

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19481

研究課題名（和文）運動によるタンパク質消化吸収系機構の変化とそのメカニズムの解明

研究課題名（英文）Effects of exercise on protein digestion and absorption

研究代表者

松永 裕（Matsunaga, Yutaka）

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：10850133

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：内臓疲労という言葉があるように、運動後においては栄養素の消化吸収機能が抑制されると考えられているが、運動がタンパク質の消化吸収に与える影響については、これまで詳細が明らかではなかった。本研究の結果、安静時摂取と比較して、高強度運動後のタンパク質摂取は、胃からの排出を速め、タンパク質（アミノ酸）の吸収スピードを高めることが明らかとなった。しかし、消化吸収速度が増加する一方で、吸収しきれない回腸末端の残存量も増加し、吸収効率を低下させる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

栄養素の摂取は、運動・トレーニングの効果に影響を与える要因の一つとなる。本研究では、高強度運動に伴い、タンパク質摂取時の消化吸収速度が増加する一方で、吸収効率が低下する可能性が示唆された。今後、運動に伴いタンパク質の吸収効率が低下する機序の解明や、その予防法を検討することで、運動実施者に対する適切な栄養摂取方法を示す一助になることが期待される。

研究成果の概要（英文）：It is well known that digestion and absorption of nutrients are suppressed after exercise. However, the details of how exercise affects protein digestion and absorption have been unclear. The results of this study reveal that protein ingestion after high-intensity exercise, compared to ingestion at rest, accelerates gastric emptying and increases the absorption speed of protein. However, while the rate of digestion and absorption increased, the amount of unabsorbed residue of ileal terminal also increased, suggesting a potential decrease in absorption efficiency.

研究分野：スポーツ栄養学

キーワード：運動 消化吸収 タンパク質

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

栄養素の摂取は、運動・トレーニングの効果に影響を与える要因の一つとなる。例として、タンパク質・アミノ酸の摂取によって、レジスタンス運動後の骨格筋タンパク質合成を高めることがよく知られており、骨格筋の量・機能を高める上で効果的な栄養素であると考えられている。

摂取したタンパク質は、胃や膵臓などの消化器から分泌される酵素によって細かく分解され、小腸において単体のアミノ酸およびペプチド (アミノ酸が 2・3 個結合したもの) の状態で吸収される。吸収された栄養素は門脈と呼ばれる血管を通り肝臓に運ばれ、心臓を経由し全身へと供給される。そのため、摂取した栄養素をより効率的・効果的に末梢へ供給するためには、その第一段階である消化吸収を行う器官の果たす役割が大きいと言える。

内臓疲労という言葉があるように、運動後においては栄養素の消化機能が抑制されることが予想される。骨格筋量・機能を向上させ、高いパフォーマンスの発揮が求められるアスリートにおいて、栄養素の供給が減少することは大きなデメリットとなり、その対策が急務となる。しかしながら、運動が消化機能を低下させる機序は明らかではない。また運動に伴う消化能力の低下は、その後の吸収に対しても影響を与える可能性が考えられる。しかしながら、運動が栄養素の吸収に与える影響、特に消化吸収に時間のかかるタンパク質に対する影響については、詳細が明らかではない。

### 2. 研究の目的

本研究は、運動がタンパク質の消化吸収機能に与える影響を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 【実験 1】運動後のタンパク質摂取が各種アミノ酸濃度に与える影響

雄性の SD ラットを体重が均等になるように安静(Con)群、運動(Ex)群の 2 群に分けた。20 時間の絶食後に Ex 群にはトレッドミルを用いて高強度インターバル運動(1 分の運動と休憩を 10 セット。速度は 32-40 m/min で 10%の傾斜条件)を行わせ、その後ホエイタンパク質(1 g/kg 体重)を経口投与にて与えた。Con 群は安静条件にて、Ex 群と同様の投与を行なった。投与から 15 分のタイミングで門脈からの採血と、胃、小腸を採取し、分析に用いた。

#### 【実験 2】運動後のタンパク質摂取が分岐鎖アミノ酸(BCAA)濃度の経時変化に与える影響

雄性の ICR マウスを体重が均等になるように Con 群、Ex 群の 2 群に分けた。16 時間の絶食後に、Ex 群は高強度インターバル運動(1 分の運動と休憩を 10 セット。速度は 32-40 m/min で 15%の傾斜条件)を行わせ、ホエイタンパク質(3 mg/g 体重)を経口投与にて与えた。Con 群は安静条件にて、Ex 群と同様の投与を行なった。投与前、投与後 10, 30, 60 分の各タイミングにおいて、尾部および門脈からの採血と、胃、小腸を採取し、分析に用いた。

### 4. 研究成果

#### 【実験 1】運動後のタンパク質摂取が各種アミノ酸濃度に与える影響

投与から 15 分のタイミングにおける胃内容物重量は、Con 群と比較して Ex 群で低値を示す傾向にあった ( $p=0.067$ )。摂取したタンパク質は主に空腸で吸収され、門脈を経て肝臓に送られる一方、吸収しきれなかった残存物は回腸末端に送られ、その後大腸を経て排出される。回腸末端の残存物重量は、Ex 群で高値を示す傾向にあった ( $p=0.056$ )。

門脈血中アミノ酸濃度について、アルギニンおよびグリシンは Con 群と比較して、Ex 群で高値を示す傾向にあった。また、チロシン、システイン、アラニン、セリン、アスパラギン、アスパラギン酸、グルタミン、グルタミン酸、トレオニン、メチオニン、フェニルアラニン、ヒスチジン、リシン、バリン、イソロイシン、ロイシンの各アミノ酸濃度は、Con 群と比較して Ex 群で優位に高値を示した(検出できなかったプロリン、トリプトファンを除く) (図 1,  $p<0.05-0.01$ )。

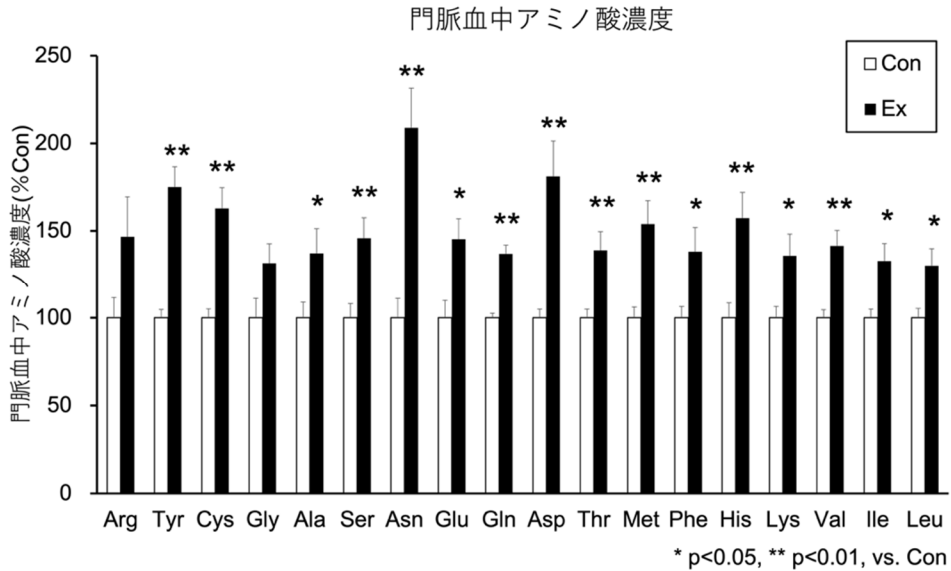


図 1. タンパク質投与後の門脈血中アミノ酸濃度

【実験 2】運動後のタンパク質摂取が BCAA 濃度の経時変化に与える影響

安静時摂取と比較して、高強度運動後にタンパク質を摂取することで、多くのアミノ酸において門脈血中の濃度が高値を示した。しかし、実験 1 では一地点での分析しか行なっておらず、運動によってタンパク質の消化吸収速度が増加したか、もしくは安静条件では消化吸収のピークが過ぎていた可能性が考えられる。そこで実験 2 では、経時的に採血および組織の摘出を行い、運動後のタンパク質消化吸収におけるタイムコースを明らかにすることを目的として検討を行なった。

運動と時間の二要因について分散分析を行なったところ、胃内容物重量は運動の主効果が見られ、Con 群と比較して Ex 群で有意に低値を示した ( $p<0.01$ )。一方で、空腸内容物重量は Con 群と比較して Ex 群で有意に高値を示した ( $p<0.05$ )。門脈血中の BCAA 濃度は Con 群と比較して Ex 群で高値を示す傾向にあった ( $p=0.056$ )。また尾部採血により得られた末梢血中の BCAA 濃度も、Con 群と比較して Ex 群で有意に高値を示した ( $p<0.01$ )。これらの結果は、高強度運動を行うことにより、たんぱく質の消化吸収速度が増加する可能性を示唆するものである。さらに、運動自体によって骨格筋が分解され、血液中のアミノ酸濃度が上昇した可能性を排除するため、タンパク質投与前の値からの変化量を評価した。その結果、末梢血中 BCAA 濃度の変化量は、Con 群と比較して Ex 群で高値を示す傾向にあった (図 2,  $p=0.074$ )。一方で、回腸末端内容物重量の変化量 (吸収不可であった量の指標) が Con 群と比較して Ex 群で有意に高値を示した ( $p<0.01$ )。

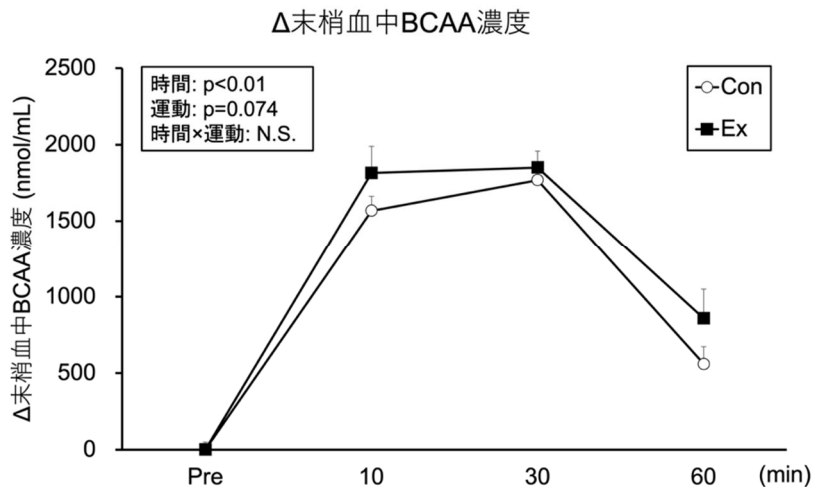


図 2. タンパク質投与後の末梢血中 BCAA 濃度の変化量

以上の結果から、安静時摂取と比較して、高強度運動後のタンパク質摂取は、胃からの排出を速め、タンパク質(アミノ酸)の吸収スピードを高めることが明らかとなった。しかし、消化吸收速度が増加する一方で、吸収しきれない回腸末端の残存量も増加し、吸収効率を低下させる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsunaga Yutaka, Takahashi Kenya, Takahashi Yumiko, Hatta Hideo	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of glucose ingestion at different frequencies on glycogen recovery in mice during the early hours post exercise	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the International Society of Sports Nutrition	6. 最初と最後の頁 69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12970-021-00467-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Matsunaga Yutaka, Koyama Sho, Takahashi Kenya, Takahashi Yumiko, Shinya Terunaga, Yoshida Hiroki, Hatta Hideo	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of post exercise glucose ingestion at different solution temperatures on glycogen repletion in mice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 e15041
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14814/phy2.15041	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Matsunaga Yutaka, Tamura Yuki, Takahashi Kenya, Kitaoka Yu, Takahashi Yumiko, Hoshino Daisuke, Kadoguchi Tomoyasu, Hatta Hideo	4. 巻 36
2. 論文標題 Branched chain amino acid supplementation suppresses the detraining induced reduction of mitochondrial content in mouse skeletal muscle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The FASEB Journal	6. 最初と最後の頁 e22628
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1096/fj.202200588R	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松永 裕、高橋 謙也、高橋 祐美子、八田 秀雄
2. 発表標題 糖質摂取頻度の違いが運動後のグリコーゲン回復に与える影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松永 裕
2. 発表標題 トレーニング休止に伴う骨格筋の変化とBCAA摂取の影響
3. 学会等名 ifia/HFE JAPAN 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松永裕、高橋謙也、竹村藍、王文昕、八田秀雄
2. 発表標題 身体不活動下におけるBCAA摂取が骨格筋量およびミトコンドリア量に与える影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松永裕、田村優樹、高橋謙也、北岡祐、高橋祐美子、星野太佑、八田秀雄
2. 発表標題 トレーニング休止期間中のBCAA摂取が骨格筋ミトコンドリアおよびエネルギー基質利用に与える影響
3. 学会等名 日本スポーツ栄養学会第8回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------