

## 低骨格筋量の若年女性に対する乳酸発酵卵白たんぱく質飲料の効果

The effect of lactic acid fermented egg white protein drink  
on young women with low skeletal muscle mass

高波 嘉一<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大妻女子大学家政学部

Yoshikazu Takanami<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Home Economics, Otsuma Women's University

12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan 102-8357

キーワード：若年女性，骨格筋，卵白たんぱく質，運動トレーニング

Key words : Young women, Skeletal muscle, Egg white protein, Exercise training

### 抄録

近年，若年女性の極端な痩身志向の結果として低骨格筋量の者が増加しており，将来のサルコペニアやフレイルだけでなく，生活習慣病の増加も懸念される．本研究では毎日卵白たんぱく質飲料を摂取させ，さらに低体力者でも実施可能な運動トレーニング（インターバルトレーニング）を併用することで，低骨格筋量の若年女性の骨格筋量や筋機能が改善するかをどうか明らかにすることを目的に検討を行った．

低骨格筋量（骨格筋指数 $<5.7 \text{ kg/m}^2$ ）の本学学生24名を無作為に2群に分け，卵白群（卵白たんぱく質8g入飲料/日摂取+運動：13名），対照群（大豆たんぱく質8g入豆乳飲料/日+運動：11名）とし，8週間の介入を行った．その結果，両群において骨格筋量の変化は見られなかったものの，筋力が増加した．この筋力増加は，卵白群の方が有意に大きかった．また，卵白群のみで尿中8-OHdGが有意に低下したことより，筋肥大・筋力増強に抑制的に働く酸化ストレスが抑えられた可能性が示唆された．さらに，卵白群において血中アミノ酸のうちシステインのみが介入後に有意に増加しており，卵白中の含硫アミノ酸が抗酸化作用を発揮し，筋力増強に寄与したものと推察された．

### 1. 緒言

わが国では近年，若年女性の極端な痩身志向が広まっており，低骨格筋量の者が増加している．そのような体組成の若年女性において，易疲労感などの健康障害を訴える者が多く，そのために身体活動量が減少しさらに筋量が減少するといった悪循環が見られる．低骨格筋量の若年女性は中～高強度の身体活動量が少ないことを，我々は先行研究で明らかにしている（未発表）．しかし，現在の生活環境でこのような身体活動を十分に確保するのは容易ではない．さらに，低骨格筋量の若年女性では食事量を制限している者が多く，筋たんぱく質の合成に使われるたんぱく質の摂取量が不足している可能性が考えられる．そこで本研究では，毎日十分な良質のたんぱく質（乳酸発酵卵白たんぱく質飲料）を摂取させ，効率のよい運動トレーニングを併用することで，低骨格筋量の若年女性の骨格筋量や骨格筋機能が改善するかを明ら


かにする．分岐鎖アミノ酸（BCAA）や含硫アミノ酸を多く含む卵白たんぱく質の若年女性に対する機能性を検証し，将来のサルコペニア予防につなげるのが本研究の目的である．

### 2. 研究方法

#### 2.1. 被験食品

卵白たんぱく質としては，乳酸発酵卵白飲料（ルミラン，キューピー株式会社，東京）を使用した（卵白群）．対照には，ほぼ同量のたんぱく質を含む調整豆乳（キッコーマンソイフーズ株式会社，東京）を用いた（対照群）．被験食品の栄養成分をTable 1に示した．対象者には，被験食品を毎日1本摂取するよう指示した．摂取タイミングは，運動実施日のみ運動後とし，それ以外の日は午前中とした．

Table 1 被験食品 1 パックあたりの栄養成分

|              | 卵白群   | 対照群   |
|--------------|---|---|
| 使用飲料         |  |  |
| 内容量 (ml)     | 200   | 200   |
| 熱量 (kcal)    | 84  | 117   |
| たんぱく質 (g)    | 8.0   | 7.7   |
| 脂質 (g)       | 0.0   | 7.7   |
| 炭水化物 (g)     | 13.1  | 4.1   |
| 食塩 (g)       | 0.5   | 0.5   |
| コレステロール (mg) | 0   | 0   |

## 2.2. 対象者

都内某女子大学家政学部に所属する学生のうち、骨格筋量がサルコペニア相当の者（骨格筋指数がアジア人高齢女性のサルコペニアのカットオフ値（5.7 kg/m<sup>2</sup>）未満）で、研究参加の同意が書面にて得られ、食物アレルギーの既往のない24名を本研究の対象とした。

## 2.3. 試験方法

本試験は、オープンラベル試験として実施した。被験者を無作為に対照群と卵白群の2群に分け、対照群には調整豆乳（200ml/日）を、卵白群にはルミラン（200ml/日）を8週間毎日摂取するよう指示した。

また運動トレーニングとして、被験者に週2回、8週間、自転車エルゴメーターを用いたインターバルトレーニングを行ってもらった。トレーニングプロトコルをFig.1に示した。



Fig. 1 インターバルトレーニングのプロトコル

ウォーミングアップ後、高負荷で3分間、その後低負荷で2分間漕ぐことを1セットとし、合計3セット（15分）を1回のトレーニングとして実施した。高負荷の運動強度は自覚的運動強度（ボルグスケール）14（ややきつい～きつい）と心拍数140～150拍/分を指標として決定した。高負荷のワット（W）数は、被験者各自でこの相対強度を維持するよう適宜見直しを行った。なお低負荷の運動強度は、40Wに統一した。

食事内容、インターバルトレーニングを除く身体活動については、これまで通りの生活習慣を維持するよう指示した。試験開始前（介入前）及び試験終了時（介入後）には、採血、採尿および以下の測定を実施した。採血は早朝空腹時に実施し、血液は3000rpm、10分間の遠心分離により血清を分取し、血清および尿は分析まで-80℃で保管した。

## 2.4. 測定項目

体組成は、精密体成分分析装置（Inbody730）により測定した。筋力は握力、等尺性膝伸展力、等速性脚伸展パワーを測定した。血液検査項目をTable 2に示した。また尿検体を用いて、酸化ストレスマーカーの8-hydroxy-2'-deoxyguanosine（8-OHdG）を測定した。

## 2.5. 統計解析

試験結果は平均±SDで表した。対照群と卵白群の比較はStudent's *t*-testで、摂取前と摂取後の比較はPaired *t*-testで行った。なお、統計解析はコンピュータソフトウェアJMP Ver.9にて行った。

## 3. 研究結果

### 3.1. 体組成の変化 (Table 2)

介入前において、すべての項目で両群間に差は認められなかった。介入前後では一部の項目に変化が見られたが、変化量は極めて小さく、臨床的に意味のある変化は認められなかった。

Table 2 介入前後における身体組成の変化

|                            | 卵白群         |             |      | 対照群         |             |      |
|----------------------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|------|
|                            | 介入前         | 介入後         | p値   | 介入前         | 介入後         | p値   |
| 体重 (kg)                    | 44.9 ± 3.3  | 45.4 ± 3.6  | 0.03 | 45.8 ± 3.9  | 46.4 ± 3.6  | 0.02 |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )   | 18.6 ± 1.6  | 18.9 ± 1.6  | 0.03 | 18.8 ± 1.5  | 19.0 ± 1.4  | 0.03 |
| 体脂肪率 (%)                   | 25.1 ± 5.8  | 26.0 ± 5.7  | 0.06 | 26.1 ± 3.4  | 26.2 ± 3.7  | 0.69 |
| 体脂肪量 (kg)                  | 11.4 ± 3.1  | 11.9 ± 3.2  | 0.04 | 12.1 ± 2.6  | 12.3 ± 2.6  | 0.37 |
| 除脂肪量 (kg)                  | 33.5 ± 2.5  | 33.5 ± 2.7  | 0.77 | 33.8 ± 1.6  | 34.1 ± 1.8  | 0.28 |
| 骨格筋量 (kg)                  | 17.8 ± 1.5  | 17.8 ± 1.6  | 0.75 | 17.9 ± 1.0  | 18.1 ± 1.1  | 0.17 |
| 骨格筋指数 (kg/m <sup>2</sup> ) | 5.29 ± 0.28 | 5.27 ± 0.28 | 0.03 | 5.36 ± 0.29 | 5.38 ± 0.27 | 0.61 |

平均値 ± 標準偏差

### 3.2. 筋力の変化

等速性脚伸展パワーの測定結果をFig. 2に示した。卵白群、対照群ともに、介入前後で有意な上昇が見られた。両群の介入前後の筋力の変化量（ΔW）をFig. 3に示した。脚伸展パワーは、卵白群の方が対照群に比べて有意に大きな上昇を示していた。

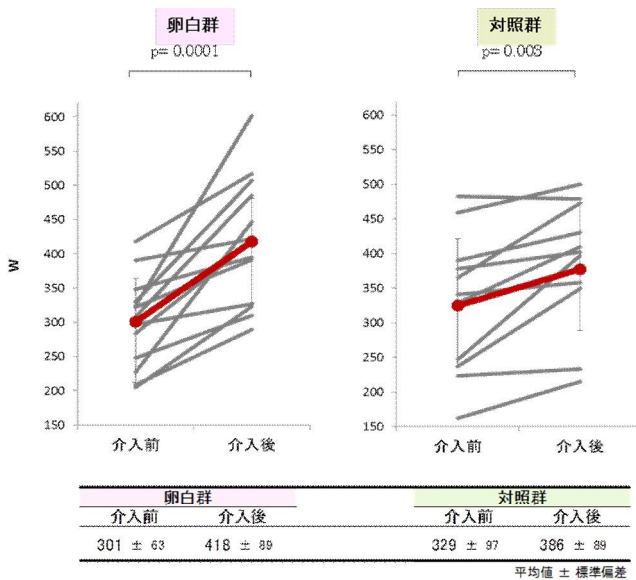


Fig. 2 介入前後の等速性脚伸展パワー(W)の変化

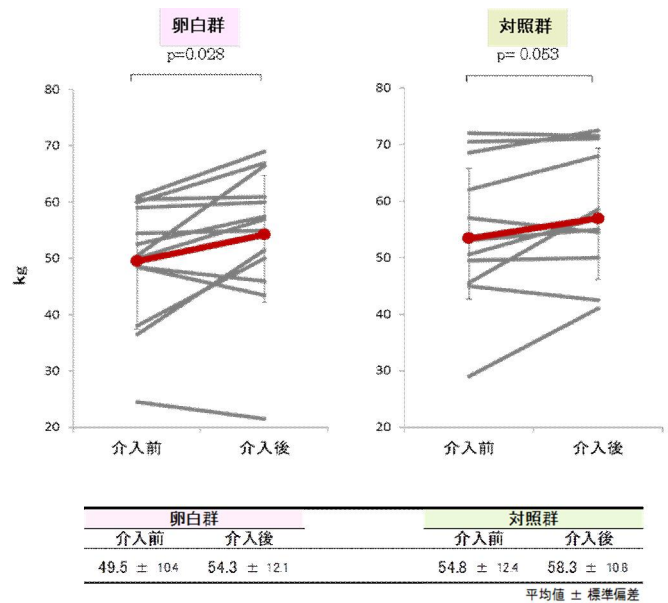


Fig. 4 介入前後の等尺性膝伸展筋力(kg)の変化

握力については、両群とも介入前後で有意な変化が見られなかった。

### 3.3. 血液・尿検査項目の変化

#### 3.3.1. 血清中アミノ酸濃度 (Table 3)

本研究では、骨格筋に深く関連すると考えられるアミノ酸として、血清中の分岐鎖アミノ酸 (バリン, イソロイシン, ロイシン), 含硫アミノ酸 (システイン, メチオニン), 総アミノ酸濃度の分析を行った。その結果、卵白群において介入後にシステイン濃度の有意な増加が認められた。その他のアミノ酸に関しては、両群ともに介入前後で有意な変化は見られなかった。

Table 3 介入前後における血清アミノ酸濃度の変化

|                      | 卵白群            |                |        | 対照群            |                |      |
|----------------------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|------|
|                      | 介入前            | 介入後            | p値     | 介入前            | 介入後            | p値   |
| Valine (nmol/mL)     | 205.4 ± 36.1   | 210.7 ± 22.0   | 0.51   | 213.4 ± 40.9   | 211.1 ± 23.9   | 0.82 |
| Isoleucine (nmol/mL) | 61.0 ± 10.8    | 63.1 ± 10.9    | 0.23   | 64.8 ± 10.1    | 61.9 ± 9.7     | 0.39 |
| Leucine (nmol/mL)    | 118.9 ± 18.3   | 115.0 ± 7.0    | 0.30   | 120.8 ± 18.4   | 117.6 ± 12.2   | 0.69 |
| BCAA (nmol/mL)       | 385.3 ± 60.4   | 388.8 ± 37.2   | 0.76   | 399.0 ± 62.5   | 390.6 ± 42.0   | 0.64 |
| Cysteine (nmol/mL)   | 20.8 ± 6.3     | 25.2 ± 7.8     | 0.0017 | 21.7 ± 4.7     | 21.6 ± 4.1     | 0.94 |
| Methionine (nmol/mL) | 26.9 ± 3.1     | 28.0 ± 3.3     | 0.36   | 29.9 ± 5.4     | 30.4 ± 4.4     | 0.75 |
| Total AA (nmol/mL)   | 2827.9 ± 287.2 | 2815.1 ± 206.2 | 0.89   | 2987.2 ± 327.6 | 2855.5 ± 284.7 | 0.19 |
| BCAA/Total AA        | 0.14 ± 0.02    | 0.14 ± 0.02    | 1.00   | 0.14 ± 0.02    | 0.14 ± 0.02    | 0.70 |

平均値 ± 標準偏差

#### 3.3.2. 尿中 8-OHdG (Fig. 5)

骨格筋量や筋力の阻害因子となる酸化ストレスの指標として、本研究では尿中 8-OHdG を測定した。卵白群において介入後に尿中 8-OHdG の有意な低下が認められた。一方、対照群では介入前後

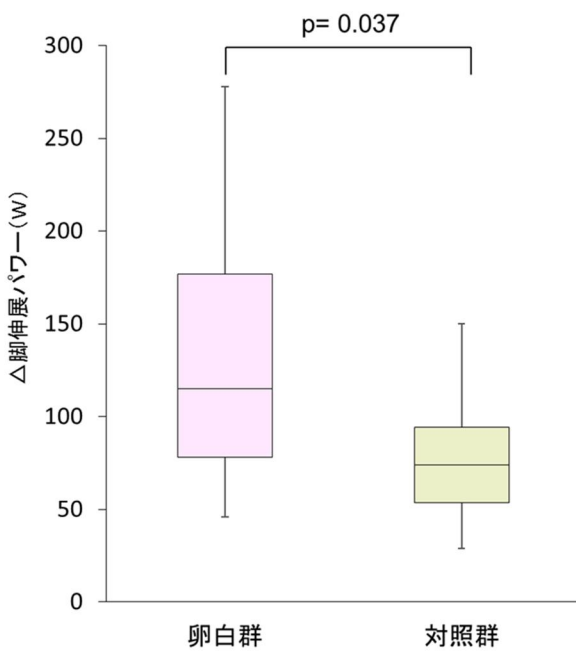


Fig. 3 介入前後の脚伸展パワー (W) の変化量

等尺性膝伸展力の測定結果を Fig 4 に示した。介入前後で卵白群のみに有意な上昇が認められた。

で有意な変化が見られなかった。

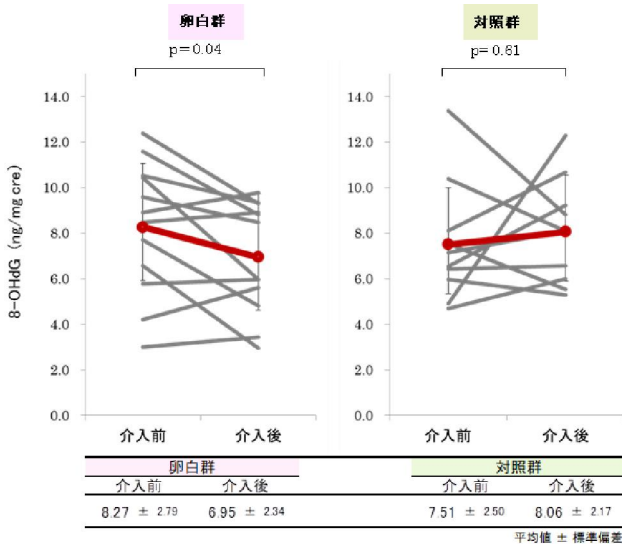


Fig. 5 介入前後の尿中 8-OHdG の変化

#### 4. 考察

運動トレーニングに加えて卵白たんぱく質を摂取することで、骨格筋量や筋力の増加が見られた理由の1つとして、卵白たんぱく質が良質なたんぱく質源であることが挙げられる。卵白たんぱく質は、正味たんぱく質利用率が高くアミノ酸スコアは100であり<sup>1)</sup>、また筋たんぱく質の主要な基質で、筋たんぱく質合成の細胞内シグナルを活性化させる作用がある分岐鎖アミノ酸（バリン、イソロイシン、ロイシン）を豊富に含む。そのため、運動と併用することで骨格筋量・筋力増加に有利に働くことが考えられる<sup>2)</sup>。さらに卵白たんぱく質の特徴として、他のたんぱく質源と比較して含硫アミノ酸（システイン、メチオニン）の含有量が多い。システインやシステインから体内で合成されるグルタチオンは強力な抗酸化作用を示す<sup>3)</sup>ため、骨格筋量や筋力増加の阻害因子となる酸化ストレスを抑制する可能性が考えられる。実際、本研究の若年女性を対象とした検討において、卵白群で血清中のシステイン濃度が介入後に有意に増加しており、また酸化ストレスマーカーの尿中8-OHdGが介入後に有意に低下していた。したがって、卵白たんぱく質に多いシステインが酸化ストレス抑制作用を示し、骨格筋量・筋力増加に有利に働いた可能性が考えられる。

本研究の低骨格筋量の若年女性を対象とした検討では、運動トレーニングと卵白たんぱく質摂取の併用で骨格筋量は増加せず、筋力は増加した。

この理由として、運動トレーニングの内容と実施期間の問題が考えられる。今回採用した「インターバルトレーニング」は、これまで様々なプロトコルの効果が検証されているが、高負荷の際の運動強度がかなり高いプロトコルで骨格筋量が増加したとの報告<sup>4)</sup>がある。本研究では、低骨格筋量で低体力の若年女性を対象としたため、高負荷の運動強度をあまり高く設定しないプロトコルで行った。骨格筋量増加を目的とした場合、本プロトコルでは不十分だったかもしれない。ただ、筋力に関しては有意な増加が認められており、一般的に骨格筋量増加に先行して筋力増加が起こることが知られている<sup>5)</sup>。本研究の介入期間は8週間であったが、今回の軽めプロトコルではさらに継続することで骨格筋量増加が見られた可能性も考えられる。また、対照群の豆乳飲料摂取に比べ卵白たんぱく質飲料摂取の方が筋力増加作用が有意に大きかったことから、今回採用した低体力者でも実施可能なインターバルトレーニングと卵白たんぱく質摂取の併用は、さらに長期間継続することで骨格筋量増加につながる可能性が期待される。

#### 付記

本研究は、「一般財団法人旗影会」及び大妻女子大学「戦略的個人研究費」(S2823)の助成を受けて実施したものである。

#### 引用文献

- [1] Sheffner A. L., et al., The pepsin-digest- residue (PDR) amino acid index of net protein utilization. *J. Nutr.*, 60, 105-120 (1956)
- [2] 下村吉治 分岐鎖アミノ酸代謝の調節機構. 日本栄養・食糧学会誌 65(3), 97-103 (2012)
- [3] Forman H. J., Glutathione From antioxidant to post-translational modifier. *Arch Biochem Biophys.* 595, 64-67 (2016)
- [4] Matsuo T., et al., Effect of aerobic exercise training followed by a low-calorie diet on metabolic syndrome risk factors in men. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 25, 832-838 (2015)
- [5] Narici M. V. et al., Change in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 59, 310-319 (1989)

(受付日：2018年4月27日，受理日：2018年5月8日)

**高波 嘉一 (たかなみ よしかず)**

現職：大妻女子大学家政学部 教授

東京薬科大学大学院薬学研究科医療薬学専攻修士課程修了，博士（医学）  
専門は動脈硬化学，予防運動医学，抗加齢医学。