

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500661

研究課題名（和文） 運動回復期中枢性疲労回復に対する摂取たんぱく質の影響

研究課題名（英文） Effect of dietary protein intakes on recovery from the central fatigue postexercise

研究代表者

川野 因（KAWANO YUKARI）

東京農業大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：80277681

研究成果の概要（和文）：

運動前（最大酸素摂取量 70%強度、一過性自転車 30 分間）に摂取するたんぱく質量の違いと心拍数変動、パワースペクトル解析で得られる自律神経活動指標、血中乳酸、主観的疲労感、血中遊離トリプトファンと分岐鎖アミノ酸の濃度（Trp/BCA）比との関わりを検討した。いずれの指標も運動開始とともに変動するが、たんぱく質摂取量の違いはこれら指標に異なる動きを誘発し、中枢性疲労指標の Trp/BCAA 比は自覚的疲労感や乳酸の動きと一致しなかった。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study was to evaluate the effect of pre-exercise protein intakes 30min before the exercise on various indexes of fatigue in the recovery of a single bout of cycle ergometer exercise (70% VO<sub>2</sub>peak, 30 min), such as a heart rate (HR) and R-R intervals, autonomic activity, blood lactate concentrations, ratio of tryptophan to branched chain amino acids (Trp/BCAA), and subjective fatigue. In addition, here we tested a hypothesis that central fatigue would be increased after strenuous exercise, and correlated with increased ratio of Trp/BCAA.

As a result, the HR increased, R-R intervals significantly decreased during the exercise, and then those values returned to be pre-exercised levels in the recovery period. It was not clear in our present study how dietary protein intakes affect the post-exercised variables of HR and autonomic activity. Further studies are needed to clarify the effect of different levels of dietary protein on the HR variables.

Levels of blood lactate and subjective fatigue increased significantly just after the exercise regardless of protein intakes levels. Both levels of lactate and fatigue decreased significantly at 30min after the exercise. These observations suggested that both peripheral and central fatigue increased by the exercise and changes were transient. On the other hand, the ratio of Trp/BCAA was unchanged in lower protein intake group during this experimental period (7% of protein energy ratio). On the other hand, the ratio of Trp/BCAA in a higher protein intake group (54% of protein energy ratio) significantly decreased just after the exercise and remained a low level until 60 min after the exercise.

These observations suggested that changes in the subjective fatigue did not necessarily correspond with the changes in the serum Trp/BCAA levels, and it seems difficult to account for the central fatigue theory by the changes in serum Trp/BCAA levels.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康スポーツ科学 ・ 応用健康科学

キーワード：栄養指導、スポーツ栄養学、たんぱく質、運動、疲労、心拍数、心拍変動

### 1. 研究開始当初の背景

近年、持久的活動中には血糖値や肝グリコーゲン量が低下する一方、血中アミノ酸濃度の変動を伴う脳内セロトニン（5-HT）濃度の上昇を原因とする中枢性疲労仮説が提唱された。しかし、ヒトを対象に脳内セロトニン濃度を直接的に検証することは困難である。それゆえ、これまでは主にフリッカー試験などを用いて心理的疲労感を評価してきたものの、中枢性疲労指標としての妥当性と有用性については必ずしも十分に明らかとなっていない。つまり、これまで運動後の中枢性疲労尺度を生理的評価指標として客観的、かつ、非侵襲的に検証した研究は必ずしも多くない。

また、近年では食事性アミノ酸サプリメント摂取が疲労回復に有効とする数多くの報告があるにもかかわらず、食事性たんぱく質摂取が運動後の疲労回復にどのような影響を及ぼすかといった観点からの報告は必ずしも十分ではない。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、1970年代より用いられるようになった心拍変動パワースペクトル法で評価される自律神経活動指標が身体活動によって惹起される中枢性疲労に対し客観的な量的指標として有効である可能性を検証するとともに、食事としてのたんぱく質摂取量の違いが心拍変動パワースペクトル法を用いた自律神経活動や血中遊離アミノ酸濃度、特にトリプトファン（Trp）と分岐鎖アミノ酸（BCAA）濃度比（以下、Trp/BCAA比率）、血中乳酸濃度、主観的疲労感の各指標にどのような影響を及ぼすのか、また、中枢性疲労仮説が成立する可能性についても検討する事とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 心拍変動パワースペクトル解析

自律神経活動の測定には心拍数（Heart rate, HR）から得られた心電図をフーリエ変換によるスペクトル解析ソフトを用いて周波数と各周波数に含まれる大きさ（スペクトル密度）を分離・定量化した。得られたスペクトル密度は先行研究に基づき、0.04-0.15 Hzは低周波数帯域成分（Low-frequency, LF）、0.15-0.40 Hzは高周波数帯域成分（High-frequency, HF）とした。さらに、0.00Hz-0.50Hzは総自律神経活動（Total-power, TP）として積分値を求めた。自律神経活動指標と

してはこれら成分を用いて交感神経活動指標（LF/HF）および迷走神経活動指標（%HF）を算出した。

#### (2) 不活動時の摂取たんぱく質と疲労指標

日常的に不活動な男子大学生10名を対象にエネルギー摂取量が等価（200kcal）の軽食としての高たんぱく質食（HP群、たんぱく質エネルギー比率（P%）で50%）または低たんぱく質食（LP、P%で10%）を摂取させ、疲労指標を検証した。実験は食事摂取条件の違いによる無作為化交互比較試験とし、ウォッシュアウト期間は1週間とした。疲労尺度は食事性たんぱく質を摂取する前に第1回目（摂取前）を評価し、その後、45分後、90分後、120分後、150分後までの合計5回にわたって評価した。心拍数はたんぱく質摂取前から150分後までを連続的に記録するとともに、それぞれの評価時間帯に採血を行い、末梢性疲労尺度は血糖値や血中乳酸濃度、血中遊離アミノ酸濃度、コルチゾール濃度を、また、中枢性疲労尺度はTrp/BCAA比率、視覚認知課題に対する反応時間、課題への正答数および主観的疲労感を用いて評価した。

#### (3) 食事たんぱく質の摂取割合の違いが一過性自転車運動回復期の疲労指標への影響

日頃から不活動な大学男子学生10名を対象にエネルギー摂取量が等価（200kcal）の軽食として高たんぱく質食（HP、P%で54%）または低たんぱく質食（LP、P%で7%）を摂取させ、準備体操を含めたウォーミングアップを15分間行った。その後、最大酸素摂取量の70%強度で30分間に自転車運動を負荷した。

測定項目は心拍変動や自覚的疲労感、血中成分である乳酸やTrp/BCAA比率とし、食事性たんぱく質を摂取する前（摂取前）、運動負荷直後、30分、60分、90分後の各時間帯に評価した。心拍数は朝食摂取前から運動終了150分後までを連続的に記録した。

なお、実験は食事摂取条件の違いによる無作為化交互比較試験とし、ウォッシュアウト期間は1週間とした。実験にあたり前日の夕飯（800kcal）および実験当日の朝食（500kcal）を提供し、食事の影響を調整した。

#### (4) 統計解析

解析はいずれもSPSS（ver.20）を用いて繰り返しのある二元配置分散分析を実施し、有意水準は5%とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 心拍変動パワースペクトル解析

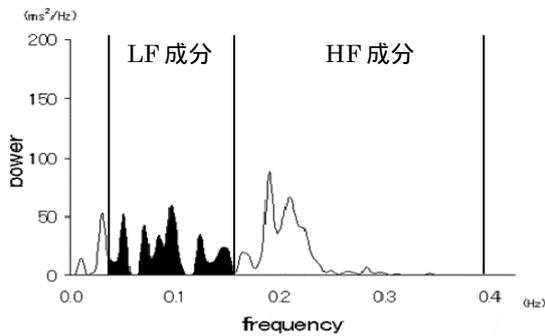


図1 LF成分およびHR成分

心拍パワースペクトル法により得られたスペクトル密度からLF成分およびHF成分を抽出し、LF/HF比率は交感神経活動、%HF値は迷走神経活動と定義した(図1)。

##### (2) 不活動時の摂取たんぱく質と疲労指標

軽食摂取前の血糖値はHP群、LP群それぞれに  $78 \pm 3$  (mg/dL)、 $77 \pm 4$  (mg/dL) であり、血中コルチゾール濃度はHP群、LP群でそれぞれ  $13.8 \pm 1.0$  ( $\mu\text{g/dL}$ )、 $11.1 \pm 1.2$  ( $\mu\text{g/dL}$ ) であった。これら血中濃度は2群間に有意な差は見られなかった。また、軽食摂取後の血糖値および血中コルチゾール濃度は調べた150分後まで有意な交互作用、時間および群の有意な主効果は見られなかった。

この時、一般的に運動後の疲労指標とされている血中乳酸濃度には時間に有意な主効果が見られ、HP群、LP群ともに軽食摂取後に漸減した(図2)。HP群の血中遊離アミノ酸はその多くがLP群に比べて摂取時間経過とともに上昇し、特に食事摂取前に比べて摂取90分後から150分後にかけて摂取前値に比べ

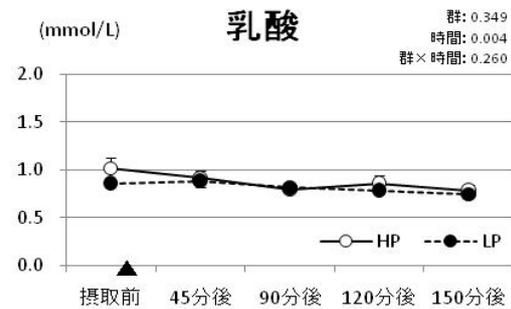


図2 血中乳酸濃度の変動

て有意に増加した。そのため、中枢性疲労仮説の指標とされるTrp/BCAA比率はHP群で摂取前値に比べて摂取90分後から150分後まで有意に低下したのに対し、LP群では摂取前から150分後までがほぼ同値で推移した。そのため、軽食摂取90分後から150分後のTrp/BCAA比率はHP群がLP群に比べて有意な低値を示した。

一方、心拍数は時間の主効果が有意に見られ、食事摂取後の時間経過とともに増加した。しかし、主観的疲労感は時間および群の交互作用、また、主効果は見られなかった。

以上の結果から、運動を負荷しない条件下でのたんぱく質摂取は血中のTrp/BCAA比率を有意に低下させるものの、心拍数や血中乳酸濃度、コルチゾール濃度、主観的疲労感とは対応が異なることが明らかになった。

##### (3) 食事たんぱく質の摂取割合の違いが一過性自転車運動回復期の疲労指標への影響

ウォーミングアップを15分間実施し、最大酸素摂取量の70%強度で30分間、一過性に自転車を駆動した。心拍数(HR)を軽食摂取前から運動終了130分まで継続的に追跡した結果、HRはウォーミングアップを含めた運動開始とともに増加し、30分間の運動期間中はほぼ一定の160拍を維持した。HP群とLP群のHR数は運動負荷とともに激増し、運動回復とともに20分後には回復が見られた(図3)。このとき、心拍R-R間隔は運動開始とともに低下し、運動回復とともに増大した。この結果からHR変動指標が運動負荷とよく対応することが明らかになった。HP群で回復が早い可能性が示唆された。

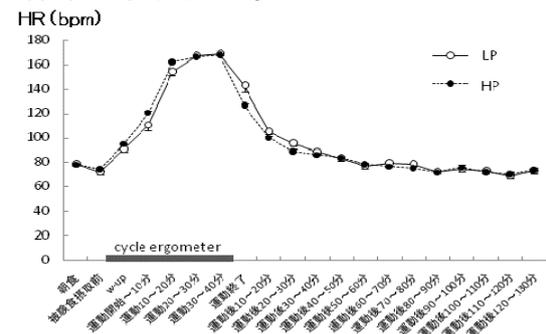


図3 一過性自転車運動と心拍数変動

また、軽食摂取前(運動前)、運動終了直後、30分、60分後で評価した血中乳酸濃度や主観的疲労感には有意な交互作用が見られず(図4)、HP群、LP群とも運動直後値が

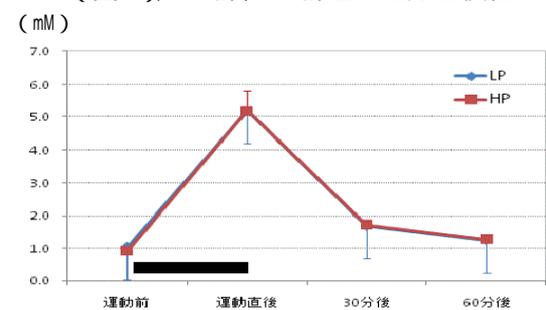


図4 一過性自転車運動と血中乳酸濃度

最も高値を示し、30分後には運動開始前値に低下していた。このとき、HP群の血中

Trp/BCAA 比率は運動前値に比べ運動直後値が有意に低下し、運動回復期も低値は維持された。一方、LP 群の Trp/BCAA 比率は運動負荷による変動が見られず、HP 群との間に有意な差を認められた。

#### (4) 結論

HR 数や血中乳酸濃度、主観的疲労感は運動前値に比べて運動後にそれぞれ有意に上昇したが、中枢性疲労尺度の指標とされる血中 Trp/BCAA 比率は運動前に摂取する食事組成によって異なり、高たんぱく質摂取時には運動直後に有意に低下し、低たんぱく質摂取時には運動回復期を通して低下しないことが明らかになった。このことは非運動下でも確認されたことから、高たんぱく質摂取が食後のある一定時間内で血中 Trp/BCAA 濃度に影響を及ぼすことが明らかになった。その一方で、血中乳酸や主観的疲労感と血中 Trp/BCAA 濃度の変化は必ずしも対応しなかったことから、Trp/BCAA 比の変動だけでは中枢性疲労仮説を説明できない可能性が示唆された。

中枢性疲労については心拍数変動による迷走神経活動などで評価できる可能性があるものの、運動負荷時には HR 数が増加し、RR 間隔は短くなり、HF 成分、LF 成分の精度管理が課題であり、心拍変動指標の解析スキルを高める必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### 〔雑誌論文〕(計 5 件)

Kamioka H, et.al. (Y Kawano, 6 番目)  
Significance of checklists for improving the quality of studies of health enhancement interventions: Evidence grading and various study designs of epidemiological and clinical studies. IJSSPE 2, 1-6 (2011)。

吉崎貴大ほか 9 名(川野因, 10 番目)、交代制勤務に従事する女性看護師及び介護士における食習慣及び生活時間と BMI の関連、日本栄養・食糧学会誌 63, 161-167 (2010)。

K.Mori et.al. (Y Kawano, 10 番目)  
Relationship of dietary intake and life style factors to health-related quality of life in the ecommunity-dwelling elderly. J Nutr Sci Vitaminol, 56, 364-371(2010)。

小久保友貴ほか 5 名 (川野因, 6 番目)、大学女子新体操選手の体内鉄栄養状態とたんぱく質摂取状況、体力科学 59、475-484 (2010)。

川野 因、スポーツ選手の食生活・実態把握のために、日本食品機械研究会誌 30、11-19 (2010)

##### 〔学会発表〕(計 21 件)

川野因ほか 10 名、運動前に摂取する食事内容の違いが運動回復期の疲労指標に与える影響、日本栄養・食糧学会大会 (平成 23 年 4 月 14 日、東京)。

横山友里ほか 8 名 (川野因, 9 番目)、オフ期の栄養教育が試合期の女子新体操選手の体内鉄栄養状態に及ぼす影響、日本栄養・食糧学会大会 (平成 23 年 4 月 15 日、東京)。

小久保友貴ほか 9 名 (川野因, 10 番目)、年間にわたるトレーニング期に対応した体内鉄栄養状態と栄養素等摂取量の変化、日本栄養・食糧学会 (平成 22 年 5 月 22 日、徳島)。

吉崎貴大ほか 8 名 (川野因, 9 番目)、摂取たんぱく質の質の違いが運動回復期の心拍変動の及ぼす影響、日本栄養・食糧学会 (平成 22 年 5 月 23 日、徳島)。

長谷川祐子ほか 11 名 (川野因, 12 番目)、運動前の摂取たんぱく質の違いが回復期の尿中 3-メチルヒスチジン排泄に及ぼす影響、日本栄養・食糧学会 (平成 22 年 5 月 23 日、徳島)。

川野因ほか 7 名 (計 8 名)、新体操選手のスポーツ貧血発現予防を目的とした肉料理教室の有効性、日本栄養改善学会 (平成 21 年 9 月 4 日、札幌)。

長谷川裕子ほか 11 名 (川野因, 12 番目)、摂取たんぱく質の質の違いが運動回復期の尿中 3-メチルヒスチジン排泄量に及ぼす影響、日本栄養・食糧学会 (平成 21 年 5 月 22 日、長崎)。

小久保友貴ほか 11 名 (川野因, 12 番目)、大学女子新体操 1 年次生の年間トレーニング計画に伴う食生活と体内鉄栄養状態の変動、日本栄養・食糧学会 (平成 21 年 5 月 22 日、長崎)。

川野因、シンポジスト：食とスポーツ - 生涯にわたる健康の獲得と食育 -、日本生活学会 (平成 21 年 5 月 10 日、東京)。

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

川野 因 (KAWANO YUKARI )  
東京農業大学・応用生物科学部・教授  
研究者番号：80277681

### (2)研究分担者

なし ( )  
研究者番号：

### (3)連携研究者

日田 安寿美 (HIDA AZUMI )  
東京農業大学・応用生物科学部・講師  
研究者番号：80389824

多田 由紀 (TADA YUKI )  
東京農業大学・応用生物科学部・助教  
研究者番号：80503432