. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 361(1471): 1251-1263.
- 34) Asarian L, Geary N. (2013) Sex differences in the physiology of eating. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 305(11): R1215-1267.
- 35) Chen TS, Doong ML, Chang FY, Lee SD, Wang PS. (1995) Effects of sex steroid hormones on gastric emptying and gastrointestinal transit in rats. *Am J Physiol.*, 268: G171-176.
- 36) Cortright, R. N. & Koves, T. R. (2000) Sex differences in substrate metabolism and energy homeostasis. *Can. J. Appl. Physiol.*, 25(4): 288-311.
- 37) Blaak E. (2001) Gender differences in fat metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.*, 4(6): 499-502.
- 38) Clegg DJ, Riedy CA, Smith KA, Benoit SC, Woods SC. (2003) Differential sensitivity to central leptin and insulin in male and female rats. *Diabetes*, 52(3): 682-627.
- 39) Williams CM. Lipid metabolism in women. *Proc Nutr Soc.*, 63(1): 153-160.
- 40) Clegg DJ, Brown LM, Zigman JM, Kemp CJ, Strader AD, Benoit SC, Woods SC, Mangiaracina M, Geary N. (2007) Estradiol-dependent decrease in the orexigenic potency of ghrelin in female rats. *Diabetes.*, 56(4): 1051-1058.
- 41) Meli R, Pacilio M, Raso GM, Esposito E, Coppola A, Nasti A, Di Carlo C, Nappi C, Di Carlo R. (2004) Estrogen and raloxifene modulate leptin and its receptor in hypothalamus and adipose tissue from ovariectomized rats. *Endocrinology*, 145(7):

3115–3121.

- 42) Gao Q, Horvath TL. Neurobiology of feeding and energy expenditure. (2007) *Annu Rev Neurosci.*, 30: 367-98.
- 43) Richard D. (1986) Effects of ovarian hormones on energy balance and brown adipose tissue thermogenesis. *Am J Physiol.*, 250: R245-249.
- 44) Grueso E, Rocha M, Puerta M. (2001) Plasma and cerebrospinal fluid leptin levels are maintained despite enhanced food intake in progesterone-treated rats. *Eur J Endocrinol.*, 144(6): 659-65.
- 45) Stelmańska E, Sucajtyś-Szulc E. (2014) Enhanced food intake by progesterone-treated female rats is related to changes in neuropeptide genes expression in hypothalamus. *Endokrynol Pol.*, 65(1): 46-56.
- 46) McNeil J, Doucet E. (2012) Possible factors for altered energy balance across the menstrual cycle: a closer look at the severity of PMS, reward driven behaviors and leptin variations. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.*, 163(1): 5-10.
- 47) Dalvit SP. The effect of the menstrual cycle on patterns of food intake. (1981) *Am J Clin Nutr.*, 34(9): 1811-1815.
- 48) Johnson WG, Corrigan SA, Lemmon CR, Bergeron KB, Crusco AH. (1994) Energy regulation over the menstrual cycle. *Physiol Behav.*, 56(3): 523-527.
- 49) Li ET, Tsang LB, Lui SS. (1999) Menstrual cycle and voluntary food intake in young Chinese women. *Appetite*, 33(1):109-118.
- 50) Martini MC, Lampe JW, Slavin JL, Kurzer MS. (1994) Effect of the menstrual cycle on energy and nutrient intake. *Am J Clin Nutr.*, 60(6): 895-899.
- 51) Dye L, Warner P, Bancroft J. (1995) Food craving during the menstrual cycle and its relationship to stress, happiness of relationship and depression. *J, Affect.*, 34(3): 157–164.
- 52) Takeda T, Imoto Y, Nagasawa H, Muroya M, Shiina M. (2015) Premenstrual Syndrome and Premenstrual Dysphoric Disorder in Japanese Collegiate Athletes. *J Pediatr Adolesc Gynecol.*, 28(4): 215–218.
- 53) Benton MJ, Hutchins AM, Dawes JJ. (2020) Effect of menstrual cycle on resting metabolism: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 15(7): e0236025.

- 54) Woods SC, D'Alessio DA. (2008) Central control of body weight and appetite. *J Clin Endocrinol Metab.*, 93(11 Suppl 1): S37-50.
- 55) Kojima M, Hosoda H, Date Y, Nakazato M, Matsuo H, Kangawa K. (1999) Ghrelin is a growth-hormone-releasing acylated peptide from stomach. *Nature*, 402(6762): 656-660.
- 56) Hosoda H, Kojima M, Kangawa K. (2002) Ghrelin and the regulation of food intake and energy balance. *Mol Interv.*, 2(8): 494-503.
- 57) Kojima M, Kangawa K. (2005) Ghrelin: structure and function. *Physiol Rev.*, 85(2): 495-522.
- 58) Williams DL, Cummings DE. (2005) Regulation of ghrelin in physiologic and pathophysiologic states. *J Nutr.*, 135(5): 1320-1325.
- 59) Ghigo E, Broglio F, Arvat E, Maccario M, Papotti M, Muccioli G. (2005) Ghrelin: more than a natural GH secretagogue and/or an orexigenic factor. *Clin Endocrinol (Oxf)*., 62(1): 1-17.
- 60) Stengel A, Goebel M, Wang L, Taché Y. (2010) Ghrelin, des-acyl ghrelin and nesfatin-1 in gastric X/A-like cells: role as regulators of food intake and body weight. *Peptides*, 31(2): 357-369.
- 61) Nakazato M, Murakami N, Date Y, Kojima M, Matsuo H, Kangawa K, Matsukura S. (2001) A role for ghrelin in the central regulation of feeding. *Nature*, 409(6817):194-198.
- 62) Shintani M, Ogawa Y, Ebihara K, Aizawa-Abe M, Miyanaga F, Takaya K, Hayashi T, Inoue G, Hosoda K, Kojima M, Kangawa K, Nakao K. (2001) Ghrelin, an endogenous growth hormone secretagogue, is a novel orexigenic peptide that antagonizes leptin action through the activation of hypothalamic neuro peptide Y/Y1 receptor pathway. *Diabetes*, 50(2): 227-232.
- 63) Shiiya T, Nakazato M, Mizuta M, Date Y, Mondal MS, Tanaka M, Nozoe S, Hosoda H, Kangawa K, Matsukura S. (2002) Plasma ghrelin levels in lean and obese humans and the effect of glucose on ghrelin secretion. *J Clin Endocrinol Metab.*, 87(1): 240-244.
- 64) Dafopoulos K, Sourlas D, Kallitsaris A, Pournaras S, Messinis IE. (2009) Blood ghrelin, resistin, and adiponectin concentrations during the normal menstrual cycle. *Fertil Steril.*, 92(4): 1389-1394.

- 65) Šrámková M, Dušková M, Vítků J, Včelák J, Matucha P, Bradnová O, de Cordeiro J, Stárka L. (2015) Levels of adipokines and some steroids during the menstrual cycle. *Physiol Res.*, 64 Suppl 2: S147-154.
- 66) Unlu BS, Koken G, Celik F, Mert N, Yildiz Y, Koca B, Yilmazer M. (2014) In contrast to leptin, serum concentrations of ghrelin are not related to premenstrual syndrome. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.*, 18(20): 3010-3015.
- 67) Scheid JL, De Souza MJ. (2010) Menstrual irregularities and energy deficiency in physically active women: the role of ghrelin, PYY and adipocytokines. *Med Sport Sci.*, 55: 82-102.
- 68) De Souza MJ, Leidy HJ, O'Donnell E, Lasley B, Williams NI. (2004) Fasting ghrelin levels in physically active women: relationship with menstrual disturbances and metabolic hormones. *J Clin Endocrinol Metab.*, 89(7): 3536-3542.
- 69) Murphy KG, Bloom SR. (2006) Gut hormones and the regulation of energy homeostasis. *Nature*, 444: 854–859.
- 70) Batterham RL, Bloom SR. (2003) The gut hormone peptide YY regulates appetite. *Ann N Y Acad Sci.*, 994: 162-168.
- 71) Campolier M, Thondre SP, Clegg M, Shafat A, McIntosh A, Lightowler H. (2016) Changes in PYY and gastric emptying across the phases of the menstrual cycle and the influence of the ovarian hormones. *Appetite*, 107: 106-115.
- 72) Peters JH, Karpel AB, Ritter RC, Simasko SM. (2004) Cooperative activation of cultured vagal afferent neurons by leptin and cholecystokinin. *Endocrinology*, 145(8): 3652-3657.
- 73) Peters JH, McKay BM, Simasko SM, Ritter RC. (2005) Leptin-induced satiation mediated by abdominal vagal afferents. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 288(4): R879-884.
- 74) Gibbs J, Young RC, Smith GP. (1973) Cholecystokinin decreases food intake in rats. *J Comp Physiol Psychol.*, 84(3): 488-495.
- 75) Reidelberger RD, Hernandez J, Fritsch B, Hulce M. (2004) Abdominal vagal mediation of the satiety effects of CCK in rats. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 286(6): R1005-1012.

- 76) Asarian L, Geary N. (2007) Estradiol enhances cholecystokinin-dependent lipid-induced satiation and activates estrogen receptor-alpha-expressing cells in the nucleus tractus solitarius of ovariectomized rats. *Endocrinology*, 148(12): 5656-5666.
- 77) Brennan IM, Feltrin KL, Nair NS, Hausken T, Little TJ, Gentilcore D, Wishart JM, Jones KL, Horowitz M, Feinle-Bisset C. (2009) Effects of the phases of the menstrual cycle on gastric emptying, glycemia, plasma GLP-1 and insulin, and energy intake in healthy lean women. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.*, 297(3): G602-610.
- 78) Dorling J, Broom DR, Burns SF, Clayton DJ, Deighton K, James LJ, King JA, Miyashita M, Thackray AE, Batterham RL, Stensel DJ. (2018) Acute and Chronic Effects of Exercise on Appetite, Energy Intake, and Appetite-Related Hormones: The Modulating Effect of Adiposity, Sex, and Habitual Physical Activity. *Nutrients*, 10(9): 1140.
- 79) Stensel D. (2010) Exercise, appetite and appetite-regulating hormones: implications for food intake and weight control. *Ann Nutr Metab.*, 57 Suppl 2: 36-42.
- 80) Schubert MM, Sabapathy S, Leveritt M, Desbrow B. (2014) Acute exercise and hormones related to appetite regulation: a meta-analysis. *Sports Med.*, 44(3): 387-403.
- 81) Thackray AE, Deighton K, King JA, Stensel DJ. (2016) Exercise, Appetite and Weight Control: Are There Differences between Men and Women? *Nutrients*, 8(9): E583.
- 82) Kawano H, Mineta M, Asaka M, Miyashita M, Numao S, Gando Y, Ando T, Sakamoto S, Higuchi M. (2013) Effects of different modes of exercise on appetite and appetite-regulating hormones. *Appetite*, 66: 26-33.
- 83) Broom DR, Batterham RL, King JA, Stensel DJ. (2009) Influence of resistance and aerobic exercise on hunger, circulating levels of acylated ghrelin, and peptide YY in healthy males. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 296(1): R29-35.
- 84) Broom DR, Stensel DJ, Bishop NC, Burns SF, Miyashita M. (2007) Exercise-induced suppression of acylated ghrelin in humans. *J Appl Physiol (1985).*, 102(6): 2165-2171.
- 85) Wasse LK, Sunderland C, King JA, Miyashita M, Stensel DJ. (2013) The influence of vigorous running and cycling exercise on hunger perceptions and plasma acylated ghrelin concentrations in lean young men. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 38(1): 1-6.
- 86) Holliday A, Blannin A. (2017) Appetite, food intake and gut hormone responses to intense aerobic exercise of different duration. *J Endocrinol.*, 235(3): 193-205.

- 87) Larson-Meyer DE, Palm S, Bansal A, Austin KJ, Hart AM, Alexander BM. (2012) Influence of running and walking on hormonal regulators of appetite in women. *J Obes.*, 2012: 1-15.
- 88) Martins C, Morgan LM, Bloom SR, Robertson MD. (2007) Effects of exercise on gut peptides, energy intake and appetite. *J Endocrinol.*, 193(2): 251-258.
- 89) Ueda S, Yoshikawa T, Katsura Y, Usui T, Nakao H, Fujimoto S. (2009) Changes in gut hormone levels and negative energy balance during aerobic exercise in obese young males. *J Endocrinol.*, 201(1): 151-159.
- 90) Ueda S, Yoshikawa T, Katsura Y, Usui T, Fujimoto S. (2009) Comparable effects of moderate intensity exercise on changes in anorectic gut hormone levels and energy intake to high intensity exercise. *J Endocrinol.*, 203(3): 357-364.
- 91) Deighton K, Karra E, Batterham RL, Stensel DJ. (2013) Appetite, energy intake, and PYY3-36 responses to energy-matched continuous exercise and submaximal high-intensity exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 38(9): 947-952.
- 92) Hazell TJ, Islam H, Hallworth JR, Copeland JL. (2017) Total PYY and GLP-1 responses to submaximal continuous and supramaximal sprint interval cycling in men. *Appetite*, 108: 238-244.
- 93) Bailey DM, Davies B, Castell LM, Newsholme EA, Calam J. (2001) Physical exercise and normobaric hypoxia: independent modulators of peripheral cholecystokinin metabolism in man. *J Appl Physiol* (1985)., 90(1): 105-113.
- 94) Philipp E, Wilckens T, Friess E, Platte P, Pirke KM. (1992) Cholecystokinin, gastrin and stress hormone responses in marathon runners. *Peptides*, 13(1): 125-128.
- 95) 能勢 さやか, 桜間 裕子. (2017) リオ 2016 パラリンピック競技大会 女性アスリートへの婦人科調査 報告書. 公益財団法人日本障がい者スポーツ協会 日本パラリンピック委員会 女性スポーツワーキンググループ.
- 96) International Paralympic Committee. (2017) International Paralympic Committee Style Guide. International Paralympic Committee.
- 97) Russell M, Misra M. (2010) Influence of ghrelin and adipocytokines on bone mineral density in adolescent female athletes with amenorrhea and eumenorrheic athletes. *Med Sport Sci.*, 55: 103-113.

- 98) De Souza MJ, Williams NJ. (2004) Physiological aspects and clinical sequelae of energy deficiency and hypoestrogenism in exercising women. *Hum Reprod Update*, 10(5): 433-448.
- 99) Williams NI, Leidy HJ, Hill BR, Lieberman JL, Legro RS, Souza MJ. (2015) Magnitude of daily energy deficit predicts frequency but not severity of menstrual disturbances associated with exercise and caloric restriction. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 308(1): E29-39.
- 100) Krempien JL, Barr SI. (2011) Risk of nutrient inadequacies in elite Canadian athletes with spinal cord injury. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 21(5): 417–425.
- 101) Krempien JL, Barr SI. (2012) Eating attitudes and behaviours in elite Canadian athletes with a spinal cord injury. *Eat Behav.*, 13(1): 36–41.
- 102) Bragaru M, Dekker R, Geertzen JHB. (2012) Sport prostheses and prosthetic adaptations for the upper and lower limb amputees: an overview of peer reviewed literature. *Prosthet Orthot Int.*, 36(3): 290-296.
- 103) Blauwet CA, Brook EM, Tenforde AS, Broad E, Hu CH, Elizabeth EA, Matzkin EG. (2017) Low Energy Availability , Menstrual Dysfunction , and Low Bone Mineral Density in Individuals with a Disability : Implications for the Para Athlete Population. *Sport Med.*, 47(9): 1697–1708.
- 104) Gerrish HR, Broad E, Lacroix M, Ogan D, Pritchett RC, Pritchett K. (2017) Nutrient Intake of Elite Canadian and American Athletes with Spinal Cord Injury. *Int J Exerc Sci.*, 10(7): 1018–1028.
- 105) Nose-Ogura S, Yoshino O, Dohi M, Kigawa M, Harada M, Hiraike O, Onda T, Osuga Y, Fujii T, Saito S. (2019) Risk factors of stress fractures due to the female athlete triad: Differences in teens and twenties. *Scand J Med Sci Sports.*, 29(10): 1501-1510.
- 106) Tenforde AS, Carlson JL, Chang A, Sainani KL, Shultz R, Kim JH, Cutti P, Golden NH, Fredericson M. (2017) Association of the Female Athlete Triad Risk Assessment Stratification to the Development of Bone Stress Injuries in Collegiate Athletes. *Am J Sports Med.*, 45(2): 302–310.
- 107) Brook EM, Tenforde AS, Broad EM, Matzkin EG, Yang HY, Collins JE, Blauwet CA. (2019) Low energy availability, menstrual dysfunction, and impaired bone health: A

- survey of elite para athletes. *Scand J Med Sci Sports.*, 29(5): 678-685.
- 108) Carmichael MA, Thomson RL, Moran LJ, Wycherley TP. (2021) The impact of menstrual cycle phase on athletes' performance: A narrative review. *Int J Environ Res Public Health.*, 18(4): 1667.
- 109) Paolucci S, Martinuzzi A, Scivoletto G, Solaro C, Aprile I, Armando M, Bergamaschi R, Berra E, Berto G, Carraro E, Cella M, Gandolfi M, Masciullo M, Molinari M, Pagliano E, Pecchioli C, Roncari L, Torre M, Trabucco E, Vallies G, Zerbinati P, Tamburin S. (2016) Assessing and treating pain associated with stroke, multiple sclerosis, cerebral palsy, spinal cord injury and spasticity. *Eur J Phys Rehabil Med.*, 52(6): 827–840.
- 110) Dusek T. (2001) Influence of high intensity training on menstrual cycle disorders in athletes. *Croat Med J.*, 42(1): 79–82.
- 111) Folscher LL, Grant CC, Fletcher L, Janse van Rensburg DC. (2015) Ultra-Marathon Athletes at Risk for the Female Athlete Triad. *Sport Med Open.*, 1(1): 1–8.
- 112) Kamemoto K, Yamada M, Matsuda T, Ogata H, Tanaka N, Sakamaki-Sunaga M. (2021) Relationship between weight management and menstrual status in female athletes: a cross-sectional survey. *Women Health*, 61(8): 819-827.
- 113) Yen JY, Lin HC, Lin PC, Liu TL, Long CY, Ko CH. (2020) Leptin and ghrelin concentrations and eating behaviors during the early and late luteal phase in women with premenstrual dysphoric disorder. *Psychoneuroendocrinology*, 118: 104713.
- 114) Mannucci E, Ognibene A, Becorpi A, Cremasco F, Pellegrini S, Ottanelli S, Rizzello SM, Massi G, Messeri G, Rotella CM. (1998) Relationship between leptin and oestrogens in healthy women. *Eur J Endocrinol*, 139(2): 198-201.
- 115) Ajala OM, Ogunro PS, Elusanmi GF, Ogunyemi OE, Bolarinde AA. (2013) Changes in serum leptin during phases of menstrual cycle of fertile women: relationship to age groups and fertility. *Int J Endocrinol Metab*, 11(1): 27-33.
- 116) Ahrens K, Mumford SL, Schliep KC, Kissell KA, Perkins NJ, Wactawski-Wende J, Schisterman EF. (2014) Serum leptin levels and reproductive function during the menstrual cycle. *Am J Obstet Gynecol*, 210(3): 248.e1-9.
- 117) Flint A, Raben A, Blundell JE, Astrup A. (2000) Reproducibility, power and validity of visual analogue scales in assessment of appetite sensations in single test meal studies.

- Int J Obes Relat Metab Disord., 24(1): 38-48.
- 118) Gibbons C, Hopkins M, Beaulieu K, Oustric P, Blundell JE. (2019) Issues in measuring and interpreting human appetite (satiety/satiation) and its contribution to obesity. *Curr Obes Rep.*, 8(2): 77-87.
- 119) Cohen J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum., p. 24-27.
- 120) Hashimoto H, Ishijima T, Hayashida H, Suzuki K, Higuchi M. (2014) Menstrual cycle phase and carbohydrate ingestion alter immune response following endurance exercise and high intensity time trial performance test under hot conditions. *J Int Soc Sports Nutr.*, 11: 39.
- 121) Janse DE Jonge X, Thompson B, Han A. (2019) Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise. *Med Sci Sports Exerc.*, 51(12): 2610-2617.
- 122) Hill BR, De Souza MJ, Williams NI. (2011) Characterization of the diurnal rhythm of peptide YY and its association with energy balance parameters in normal-weight premenopausal women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 301(2): E409-415.
- 123) Howe SM, Hand TM, Manore MM. (2014) Exercise-trained men and women: Role of exercise and diet on appetite and energy intake. *Nutrients*, 6(11): 4935-4960.
- 124) Thong FS, McLean C, Graham TE. (2000) Plasma leptin in female athletes: relationship with body fat, reproductive, nutritional, and endocrine factors. *J Appl Physiol* (1985)., 88(6): 2037-2044.
- 125) Fenton JM, King JA, Hoekstra SP, Willis SA, Ogawa T, Goosey-Tolfrey VL. (2021) Accentuated early postprandial satiety in people with spinal cord injury versus able-bodied controls. *Appetite*, 167:105628.
- 126) Asakawa A, Inui A, Fujimiya M, Sakamaki R, Shinfuku N, Ueta Y, Meguid MM, Kasuga M. (2005) Stomach regulates energy balance via acylated ghrelin and desacyl ghrelin. *Gut*, 54: 18-24.
- 127) Hallworth JR, Copeland JL, Doan J, Hazell TJ. (2017) The Effect of Exercise Intensity on Total PYY and GLP-1 in Healthy Females: A Pilot Study. *J Nutr Metab.*, 2017: 4823102.

- 128) Hazell TJ, Townsend LK, Hallworth JR, Doan J, Copeland JL. (2017) Sex differences in the response of total PYY and GLP-1 to moderate-intensity continuous and sprint interval cycling exercise. *Eur J Appl Physiol.*, 117(3): 431-440.
- 129) Hagobian TA, Sharoff CG, Stephens BR, Wade GN, Silva JE, Chipkin SR, Braun B. (2009) Effects of exercise on energy-regulating hormones and appetite in men and women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 296(2): R233-242.
- 130) Hagobian TA, Yamashiro M, Hinkel-Lipsker J, Streder K, Evero N, Hackney T. (2013) Effects of acute exercise on appetite hormones and ad libitum energy intake in men and women. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 38(1): 66-72.
- 131) Alajmi N, Deighton K, King JA, Reischak-Oliveira A, Wasse LK, Jones J, Batterham RL, Stensel DJ. (2016) Appetite and energy intake responses to acute energy deficits in females versus males. *Med Sci Sports Exerc.*, 48(3): 412-420.
- 132) Céline CG, Monnier-Benoit P, Gros Lambert A, Tordi N, Perrey S, Rouillon JD. (2011) The perceived exertion to regulate a training program in young women. *J Strength Cond Res.*, 25(1): 220-224.
- 133) Borg G. (1970) Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med.*, 2: 92-98.
- 134) Broad AA, Howe GJ, McKie GL, Vanderheyden LW, Hazell TJ. (2021) The effects of a pre-exercise meal on postexercise metabolism following a session of sprint interval training. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 45(4): 411-420.
- 135) Copeland JL, Consitt LA, Tremblay MS. (2002) Hormonal responses to endurance and resistance exercise in females aged 19-69 years. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 57(4): B158-165.
- 136) Jurkowski JE, Jones NL, Walker C, Younglai EV, Sutton JR. (1978) Ovarian hormonal responses to exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.*, 44(1): 109-114.
- 137) Broom DR, Miyashita M, Wasse LK, Pulsford R, King JA, Thackray AE, Stensel DJ. (2017) Acute effect of exercise intensity and duration on acylated ghrelin and hunger in men. *J Endocrinol.*, 232(3): 411-422.
- 138) Howe SM, Hand TM, Larson-Meyer DE, Austin KJ, Alexander BM, Manore MM.

- (2016) No effect of exercise intensity on appetite in highly-trained endurance women. *Nutrients*, 8(4): 223.
- 139) King JA, Miyashita M, Wasse LK, Stensel DJ. (2010) Influence of prolonged treadmill running on appetite, energy intake and circulating concentrations of acylated ghrelin. *Appetite*, 54(3): 492-498.
- 140) Islam H, Townsend LK, McKie GL, Medeiros PJ, Gurd BJ, Hazell TJ. (2017) Potential involvement of lactate and interleukin-6 in the appetite-regulatory hormonal response to an acute exercise bout. *J Appl Physiol* (1985) ., 123(3): 614-623.
- 141) McCarthy SF, Islam H, Hazell TJ. (2020) The emerging role of lactate as a mediator of exercise-induced appetite suppression. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 319: E814-819.
- 142) Engelstoft MS, Park WM, Sakata I, Kristensen LV, Husted AS, Osborne-Lawrence S, Piper PK, Walker AK, Pedersen MH, Nøhr MK, Pan J, Sinz CJ, Carrington PE, Akiyama TE, Jones RM, Tang C, Ahmed K, Offermanns S, Egerod KL, Zigman JM, Schwartz TW. (2013) Seven transmembrane G protein-coupled receptor repertoire of gastric ghrelin cells. *Mol Metab.*, 2(4): 376-392.
- 143) Feinle-Bisset C, Patterson M, Ghatei MA, Bloom SR, Horowitz M. (2005) Fat digestion is required for suppression of ghrelin and stimulation of peptide YY and pancreatic polypeptide secretion by intraduodenal lipid. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 289(6): E948-953.
- 144) Feltrin KL, Patterson M, Ghatei MA, Bloom SR, Meyer JH, Horowitz M, Feinle-Bisset C. (2006) Effect of fatty acid chain length on suppression of ghrelin and stimulation of PYY, GLP-2 and PP secretion in healthy men. *Peptides*, 27(7): 1638-1643.
- 145) Shah BP, Liu P, Yu T, Hansen DR, Gilbertson TA. (2012) TRPM5 is critical for linoleic acid-induced CCK secretion from the enteroendocrine cell line, STC-1. *Am J Physiol Cell Physiol.*, 302(1): C210-219.
- 146) Peake JM, Tan SJ, Markworth JF, Broadbent JA, Skinner TL, Cameron-Smith D. (2014) Metabolic and hormonal responses to isoenergetic high-intensity interval exercise and continuous moderate-intensity exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*,

- 307(7): E539-552.
- 147) Janse de Jonge X. (2003) Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Med.*, 33(11): 833-851.
- 148) Horton TJ, Miller EK, Bourret K. (2006) No effect of menstrual cycle phase on glycerol or palmitate kinetics during 90 min of moderate exercise. *J Appl Physiol* (1985)., 100(3): 917-925.
- 149) Finlayson G, Bryant E, Blundell JE, King NA. (2009) Acute compensatory eating following exercise is associated with implicit hedonic wanting for food. *Physiol Behav.*, 97(1): 62-67.
- 150) Cummings DE, Purnell JQ, Frayo RS, Schmidova K, Wisse BE, Weigle DS. (2001) A preprandial rise in plasma ghrelin levels suggests a role in meal initiation in humans. *Diabetes*, 50(8): 1714-1719.
- 151) Kamemoto K, Yamada M, Matsuda T, Ogata H, Ishikawa A, Kanno M, Miyashita M, Sakamaki-Sunaga M. (2022) Effects of menstrual cycle on appetite-regulating hormones and energy intake in response to cycling exercise in physically active women. *J Appl Physiol* (1985)., 132(1): 224-235.

付 記

筆者の研究業績を以下に示す。

論文発表

【英文原著】

1. **Kayoko Kamemoto**, Mizuki Yamada, Tomoka Matsuda, Hazuki Ogata, Nobuyuki Tanaka, Mikako Sakamaki-Sunaga. Relationship between weight management and menstrual status in female athletes: a cross-sectional survey. *Women Health*. 61(8) :819-827. 2021.
2. **Kayoko Kamemoto**, Mizuki Yamada, Tomoka Matsuda, Hazuki Ogata, Akira Ishikawa, Moe Kanno, Masashi Miyashita, Mikako Sakamaki-Sunaga. Effects of menstrual cycle on appetite-regulating hormones and energy intake in response to cycling exercise in physically active women. *Journal of Applied physiology* (1985). 132(1): 224-235. 2022.

学会発表

【国際学会】

1. **Kayoko Kamemoto**, Mizuki Yamada, Tomoka Matsuda, Hazuki Ogata, Mikako Sakamaki-Sunaga. The association between the menstrual cycle and the effects of acute exercise on appetite-regulatory hormones and energy intake. The 24th Annual Congress of the European College of Sport Science. 3 - 6 July. 2019. Prague. Czech Republic.
2. **Kayoko Kamemoto**, Mizuki Yamada, Tomoka Matsuda, Hazuki Ogata, Mikako Sakamaki-Sunaga. Relationship between weight loss in female collegiate athletes and menstruation and stress fracture: A cross-sectional survey. The 2020 Yokohama Sport Conference. 8 - 12 September. 2020. Yokohama. Japan (Online)

【国内学会】

1. **亀本佳世子**, 山田満月, 松田知華, 緒方はづき, 須永美歌子. 一過性運動が食欲, エネルギー摂取量に与える影響－黄体期に食欲の亢進を自覚する女性アスリートを対象とした検討－. 日本スポーツ栄養学会第5回大会. 京都府. 2018.7.20-21. [口頭発表]

2. 亀本佳世子, 山田満月, 松田知華, 緒方はづき, 須永美歌子. 一過性運動が食欲および食欲調整ホルモンに与える影響と月経周期の関連性の検討. 第 73 回日本体力医学会大会. 福井県. 2018.9.7-9. [口頭発表]

謝辞

女性アスリートを対象とした研究の興味深さ、難しさ、そしてスポーツ現場で広く必要とされている分野であるという実情を教えてくださいましたのは、指導教員である日本体育大学 須永美歌子教授でした。博士課程においては、多くの貴重な研究の機会を与えていただくと同時に、仕事や将来の方向性などに関してお心遣いをいただき、丁寧にご指導いただきましたことに、心より感謝申し上げます。10年前、須永教授に出会っていなければ今の自分は無かったと思います。そして、須永研究室の学生とスタッフの皆さまに多大なご協力をいただき、実験を遂行することができました。私が社会人学生として研究室に所属したことにより、日常の研究室の仕事を担うことができなかつたにも関わらず、やさしく接していただき、快く実験の補助を引き受けてくださった日々は私の宝物です。また研究の遂行は、被験者と関係者の皆さまのご協力無くして実現できませんでした。本研究は多くの女性アスリートと指導者、関係者の皆さまにご協力を頂きました。改めまして感謝申し上げます。研究デザインの立案、遂行、および論文執筆に当たり日本体育大学 田中信行教授、早稲田大学 宮下政司教授に、多くのご助言、ご指導をいただきました。お忙しい中、貴重なお時間を割いていただきましたことに心より御礼申し上げます。そして、副査をお引き受けくださいました日本体育大学 中里浩一教授、田中信行教授に改めまして感謝申し上げます。

いつも近くで支えてくださった友人、家族に心からの感謝を伝えたいです。皆さんが励まし、支えてくださったからこそ、困難を乗り越えることができました。横浜国立大学 名誉教授である父、亀本喬司さんからの研究に関するご助言からは、多くのことを学びました。最後に、須永美歌子教授と出会うきっかけをくださった、故 河村文香さんに本論文を捧げたいと思います。素晴らしい方々との出会いに感謝いたします。