

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04013

研究課題名(和文) 除脂肪量増加に有効な食事処方に関する基礎的研究

研究課題名(英文) The basic study on nutrition prescription for increasing lean body mass

研究代表者

川中 健太郎 (Kawanaka, Kentaro)

福岡大学・スポーツ科学部・教授

研究者番号：80339960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：食事からの十分なタンパク質摂取が筋量増加に必要である。一方、エネルギー付加が筋量増加に有効であるかは不明確である。本研究では、健康成人男性を用いた6週間の介入実験を実施することで、十分なタンパク質に加えて、必要量以上のエネルギーを糖質によって付加することでヒトの体タンパク質量の増加を促進できることが明らかになった。また、実験動物ラットの摘出筋(Epitrochlearis筋)を用いて、グルコース(糖質)がロイシン(アミノ酸)と同様に筋タンパク質合成を促進する可能性が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昔から相撲力士は、「肉や魚などのタンパク質食品とともに、ご飯をたくさん食べてエネルギー摂取量を増やす処方」を実践して筋量を増やしてきた。本研究によって、スポーツ現場で経験的に行われてきた「糖質エネルギーを付加する増量処方」の有効性を示す知見が初めて得られた。本研究で得られる知見は、スポーツ選手を対象とした増量処方の確立に繋がる。また、そのメカニズムを詳細に探究することで、高齢者のサルコペニア予防のための食事処方にも応用可能である。

研究成果の概要(英文)： Since one of the main anabolic stimuli for skeletal muscle is protein intake, dietary strategies such as amount, quality, and timing of protein supplementation for optimizing skeletal muscle mass are being advocated. Although dietary energy intake also possibly affects skeletal muscle anabolic response, there are many knowledge gaps concerning the strategies of energy surplus, i.e. intentionally overeating more calories than required to maintain body weight.

We conducted randomized clinical trial and showed that, among young healthy men fed high protein exceeding requirement, energy surplus due to excess carbohydrate intake help facilitate the gain of total body protein mass. Our animal study also showed that glucose, like leucine, promotes muscle protein synthesis rate in isolated rat epitrochlearis muscle.

Our results suggest that carbohydrate surplus promotes the gain of skeletal muscle mass through promotion of muscle protein synthesis.

研究分野：運動栄養学

キーワード：エネルギー付加 糖質付加 タンパク質付加 体タンパク質 除脂肪 筋量 筋タンパク質合成

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

食事からの十分なタンパク質摂取が筋量増加に必要である。さらに、オーストラリア国立スポーツ研究所の食事ガイドラインによると、アスリートの増量処方として、十分なタンパク質を摂取するとともにエネルギー収支をプラス 500~1000kcal/日にすることが推奨されている。この増量処方は日本国内でも広く受け入れられおり、スポーツ栄養学のテキストにも引用されている(田口素子・樋口満 2014)。確かに筋タンパク質合成には多くのエネルギーを必要とし、1g の筋タンパク質を増やすのに約 7kcal を消費するといわれている(Joosen and Westterterp 2006)。しかし、仮に、筋量を1日に100g増やすとしても(筋組織の約20%がタンパク質であるので、1日に20gの筋タンパク質を増やすのに相当)、それに必要なエネルギー消費量は140kcal/日と試算できる。したがって、500~1000kcal/日というような大量のエネルギー付加が必要とは考えにくい。エネルギーを付加しても体脂肪が増加するだけで、筋量増加には効果がないとの考えもある。

### 2. 研究の目的

「エネルギーを付加する食事処方」は筋量の指標となる除脂肪量の増加に有効であるか検証する。また、実験動物を用いて、エネルギーが筋タンパク質合成を促進する可能性について検証する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究 1: ヒト介入試験(ランダム化平行群間比較試験)

健康成人男性 23 名を以下の 2 条件(P 群と PE 群)に割り振って、6 週間にわたり介入を行った(平行群間比較試験)。介入開始から 2 週間毎に水中体重法・重水希釈法・DXA 法を組み合わせ、体脂肪量、体水分量、固型除脂肪量(除脂肪量から体水分量を差し引いた量)、体タンパク質量(固型除脂肪量から骨ミネラル量を差し引いた値)を評価した。

条件①(P 群) :

エネルギー必要量を満たした食事に加え、エネルギー必要量×0.1(kcal)のタンパク質

条件②(PE 群) :

エネルギー必要量を満たした食事に加え、エネルギー必要量×0.1(kcal)のタンパク質、  
ならびに、エネルギー必要量×0.3(kcal)の糖質

#### (2) 研究 2: 動物実験

4 週齢の Wistar 系雄性ラットから摘出した epitrochlearis 筋をコントロール緩衝液(KHB 中に 5mM グルコースを含む)、ロイシン緩衝液(5mM グルコースと 2mM ロイシンを含む)、あるいはグルコース緩衝液(40mM グルコースを含む)中にてインキュベーションした。10 分間のインキュベーション後、SUnSET 法によるタンパク質合成速度測定のために 1 $\mu$ M ピューロマイシンを添加した KHB 中でさらに 30 分間インキュベーションした。摘出筋中のタンパク質を抽出したのち、筋中に含まれるピューロマイシンの量を測定することでタンパク質合成速度を評価した。また、mTORC1 活性化の指標である p70S6K リン酸化レベルの測定を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 研究 1: ヒト介入試験(ランダム化平行群間比較試験)

##### ①タンパク質ならびにエネルギー摂取量

タンパク質摂取量については P 群(2.3 $\pm$ 0.2g/kg/日)と PE 群(2.2 $\pm$ 0.2g/kg 体重/日)に違いは

みられなかった。成人におけるタンパク質摂取推奨量は約 0.9g/kg/日であり、両群のタンパク質摂取量は推奨量よりも 2 倍以上高かった。PE 群のエネルギー摂取量(3435±472kcal/日)は、P 群(2746±332kcal/日)よりも 25%大きかった (p<0.05)。

②体脂肪量(図 1)

タンパク質のみを付加した P 群については、6 週間の介入期間を通じて体脂肪量の有意な増加はみられなかった。一方、タンパク質とともにエネルギーを付加した PE 群については、介入開始 4 ならびに 6 週間後に体脂肪量の増加がみられた (p<0.05)。

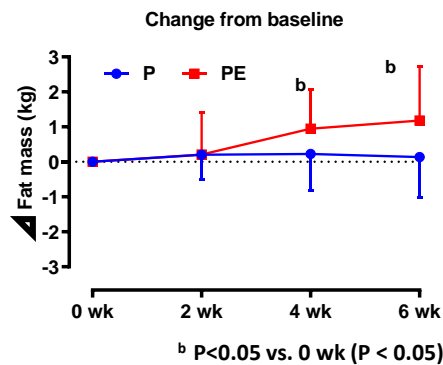


図1. 体脂肪量の変化

③除脂肪量(図 2)

タンパク質のみを付加した P 群については、6 週間の介入期間を通じて除脂肪量の有意な増加はみられなかった。一方、タンパク質とともにエネルギーを付加した PE 群については、介入開始 2、4、ならびに 6 週間後に体脂肪量の増加がみられた(p<0.05)。また、介入開始から 2 週間に亘る体脂肪増加量は PE 群において P 群よりも有意に大きかった(p<0.05)。

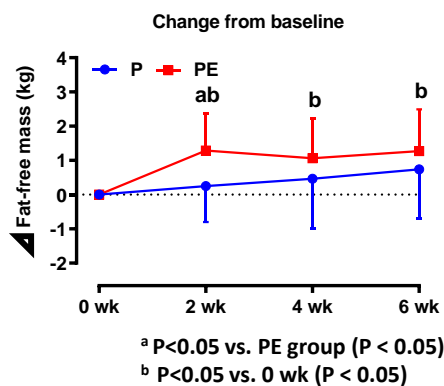


図2. 除脂肪量の変化

④体水分量(図 3)

タンパク質のみを付加した P 群については、6 週間の介入期間を通じて体水分量の有意な増加はみられなかった。一方、タンパク質とともにエネルギーを付加した PE 群については、介入開始 2 ならびに 6 週間後に体水分量の増加がみられた (p<0.05)。

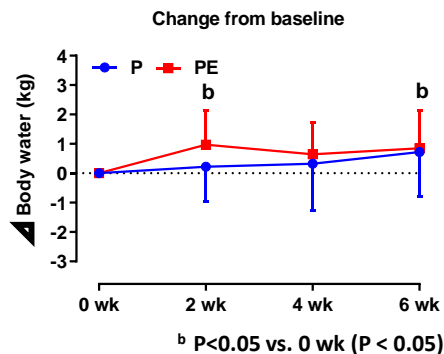


図3. 体水分量の変化

⑤体タンパク質量(図 4)

タンパク質のみを付加した P 群については、6 週間の介入期間を通じて体タンパク質量の有意な増加はみられなかった。一方、タンパク質とともにエネルギーを付加した PE 群については、介入開始 4、ならびに 6 週間後に体タンパク量の有意な増加がみられた(p<0.05)。また、介入開始から 6 週間に亘る体タンパク質増加量は PE 群において P 群よりも有意に大きかった (p<0.05)。したがって、エネルギー付加は体タンパク質量の増加を促進すると考えられる。

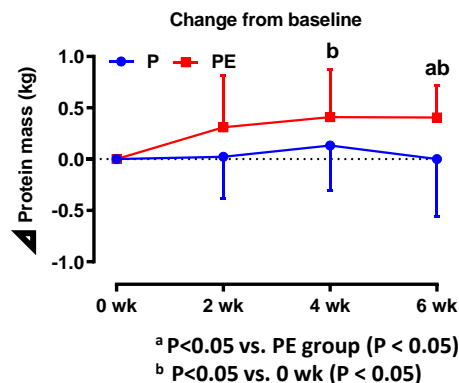


図4. 体タンパク質量の変化

## (2) 研究 2: 動物実験

コントロールに比べて、ロイシン刺激によって筋タンパク質合成速度は 1.6 倍に上昇した ( $p < 0.05$ )。一方、グルコース刺激によって筋タンパク質合成速度は 1.4 倍に上昇した ( $p < 0.05$ )。つまり、グルコースはロイシンほどではないが筋タンパク質合成速度を上昇させる可能性が示された。しかし、mTORC1 活性化の指標となる p70S6K はロイシン群で上昇する傾向がみられたが、グルコース群では上昇しなかった。したがって、ロイシンとグルコースが異なる機序で筋タンパク質合成を促進する可能性がある。

## (3) 考察

本研究では、十分なタンパク質とともにエネルギーを付加することで、ヒトの体タンパク質量の増加を促進できた。体タンパク質の 50%以上は筋タンパク質が占めるので、本研究の結果は、「エネルギーを付加する食事処方」が筋量増加に有効である可能性を示唆する。しかし、今後、実際にエネルギー付加が筋タンパク質量増加を促進するか検討する必要がある。

もし、エネルギー付加が筋タンパク質量増加に効果的であると仮定するならば、どのような仕組みが考えられるのだろうか？ 以前、エネルギー(糖質)の大量摂取にともなったインスリン分泌量の上昇が筋タンパク質合成を促進して筋量を増やすとの考え方がなされていた。しかし、インスリンは筋タンパク質合成に必須ではあるものの、空腹時のインスリンレベルで筋タンパク質合成は頭打ちになる (Atherton and Smith 2012)。したがって、過食によってインスリンレベルが上昇することが筋タンパク質合成に貢献しているとは考えにくい。一方、本研究では、実験動物からの摘出筋をグルコースで刺激するだけで筋タンパク質合成が高まった。タンパク質以外のエネルギー産生栄養素(糖質、脂質)が筋タンパク質合成を高める未知のメカニズムが想定できるかもしれない。

### 〈文献〉

1. 田口素子、樋口満 (編著). 体育・スポーツ指導者と学生のためのスポーツ栄養学. 市村出版, 152-153 頁, 2014
2. Joosen AMCP and Westerterp KR. Energy expenditure during overfeeding. *Nutrition & Metabolism* 3: 25, 2006.
3. Atherton PJ and Smith K. Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *J Physiol* 590: 1049-1057, 2012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 川中健太郎	4. 巻 134
2. 論文標題 スポーツ選手のための糖質摂取の考え方	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 臨床栄養	6. 最初と最後の頁 166-173
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川中健太郎、畑本陽一、三本木千秋	4. 巻 38
2. 論文標題 エネルギーを付加する食事方法は筋量増加に効果的か？	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 臨床スポーツ医学.	6. 最初と最後の頁 1384 ~ 1386
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 8件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ra SG, Iizawa H, Honda H, Kawamoto E, Tomiga Y, Higaki Y, Kawanaka K.
2. 発表標題 An acute bout of exercise downregulates Thioredoxin-interacting protein (TXNIP) expression in rat skeletal muscle.
3. 学会等名 European College of Sports Science. Prague, Czech Republic. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Honda H, Ra SG, Iizawa H, Tomiga Y, Higaki Y, Kawanaka K.
2. 発表標題 Prolonged stretch does not improve insulin-stimulated glucose transport in insulin resistant rat soleus muscle.
3. 学会等名 European College of Sports Science. Prague, Czech Republic. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羅成圭、河本絵美、越中敬一、岩部万衣子、富賀裕貴、飯澤拓樹、本田紘基、安方惇、檜垣靖樹、川中健太郎
2. 発表標題 一過性の運動は活動筋の骨格筋TXNIP発現量を低下させる。
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会 (つくば)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田紘基、羅成圭、飯澤拓樹、富賀裕貴、川中健太郎
2. 発表標題 受動的な伸展状態はラットヒラメ筋のインスリン感受性に影響を及ぼす
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会 (つくば)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Honda H, Ra SG, Iizawa H, Nakashima S, Tomiga Y, Higaki Y, Kawanaka K
2. 発表標題 Passive stretch increases insulin-stimulated glucose transport in rat soleus muscle.
3. 学会等名 8th Fukuoka University & Pusan National University Annual Conference. Fukuoka, Japan.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川中健太郎
2. 発表標題 運動・食事・糖代謝 先人達の研究を辿る
3. 学会等名 第1回日本体力医学会北九州地方会 (福岡・九州大) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川中健太郎.
2. 発表標題 先人たちのグリコーゲン研究を辿る.
3. 学会等名 第6回日本スポーツ栄養学会 (東京・東京大) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川中健太郎
2. 発表標題 スポーツトレーニングの基盤となる超回復現象
3. 学会等名 福岡大学大学院学際シンポジウム (福岡・福岡大) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田紘基、羅成圭、飯澤拓樹、中島志穂子、富賀裕貴、檜垣 靖樹、川中健太郎.
2. 発表標題 受動的なストレッチはラットヒラメ筋のTXNIP発現量を減少させるとともにインスリン抵抗性を改善する.
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会 (鹿児島) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Honda H, Ra SG, Iizawa H, Nakashima S, Tomiga Y, Higaki Y, Kido K, Kawanaka K.
2. 発表標題 Passive stretch improves insulin-stimulated glucose transport together with downregulation of TXNIP in rat soleus muscle.
3. 学会等名 American Physiological Society Integrative Physiology of Exercise. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村泰志、木戸康平、廣田歩夢、有川実玖、横川晶、本田紘基、増谷弘、羅成圭、川中健太郎。
2. 発表標題 TXNIPが筋収縮による骨格筋の糖取り込みに与える影響。
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会 (三重) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 羅成圭、本田紘基、川中健太郎。
2. 発表標題 運動後の非活動筋における糖取り込みとTXNIPの関与。
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会 (三重) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川中健太郎。
2. 発表標題 タンパク質摂取と筋肉づくり
3. 学会等名 第3回日本抗加齢医学会 九州地方会(福岡) (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 麻見 直美、川中 健太郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 羊土社	5. 総ページ数 200
3. 書名 運動生理学	

〔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
研究分担者	檜垣 靖樹  (Higaki Yasuki)  (10228702)	福岡大学・スポーツ科学部・教授    (37111)	
研究分担者	上原 吉就  (Uehara Yoshinari)  (70373149)	福岡大学・スポーツ科学部・教授    (37111)	
研究分担者	重森 裕  (Shigemori Yutaka)  (30465273)	福岡大学・スポーツ科学部・准教授    (37111)	
研究分担者	木戸 康平  (Kido Kohei)  (50822730)	福岡大学・スポーツ科学部・助教    (37111)	
研究分担者	安方 惇  (Jun Yasukata)  (20759253)	福岡大学・スポーツ科学部・助教    (37111)	
研究分担者	羅 成圭  (Ra Song-Gyu)  (60741999)	福岡大学・スポーツ科学部・助教    (37111)	
研究分担者	田中 茂穂  (Tanaka Shigeho)  (50251426)	女子栄養大学・栄養学部・教授    (32625)	
研究分担者	海老根 直之  (Ebine Naoyuki)  (30404370)	同志社大学・スポーツ健康科学部・准教授    (34310)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	畑本 陽一  (Hatamoto Yoichi)  (90738832)	国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所・国立健康・ 栄養研究所 栄養・代謝研究部・研究員     (84420)	

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