

月経周期が持久性運動中のアミノ酸代謝動態に及ぼす影響
～月経周期を考慮したコンディショニング法の開発をめざして～

須永 美歌子

目 次

要約	1
緒言	2
方法	4
結果	6
考察	7
結論	9
謝辞	9
引用文献	10
図表	13

月経周期が持久性運動中のアミノ酸代謝動態に及ぼす影響
～月経周期を考慮したコンディショニング法の開発をめざして～

須永 美歌子(日本体育大学), 丸山 麻子(順天堂大学),
中村 亜紀(びわこ成蹊スポーツ大学)

要約

【背景】女性は月経周期を有し, 卵巣から分泌される卵胞ホルモン(エストロゲン)と黄体ホルモン(プロゲステロン)が約 28 日周期で大きく増減する. このような女性ホルモン濃度の変動が心身のコンディションに変化をもたらし, パフォーマンスに影響することが報告されている. いかなるフェーズにおいてもベストなパフォーマンス発揮を必要とされるアスリートにとって, 月経周期による生体内の様々な変化は, コンディションの維持を難しくする一因となっている. 月経周期に伴う心身のコンディションの変化に及ぼす要因は多岐にわたるが, 本研究では身体的および精神的疲労との関連が報告されている血中アミノ酸濃度の変化について着目した.

【目的】本研究では, 女性アスリートを対象として持久性運動を実施し, 運動中および回復過程のアミノ酸代謝動態を観察することによって, 月経周期がエネルギー代謝やコンディションに与える影響について検討することを目的とした.

【方法】対象者は, 正常な月経周期を有する女性アスリート(ラクロス部所属)7 名であった. 本研究において被験者は, 計 5 回の実験に参加した. 1 回目は, 本実験の事前測定として, 最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)を測定した. 本実験は, 1 週間に 1 回の頻度で計 4 回の持久性運動を実施した. 椅坐位安静を 30 分以上保った後に運動前の採血を行い, 持久性運動(自転車エルゴメーターを用いたペダリング運動, 65-70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度, 60 分間)を実施した. 運動終了後は, 椅坐位姿勢で 60 分間安静を保ち, 回復過程を観察した. 採血は, 運動前(0 分), 運動開始 30 分後(30 分), 運動開始 45 分後(45 分), 運動終了直後(60 分), 運動終了 30 分後(90 分), 運動終了 60 分後(120 分)の計 6 ポイントに行った.

【結果】測定期間中, 被験者全員が正常な月経周期(28.6 ± 3.1 日)を有していた. エストラジオールおよびプロゲステロンは, それぞれ卵胞期に比べて黄体期に有意に高い値を示した. 本研究で測定を行ったアミノ酸分画 38 項目のうち, 7 項目(アラニン, スレオニン, グルタミン, プロリン, アルギニン, オルニチン, シトルリン)において, 安静時, 運動中および運動終了後に卵胞期に比べて黄体期に値が有意に低下することが認められた. グルカゴン, グルコース, 呼吸商および Fischer 比は, すべてのポイントにおいて卵胞期と黄体期の値に有意な差は認められなかった.

【結論】正常な月経周期を有する女性アスリートにおいて, 持久性運動時および回復過程に卵胞期に比べて黄体期に血中アミノ酸濃度の低下が観察された. このことから, 月経周期が持久性パフォーマンス, トレーニング効果および疲労感に影響を与える可能性が考えられた. また, 月経周期によるコンディションの変動を抑制するためには, 月経周期を考慮して食事管理を行う必要があることが示唆された. 本研究によって得られた知見は, 女性アスリートの競技力向上, ひいては一般女性の健康の維持増進にも貢献しうると考える.

I. 緒言

月経周期とは、月経開始日より次の月経が始まる前日までの期間と定義され、卵巣から分泌される卵胞ホルモン(エストロゲン)と黄体ホルモン(プロゲステロン)が約 28 日周期で大きく増減することによってなされる。月経周期は、卵胞期(低エストロゲン、低プロゲステロン)と黄体期(高エストロゲン、高プロゲステロン)の大きく 2 つのフェーズに分類することができる。このような女性ホルモンの周期的な変動は、成人女性特有の現象であり、生殖機能において重要な役割を担っている。しかしながら、このような女性ホルモン濃度の変動が心身のコンディションに変化をもたらし、パフォーマンスに影響することが報告されている(Constantini et al. 2005; Janse de Jonge 2003)。いかなるフェーズにおいてもベストなパフォーマンス発揮を必要とされるアスリートにとって、月経周期による生体内の様々な変化は、コンディションの維持を難しくする一因となっている。月経周期に伴う生体内の変化に関する報告は多岐にわたるが、本研究ではエネルギー代謝について着目した。

エストロゲンには、肝臓でのグリコーゲン分解による糖新生や骨格筋でのグルコースを低下させる作用があることが多く報告されており(D'Eon et al. 2002; Devries et al. 2005; Ruby et al. 1997)、月経周期のフェーズで比較した研究においても卵胞期に比べて黄体期にグルコースによるエネルギー供給が低下することが報告されている(Hackney et al. 1994; Lavoie et al. 1987)。Lavoie et al. は、正常な月経周期を有する女性を対象として、最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)の 63%強度で 90 分の自転車運動を卵胞期と黄体期にそれぞれ実施し、各フェーズにおけるエネルギー基質やホルモン濃度の変化を比較している(Lavoie et al. 1987)。その結果、卵胞期は黄体期に比べて運動中のグルコース濃度が低く、血中乳酸濃度が高い値を示した。また、Hackney et al. は、 $\dot{V}O_{2max}$ 60%強度での運動時の呼吸商を卵胞期と黄体期で比較したところ、黄体期に低い値を示したことを報告している(Hackney et al. 1994)。これらのことから、黄体期は糖質利用よりも脂質利用が高まると考えられ、このような最大下運動でのエネルギー基質利用の変化は、長時間の持久性運動におけるパフォーマンスに影響を及ぼす可能性が考えられる。

エストロゲンやプロゲステロンの持つ作用として糖質代謝や脂質代謝だけでなく、タンパク代謝に影響を及ぼすという報告もある。Hamaddeh et al. は、男性を対象にエストロゲンを投与し、最大酸素摂取量の 65%強度で自転車運動を 90 分間実施した。その結果、コントロール条件に比べてエストロゲン投与条件ではロイシンの酸化量が 2.2 倍となり、脂質利用率が有意に増加したことを報告している(Hamaddeh et al. 2005)。このことは、エストロゲンがアミノ酸の酸化を減少させ、タンパクの異化を抑制する作用を持つことを示す。

一方、プロゲステロンがタンパク代謝に与える影響について検討した研究は非常に限られているが、いずれも異化作用を促進させる働きがあることが報告されている(Landau and Lugibihl 1961, 1967)。また、Lamont et al. は、卵胞期と黄体期の持久性運動前後の尿中窒素排泄量を比較し、黄体期に運動負荷後の尿中窒素排泄量が高まることを報告している(Lamont et al. 1987)。尿中窒素排泄量の増加は、主に筋タンパクの異化作用が亢進したことを意味する。このように、タンパク代謝における作用は、エストロゲンとプロゲステロンで拮抗的である。

我々は、正常な月経周期を有する女性を対象にメタボローム解析を用いて、卵胞期と黄体期の血漿中代謝物質を網羅的に解析し、月経周期がエネルギー系代謝物質に与える影響について検討した(Sunaga and Maruyama 2013)。その結果、卵胞期と黄体期で大きく変動した代謝物質はコントロール群よりもアスリート群の方が多く、特に卵胞期に比べて黄体期に糖原性アミノ酸濃度の低下が観察された。糖原性のアミノ酸は、クエン酸回路を介してグルコース産生に関与することから、エネルギー供給において重要な基質である。しかしながら、運動中にこれらのアミノ酸濃度が各フェーズで変化するかは明らかとなっていない。

血漿中のアミノ酸濃度の低下は、身体的な疲労(Newsholme and Blomstrand 1996; Nozaki et al. 2009)や中枢性疲労(Meeusen and Watson 2007)と関係すること、さらには慢性疲労症候群(Mizuno et al. 2007)との関連性が報告されている。Mizuno et al. は、血漿中のアミノ酸濃度のレベルは、精神的な疲労もしくは精神

的なタスクによって誘発される疲労の指標になることを示唆している(Mizuno et al. 2007). 以上のことから、月経周期に伴い、心身のコンディションが変動する要因のひとつとして運動中のエネルギー代謝を捉えることは非常に重要であり、このようなエネルギー代謝の変化は、アスリートのコンディションやパフォーマンスに様々な影響を及ぼすと考えられる。

そこで、本研究では、女性アスリートを対象として持久性運動を実施し、運動中のアミノ酸代謝動態を観察することによって、月経周期がエネルギー代謝やコンディションに与える影響について検討することを目的とした。もし、運動中に血中のアミノ酸濃度が変化するのであれば、月経周期のフェーズによって食事や運動量を調整することで、適切なコンディショニングや効率的なトレーニングプログラム作成に生かすことができると考えられる。本研究によって得られた知見は、女性アスリートの競技力向上、ひいては一般女性の健康の維持増進にも貢献しうると考える。

II. 方法

対象者

本研究の対象者は、正常な月経周期を有する女性アスリート(ラクロス部所属)7名であった(21.7 ± 0.5 歳, 157.4 ± 5.1 cm, 52.7 ± 4.6 kg, $24.6 \pm 3.5\%$). 正常な月経周期を有するか否かは、月経周期に関するアンケートおよび実験開始 1 ヶ月前より基礎体温を記録することによって確認した。被験者のトレーニング習慣は、4 時間/日、5 日/週であった。また、すべての被験者は経口避妊薬をした経験はなく、内科的・婦人科的疾患を有する者はなかった。対象者には、事前に研究の目的や測定内容を文章および口頭で十分に説明し、文書での研究参加の同意を得た。本研究は、日本体育大学倫理審査委員会の承認を受けて実施された(承認番号:第 012-H15 号)。

実験デザイン

本研究において被験者は、計 5 回の実験に参加した。1 回目は、本実験の事前測定として、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)を測定した。本実験は、1 週間に 1 回の頻度(毎週同じ曜日)で計 4 回の持久性運動を実施した。実験当日は、入室後、椅坐位安静を 30 分以上保った後に運動前の採血を行い、60 分間の自転車運動を実施した。運動終了後は、椅坐位姿勢で 60 分間安静を保ち、回復過程を観察した。採血は、運動前(0 分)、運動開始 30 分後(30 分)、運動開始 45 分後(45 分)、運動終了直後(60 分)、運動終了 30 分後(90 分)、運動終了 60 分後(120 分)の計 6 ポイントに行った。本実験のプロトコルを図 1 に示した。また、食事摂取の影響を除くため、すべての実験前日の夕食は、全被験者が実験の 12 時間前までに同一の規定食(エネルギー789.6kcal, 糖質;123.3g, 脂質;22g, タンパク質;24.6g)を摂食した。さらに、実験開始前の 12 時間以内は、アルコール、カフェインの摂取を禁止した。

運動条件

$\dot{V}O_2\max$ は、自転車エルゴメーター(Corival1000S, LODE B.V. Medical Technology, オランダ)を用いて漸増負荷法による最大運動負荷テストを実施し、オールアウト時の酸素摂取量から求めた。運動開始後、2 分間のウォーミングアップ(60W)の後に、ランプ負荷法により 1 分毎に 15W ずつ負荷を漸増し、オールアウトに至らせた。なお、1.呼吸商が 1.2 以上、2.RPE が 20 に達したとき、3.被験者が運動続行不可能と判断したときのいずれかに該当した場合にオールアウトとした。

本実験での持久性運動は、自転車エルゴメーターを用いて、事前測定で求めた $\dot{V}O_2\max$ の 65-70%強度で 60 分間実施した。ペダリングの回転数は、60rpm に維持するように指示した。

測定項目

1.形態計測

身長は伸縮式ハンドル身長計(YG-200, 株式会社ヤガミ, 名古屋)を用いて 0.1cm 単位で測定した。体重および体脂肪率の測定は、体組成計(BC-600, 株式会社タニタ, 東京)を用いてバイオインピーダンス法を用いて行った。

2.月経周期

月経周期および月経状態を確認するために月経の持続日数、月経周期、月経中の状態についてアンケート調査を行った。正常な月経周期を有すると確認できた者を対象に、本実験の 1 ヶ月前より実験終了まで毎朝起床後に基礎体温を測定した。起床時刻はできるだけ同時刻とし、異なる場合には ± 1 時間とした。基礎体温は、婦人体温計(WOMAN $^{\circ}C$ -C531:テルモ株式会社, 東京)を用いて舌下温を測定し、小数第 2 位まで記録した。本研究では、基礎体温の記録を確認し、低温期と高温期の二相性が認められた者を対

象とした。月経周期の各フェーズ(卵胞期, 黄体期)は, 各被験者の月経周期(日数), エストラジオールおよびプロゲステロン濃度から総合的に決定した。

3.呼吸代謝

酸素摂取量($\dot{V}O_2$), 呼吸交換比(RER)は, 呼吸代謝モニタシステム(AE-310S:ミナト医科学株式会社, 大阪)を用いて breath-by-breath 法にて連続測定した。

4.心拍数

心拍数(HR)は, 心電計(ベッドサイドモニタ BSM-240:日本光電工業株式会社, 東京)を使用して胸部双極誘導にて 30 秒ごとに連続的に記録した。

5. 主観的運動強度

主観的運動強度(RPE)は, Borg scale(Borg 1990)を用いて運動負荷を漸増する 30 秒前に被験者に示した。

6.血液分析

採取した血液サンプルは, 遠心分離(3,000rpm/min, 10min, 4℃)を行い血漿および血清に分注し, -20℃で凍結保存した。アミノ酸分画は HPLC 法(High performance liquid chromatography)エストラジオールとプロゲステロンは ECLIA 法(Electro chemiluminescence immunoassay), グルカゴンは RIA2 抗体法(Double-antibody Radioimmunoassay), グルコースはヘキソキナーゼUV法にて測定を行った。Fischer 比は, 次式によって算出した。Fischer 比($BCAA/AAA$)= $Valine + Leucine + Isoleucine / Tyrosine + Phenylalanine$ 。なお, 血液分析のサンプルは, 4 回の測定のうちエストラジオールとプロゲステロンの血中濃度から月経周期のフェーズ(卵胞期・黄体期)を確認し, 該当する血液サンプルを分析に用いた。すべての血液分析は, 株式会社 SRL に委託して行った。

統計処理

各測定項目の値はすべて平均値±標準偏差で示した。各条件間の比較は卵胞期と黄体期の条件間と時間経過に伴う平均値の差は, 繰り返しのある二元配置分散分析法(Two-factor factorial ANOVA)を行い, 交互作用に有意な差があった場合には, Bonferroni 法を用いて post-hoc テストを行った。解析には, SPSSVer.19.0 for Windows を用い, 危険率 5%未満を有意水準とした。

結果

1. 月経周期と性ホルモン濃度

測定期間中の被験者の月経周期は、 28.6 ± 3.1 日であり、全員が正常な月経周期を有していた。各フェーズの測定日は月経開始日よりそれぞれ卵胞期 4.7 ± 3.8 日、黄体期 24.2 ± 4.2 日であった。図 2 に卵胞期と黄体期のエストラジオールおよびプロゲステロン濃度を示した。エストラジオールは、卵胞期に $40.2 \pm 15.4 \text{ pg/mL}$ 、黄体期に $170.8 \pm 75.2 \text{ pg/mL}$ であり、卵胞期に比べて黄体期に有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。プロゲステロンは、卵胞期に $0.5 \pm 0.1 \text{ ng/mL}$ 、黄体期に $11.3 \pm 6.5 \text{ ng/mL}$ であり、卵胞期に比べて黄体期に有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

2. 月経周期が糖代謝、呼吸交換比および RPE に与える影響

血中グルカゴンおよびグルコース濃度の変化を図 3 に示した。グルカゴンおよびグルコース濃度は、安静時および運動時のすべてのポイントにおいて卵胞期と黄体期の値に有意な差は認められなかった。卵胞期と黄体期の運動中の呼吸交換比の変化を図 4 に示した。呼吸交換比は、卵胞期は安静時 0.82 ± 0.04 、30 分 0.94 ± 0.04 、45 分 0.92 ± 0.04 、60 分 0.91 ± 0.04 、黄体期は、安静時 0.80 ± 0.04 、30 分 0.91 ± 0.04 、45 分 0.92 ± 0.08 、60 分 0.91 ± 0.08 であった。呼吸交換比は、安静時において卵胞期に比べて黄体期に低い傾向を示したが、すべてのポイントで卵胞期と黄体期の値に有意な差は認められなかった。運動中の RPE は、卵胞期 30 分 13.8 ± 2.5 、45 分 15.0 ± 2.8 、60 分 14.5 ± 1.0 、黄体期 30 分 13.7 ± 1.6 、45 分 15.0 ± 1.5 、60 分 15.0 ± 1.6 ですべてのポイントにおいて卵胞期と黄体期の値に有意な差は認められなかった。

3. 月経周期が運動中の血中アミノ酸動態に与える影響

卵胞期と黄体期の血中アミノ酸濃度の変化を図 5-1, 2 に示した。本研究で測定を行ったアミノ酸分画 (38 項目) のうち、7 項目において卵胞期と黄体期の値に有意な差が認められた。アラニンは、安静時から運動中 (30 分、45 分、60 分) にかけて、卵胞期よりも黄体期に有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。スレオニン、グルタミン、プロリン、アルギニンは、運動開始 30 分に卵胞期に比べて黄体期に有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。オルニチンは、運動終了 30 分後に卵胞期に比べて黄体期に有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。シトルリンは、安静時および運動終了 60 分後に卵胞期に比べて黄体期に有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。血中アミノ酸濃度は、すべてのポイントにおいて卵胞期に比べて黄体期に低い傾向を示したが、各フェーズの運動刺激による反応に違いは見られず、卵胞期と黄体期で同様の変化を示した。Fischer 比は、運動開始から運動終了にかけて緩やかな低下傾向がみられたが、卵胞期と黄体期の値に有意な差は認められなかった (図 5-2)。

考察

本研究では、女性アスリートを対象として卵胞期および黄体期に持久性運動を実施し、運動中および回復期の血中アミノ酸動態を比較した。その結果、運動前、運動時および回復期において、主に糖原性アミノ酸の血中濃度が卵胞期比べて黄体期に有意に低い値を示した。しかし、グルコース、グルカゴンの濃度および呼吸交換比には月経周期による影響はみられなかった。

1. 月経周期が持久性運動時のエネルギー基質利用に与える影響

本研究において、糖原性アミノ酸に分類されるアラニン、スレオニン、グルタミン、プロリン、アルギニンの血中濃度が運動前、運動中および回復期に卵胞期に比べて黄体期に有意に低い値を示した($p < 0.05$)。糖原性アミノ酸は、脱アミノ化を受けた後に炭素骨格が糖新生に用いられるアミノ酸のことであり、クエン酸回路を経てグルコースの合成に利用される。このことから、黄体期における血中糖原性アミノ酸濃度の低下は、アミノ酸が糖新生によってグルコースに変換され、エネルギー供給に用いられていると考えられる。本研究では、実験前日の夕食は両フェーズとも規定食を摂取しており、被験者が摂取したカロリーやエネルギー比率は同じである。それにもかかわらず、各フェーズで同様の運動負荷をかけた場合に、エネルギー基質利用が異なる可能性が示された。

プロゲステロンには熱産生作用があることが知られており、黄体期には、卵胞期に比べて基礎体温の上昇や基礎代謝量の増加がみられることが報告されている(Solomon et al. 1982)。本研究においても、プロゲステロン濃度は卵胞期に比べて黄体期に有意に高い値を示した(図 2)。基礎代謝量の増加は、運動時の総エネルギー消費量の増加を引き起こし、それに伴いエネルギー需要量も高まると考えられる。正常な月経周期を有する女性を対象に、卵胞期と黄体期でエネルギー摂取量を比較すると、黄体期にエネルギー摂取量が高いことが多く報告されている(Dalvit 1981; Johnson et al. 1994; Tarasuk and Beaton 1991)。また、エネルギー摂取量の増加に伴い、黄体期には糖質摂取の割合が高まることも報告されている(Wurtman et al. 1989)。本研究では規定食によって食事内容をコントロールしたため、各フェーズにおけるエネルギー摂取量やエネルギー比率は同様であった。したがって、黄体期には基礎代謝量の上昇によって卵胞期よりもエネルギー消費量が高まり、アミノ酸が運動中のエネルギー供給に利用されたと考えられる。このようなエネルギー基質利用の変化は、持久性パフォーマンスに影響する一因となりうるため、黄体期にはエネルギー消費量増加に見合ったエネルギー摂取が必要であると考えられた。しかしながら、本研究では、糖新生の指標となる血中のグルコースやグルカゴン濃度および呼吸交換比に各フェーズによる差が認められなかったため、血中アミノ酸動態が変化したとしても糖新生に影響を及ぼすほどではないとも考えられた。

2. 月経周期が筋タンパク合成および分解に及ぼす影響

運動により体内でのタンパク質・アミノ酸の分解が亢進することは知られているが、特に骨格筋において分解するアミノ酸には、分岐鎖アミノ酸、アラニン、アスパラギン酸、グルタミン酸、アスパラギン、グルタミンが知られている。本研究では、アラニンは運動前から運動中(30分、45分、60分)、グルタミンは運動中(30分)に卵胞期に比べて黄体期に有意に低い値を示した。アラニンとグルタミンは、アミノ基が転移され、クエン酸回路の前駆体や中間体に変換されるので、骨格筋におけるアミノ基転移反応に重要な役割を果たしている。Kobayashi H et al.は、血中のアミノ酸濃度が低下した場合に、骨格筋タンパク質合成速度が低下することを報告している(Kobayashi et al. 2003)。さらにLamont et al.は、卵胞期と黄体期で運動前後の尿中窒素排泄量を比較した結果、運動後の尿中窒素排泄量が卵胞期に比べて黄体期に有意に増加したことを報告している(Lamont et al. 1987)。尿中窒素排泄量の増加は、筋タンパク分解が亢進したことを示しており、本研究において黄体期に血中アミノ酸濃度が低下したことは、運動によって誘発される筋タンパク分解が亢進している可能性が考えられた。また、このような運動によって誘発される筋タンパクの分解は、糖

質やアミノ酸を摂取することで抑制できることが多く報告されている(Biolo et al. 1997; Miller et al. 2003; Tipton and Wolfe 1998). 以上のことから、黄体期に糖質やアミノ酸を摂取することが筋タンパク分解を抑制するためにも望ましいと考えられた。

一方、尿素回路を構成するアミノ酸の一種であるシトルリンは、近年、骨格筋におけるタンパク合成を刺激することが報告されている(Le Plenier et al. 2012; Ventura et al. 2013). Le Plenier et al. は、空腹状態のラットにシトルリンを投与し、前脛骨筋におけるシグナル伝達系への影響を検討している。その結果、シトルリンを投与することによってmTORC1 pathway の活性化を示したことから、シトルリン摂取が筋タンパク合成を刺激すると報告している。さらに、ヒトを対象にシトルリンを経口摂取した場合にも同様の結果が報告されている(Ventura et al. 2013). 本研究において、シトルリンは運動前(0分)および運動終了60分後(120分)に黄体期で有意に低い値を示した。このような黄体期における血中シトルリン濃度の低下は、筋タンパク合成の抑制にも影響する可能性を示す。つまり、黄体期には筋タンパク分解が亢進され、さらに筋タンパク合成が抑制されていると考えられる。黄体期にはエストロゲンとプロゲステロンの両ホルモン濃度が増加するが、エストロゲンの持つ同化作用よりもプロゲステロンの異化作用に強く影響されることが考えられた。

3. 月経周期が持久性運動時の疲労に与える影響

月経周期を有する女性は、他のフェーズに比べて黄体期に疲労感や脱力感を感じる割合が高いことが質問紙を用いた調査によって報告されている(Sambanis et al. 2003). 持久性運動のような長時間運動時の疲労感、血中グルコース濃度の低下や脳内セロトニン濃度の上昇が要因として考えられている(Blomstrand 2006; Newsholme and Blomstrand 2006). 本研究では、脳内セロトニン濃度の指標としてFischer比を用いた。Fischer比は、分岐鎖アミノ酸(BCAA)と芳香族アミノ酸(AAA)の比率である。これは、脳内セロトニンは、AAAに分類されるトリプトファンが基質となって合成されることから、血中のBCAAとAAAの比率は、脳内セロトニン濃度を反映すると考えられている(Okamura et al. 1987). しかしながら、本研究ではFischer比はすべてのポイントにおいて卵胞期と黄体期に差は認められなかった。さらに、運動中の血中グルコース濃度にも各フェーズにおける差は認められなかった。

本研究では、質問紙による主観的な疲労は調査していないが、運動強度を心理的な尺度で示すRPEを測定した。しかしながら、運動中のRPEは卵胞期と黄体期で差は認められなかった。Hooper et al.は、非鍛錬者の女性を対象に、トレッドミルを用いた走行運動(VO_2max 65%強度, 30分間)を卵胞期前期(月経期)、卵胞期後期(排卵期)および黄体期に実施し、運動中のRPEを比較している(Hooper et al. 2011). その結果、卵胞期前期にRPEが増加し、そのことが月経痛と関連すると報告している。本研究で各フェーズによる差が出なかった要因として、対象者が持久系種目のアスリートであり、長時間の運動に対する耐性が高いこと、またアンケートによる調査において、月経痛を主訴とする者が少なかったことが考えられた。

Mizuno et al.は、精神的なタスクを課した場合に、血漿中のアミノ酸濃度(バリン、ロイシン、イソロイシン、リジン、メチオニン、チロシン、システイン、アルギニン)が低下したことから、これらのアミノ酸濃度の低下が精神的疲労と関連があると報告している(Mizuno et al. 2007). 本研究では、運動中に卵胞期に比べて黄体期にアルギニンが低い値を示したことから、黄体期に精神的な疲労が生じていた可能性が考えられた。

疲労感には様々な要因が関与しており、月経周期と疲労の関連性を言及することは極めて困難であるが、本研究において運動中の血中アミノ酸が黄体期に低い値を示したことから、黄体期に疲労感が増加する可能性が示唆された。今後は、主観的な指標と合わせて検討する必要があると考えられた。

結論

本研究では、女性アスリートを対象に持久性運動中の卵胞期および黄体期の血中アミノ酸動態の変化を観察した。その結果、持久性運動時および回復過程において卵胞期に比べて黄体期に糖原性アミノ酸の低下が観察された。血中アミノ酸濃度の低下は、エネルギー基質利用が変化することを示し、持久性パフォーマンス、トレーニング効果および疲労感に影響を与える可能性が考えられた。以上のことから、月経周期を考慮して食事管理を行う必要性が示唆された。

謝辞

本研究にご支援を賜りました一般財団法人上月財団に深く感謝申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり、測定にご協力くださいました日本体育大学の亀本佳世子さんならびに被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR (1997) An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol* 273: E122-129
- Blomstrand E (2006) A role for branched-chain amino acids in reducing central fatigue. *J Nutr* 136: 544S-547S
- Borg G (1990) Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health* 16 Suppl 1: 55-58
- Constantini NW, Dubnov G, Lebrun CM (2005) The menstrual cycle and sport performance. *Clin Sports Med* 24: e51-82, xiii-xiv
- D'Eon TM, Sharoff C, Chipkin SR, Grow D, Ruby BC, Braun B (2002) Regulation of exercise carbohydrate metabolism by estrogen and progesterone in women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283: E1046-1055
- Dalvit SP (1981) The effect of the menstrual cycle on patterns of food intake. *Am J Clin Nutr* 34: 1811-1815
- Devries MC, Hamadeh MJ, Graham TE, Tarnopolsky MA (2005) 17beta-estradiol supplementation decreases glucose rate of appearance and disappearance with no effect on glycogen utilization during moderate intensity exercise in men. *J Clin Endocrinol Metab* 90: 6218-6225
- Hackney AC, McCracken-Compton MA, Ainsworth B (1994) Substrate responses to submaximal exercise in the midfollicular and midluteal phases of the menstrual cycle. *Int J Sport Nutr* 4: 299-308
- Hamadeh MJ, Devries MC, Tarnopolsky MA (2005) Estrogen supplementation reduces whole body leucine and carbohydrate oxidation and increases lipid oxidation in men during endurance exercise. *J Clin Endocrinol Metab* 90: 3592-3599
- Hooper AE, Bryan AD, Eaton M (2011) Menstrual cycle effects on perceived exertion and pain during exercise among sedentary women. *J Womens Health (Larchmt)* 20: 439-446
- Janse de Jonge XA (2003) Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Med* 33: 833-851
- Johnson WG, Corrigan SA, Lemmon CR, Bergeron KB, Crusco AH (1994) Energy regulation over the menstrual cycle. *Physiol Behav* 56: 523-527
- Kobayashi H, Borsheim E, Anthony TG, Traber DL, Badalamenti J, Kimball SR, Jefferson LS, Wolfe RR (2003) Reduced amino acid availability inhibits muscle protein synthesis and decreases activity of initiation factor eIF2B. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 284: E488-498
- Lamont LS, Lemon PW, Bruot BC (1987) Menstrual cycle and exercise effects on protein catabolism. *Med Sci Sports Exerc* 19: 106-110
- Landau RL, Lugibihl K (1961) The catabolic and natriuretic effects of progesterone in man. *Recent Prog*

Horm Res 17: 249-292

Landau RL, Lugibihl K (1967) The effect of progesterone on the concentration of plasma amino acids in man. *Metabolism* 16: 1114-1122

Lavoie JM, Dionne N, Helie R, Brisson GR (1987) Menstrual cycle phase dissociation of blood glucose homeostasis during exercise. *J Appl Physiol* (1985) 62: 1084-1089

Le Plenier S, Walrand S, Noirt R, Cynober L, Moinard C (2012) Effects of leucine and citrulline versus non-essential amino acids on muscle protein synthesis in fasted rat: a common activation pathway? *Amino Acids* 43: 1171-1178

Meeusen R, Watson P (2007) Amino acids and the brain: do they play a role in "central fatigue"? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 17 Suppl: S37-46

Miller SL, Tipton KD, Chinkes DL, Wolf SE, Wolfe RR (2003) Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 35: 449-455

Mizuno K, Tanaka M, Nozaki S, Yamaguti K, Mizuma H, Sasabe T, Sugino T, Shirai T, Kataoka Y, Kajimoto Y, Kuratsune H, Kajimoto O, Watanabe Y (2007) Mental fatigue-induced decrease in levels of several plasma amino acids. *J Neural Transm* 114: 555-561

Newsholme EA, Blomstrand E (1996) The plasma level of some amino acids and physical and mental fatigue. *Experientia* 52: 413-415

Newsholme EA, Blomstrand E (2006) Branched-chain amino acids and central fatigue. *J Nutr* 136: 274S-276S

Nozaki S, Tanaka M, Mizuno K, Ataka S, Mizuma H, Tahara T, Sugino T, Shirai T, Eguchi A, Okuyama K, Yoshida K, Kajimoto Y, Kuratsune H, Kajimoto O, Watanabe Y (2009) Mental and physical fatigue-related biochemical alterations. *Nutrition* 25: 51-57

Okamura K, Matsubara F, Yoshioka Y, Kikuchi N, Kikuchi Y, Kohri H (1987) Exercise-induced changes in branched chain amino acid/aromatic amino acid ratio in the rat brain and plasma. *Jpn J Pharmacol* 45: 243-248

Ruby BC, Robergs RA, Waters DL, Burge M, Mermier C, Stolarczyk L (1997) Effects of estradiol on substrate turnover during exercise in amenorrheic females. *Med Sci Sports Exerc* 29: 1160-1169

Sambanis M, Kofotolis N, Kalogeropoulou E, Noussios G, Sambanis P, Kalogeropoulos J (2003) A study of the effects on the ovarian cycle of athletic training in different sports. *J Sports Med Phys Fitness* 43: 398-403

Solomon SJ, Kurzer MS, Calloway DH (1982) Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *Am J Clin Nutr* 36: 611-616

Sunaga M, Maruyama A (2013) Effects of habitual activity on the blood metabolites in eumenorrheic women -a metabolomics approach-. *Advances in Exercise and Sports Physiology* 19: 117

- Tarasuk V, Beaton GH (1991) Menstrual-cycle patterns in energy and macronutrient intake. *Am J Clin Nutr* 53: 442-447
- Tipton KD, Wolfe RR (1998) Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiol Scand* 162: 377-387
- Ventura G, Noirez P, Breuille D, Godin JP, Pinaud S, Cleroux M, Choisy C, Le Plenier S, Bastic V, Neveux N, Cynober L, Moinard C (2013) Effect of citrulline on muscle functions during moderate dietary restriction in healthy adult rats. *Amino Acids* 45: 1123-1131
- Wurtman JJ, Brzezinski A, Wurtman RJ, Laferrere B (1989) Effect of nutrient intake on premenstrual depression. *Am J Obstet Gynecol* 161: 1228-1234

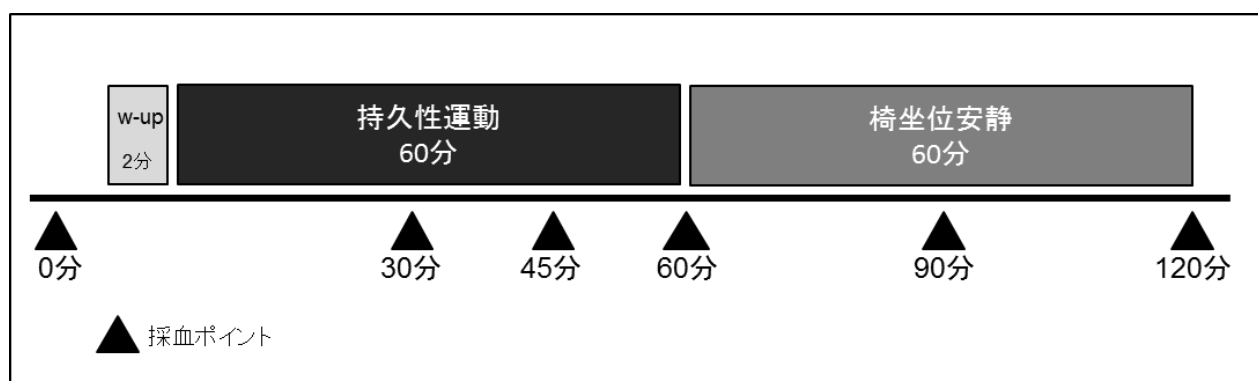


図1 プロトコル

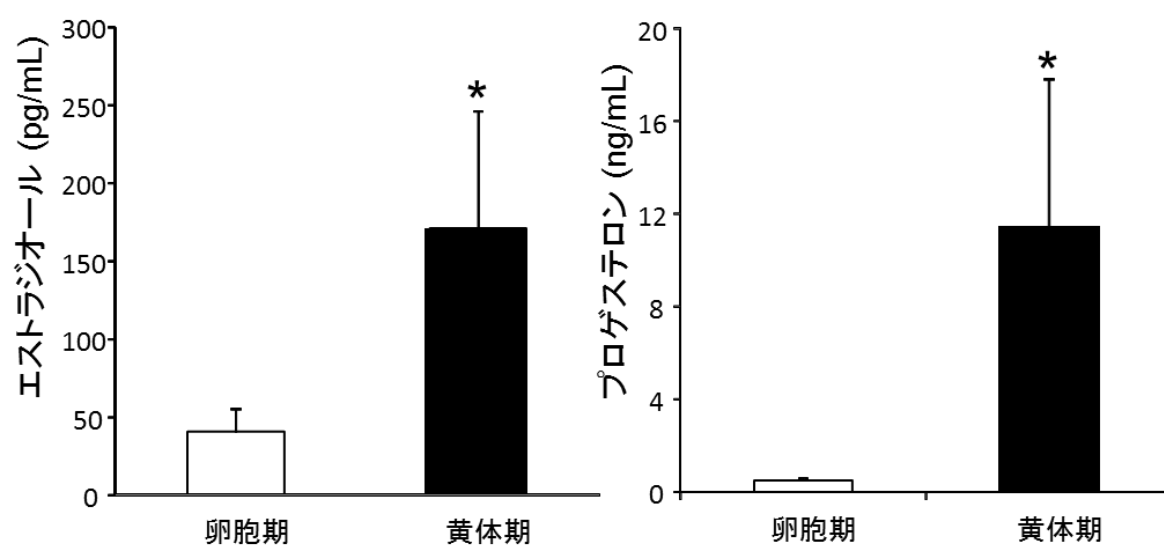


図2 卵胞期と黄体期のエストラジオールおよびプロゲステロン濃度の変化

* $p < 0.05$, vs. 卵胞期

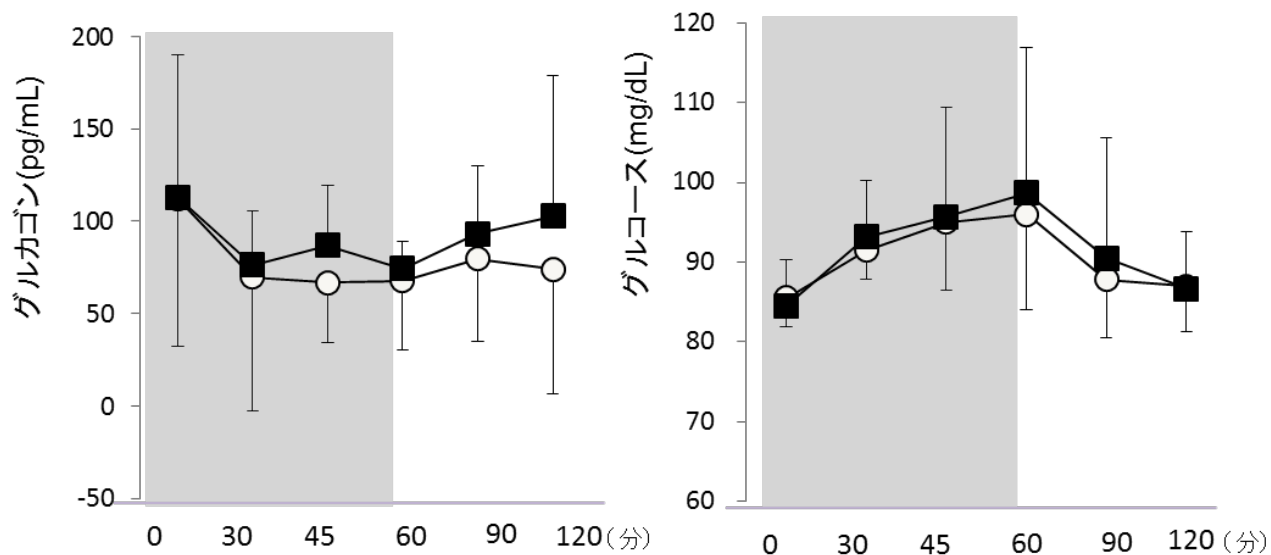


図3 卵胞期と黄体期のグルカゴンおよびグルコース濃度の変化

○ 卵胞期 ■ 黄体期 ■ 運動中

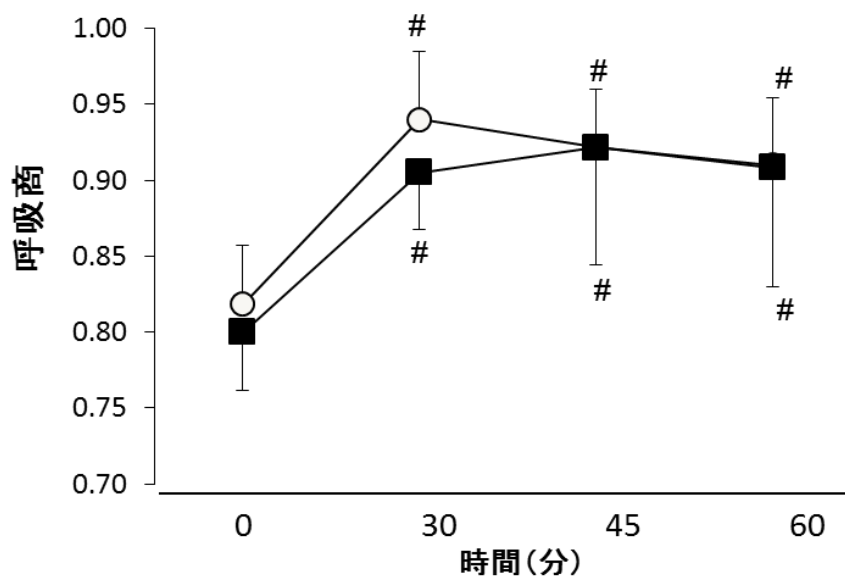


図4 運動中の呼吸商の変化

○ 卵胞期 ■ 黄体期 # p < 0.05, vs 0分

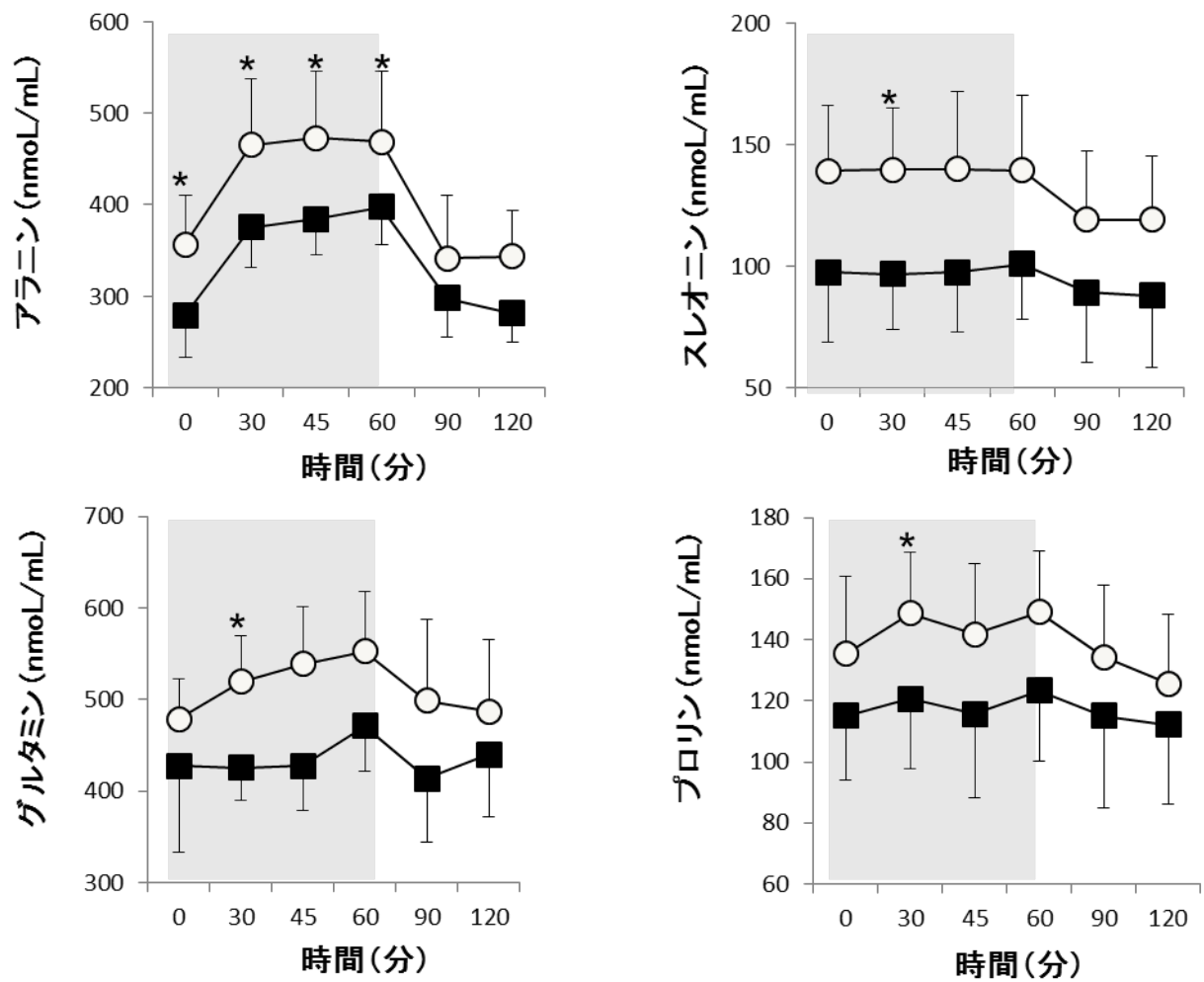


図5-1 卵胞期と黄体期の血中アミノ酸濃度の変化

—○— 卵胞期 —■— 黄体期 ■ 運動中 * , $p < 0.05$, vs 黄体期

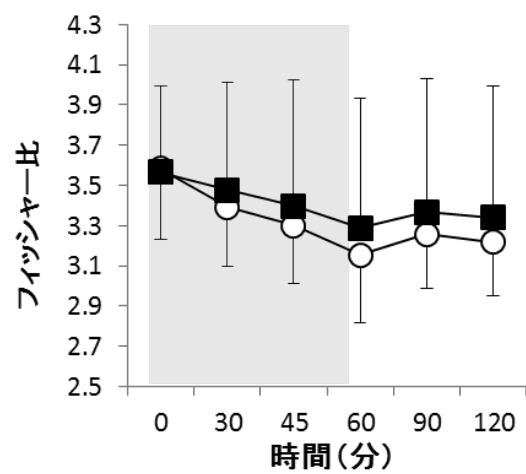
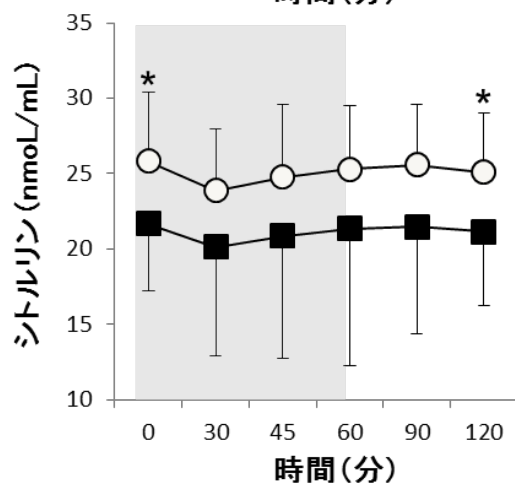
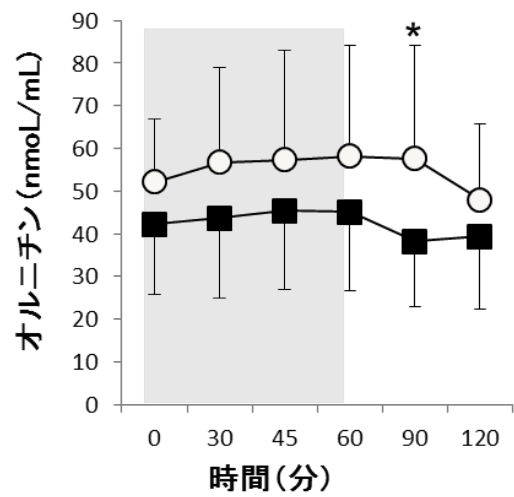
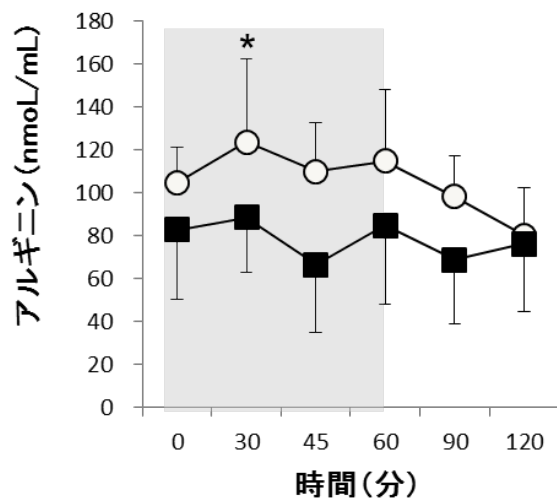


図5-2 卵胞期と黄体期の血中アミノ酸濃度の変化

○ 卵胞期 ■ 黄体期 ■ 運動中 *, $p < 0.05$, vs 黄体期

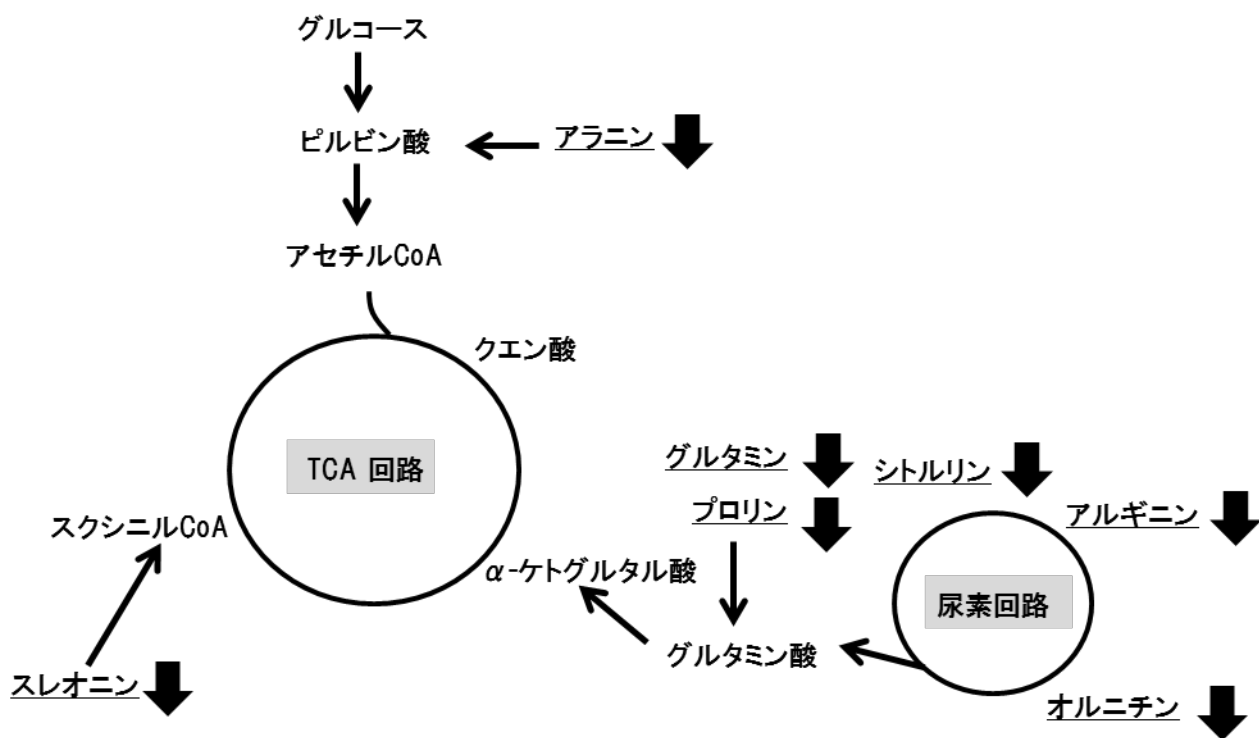


図6 黄体期における血中アミノ酸濃度の変化