

# 卵白たんぱく質摂取と運動の併用が中高年男性の骨格筋機能・代謝に及ぼす影響について

大妻女子大学家政学部食物学科・教授 高波 嘉一

## ■ 緒言

介護予防や生活習慣病予防・改善に運動が推奨されるが、たんぱく質の摂取が不足している場合、運動効果が十分発揮されない可能性がある。卵白は正味たんぱく質利用率が高く、近年では分岐鎖アミノ酸(BCAA)や含硫アミノ酸が多く含まれることからその機能性が期待されているが、骨格筋に対する効果を検討した報告は少ない。そこで本研究では運動習慣のない55～65歳の男性を対象とし、卵白たんぱく質と運動の併用が筋量、筋機能、酸化ストレスに及ぼす影響について検討を行い、卵白たんぱく質+運動の早期介護予防、生活習慣病予防に対する有用性を検証することを目的とした。

しかし、今回当初予定した男性対象者を研究期間内に集めることが極めて困難な状況となったため、本研究では運動習慣がない中高年女性および低体力で骨格筋量が少ない若年女性を対象として検討することとした。実際、中高年女性や若年女性において、食に対する誤った認識やダイエット志向、運動不足などが原因で、筋量がサルコペニアレベルの者が少なからずおり、骨格筋改善のための適切なアプローチが必要な集団と考えられる。

本研究では、まず中高年女性を対象とし、準監視型のレジスタンス運動+有酸素運動と卵白たんぱく質8g/日の併用効果について検討した。次に若年女性を対象とし、インターバルトレーニングと卵白たんぱく質8g/日の併用効果について検討した。これにより、フィットネスクラブ等でしっかり運動して卵白たんぱく質を摂取した場合の効果と、比較的手軽に実施できる運動と卵白たんぱく質の併用効果について明らかにすることとした。

## ■ 方法

### 1. 運動と卵白たんぱく質摂取の併用が中高年女性の骨格筋に及ぼす影響

#### 1.1. 被験食品

卵白たんぱく質としては、乳酸発酵卵白(ラクティエーエッグ、キューピータマゴ株式会社、東京)を使用した。対照には乳酸発酵卵白の大部分を占める水を用いた。被験食品は、1袋で1日分(125g)摂取できるようにアルミパウチに小分けした。なお、乳酸発酵卵白を125g摂取するとたんぱく質が8g摂取できるようになっている。被験食品は、被験者間で比較できないようにするため、被験者の自宅に直接送付し、使用するまで冷蔵で保管させた。

#### 1.2. 対象者

本研究は、運動習慣がなく閉経後3年以上経過した50歳以上の女性26名を対象とした。

なお、対象者にはインフォームドコンセントを行い、書面にて同意を得た。本研究は大妻女子大学生命科学研究倫理委員会の審査を受け、承認を得た(受付番号26-008)。

#### 1.3. 試験方法

本試験は、二重盲検並行群間法で実施した。被験者を対照群と卵白群の2群に分け、対照群には殺菌水(125g/日)を、卵白群には乳酸発酵卵白(125g/日)を8週間毎日摂取してもらった。

運動プログラムは、被験者に週2回、8週間フィットネスクラブに通ってもらい、ウォームアップ後、ウエイトトレーニング、有酸素運動、クールダウンの順で実施した。

プログラム内容は、ウエイトトレーニングは、主に大筋群を刺激する種目を、負荷強度60～70%・1RMで10～15回を1セットとし、1～2セット行う様に指示した。有酸素運動は、推定VO<sub>2</sub>maxの50%程度に相当する強度にて20～30分間行うように指示した。

食事内容、フィットネスクラブでの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)には以下の測定を実施した。

#### 1.4. 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。

## 1.5. 統計解析

試験結果は平均 ± SE 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 SPSS Ver.20 にて行った。

## 2. 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が若年女性の骨格筋に及ぼす影響

### 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。

### 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(5.7kg/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。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°C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。

## ■ 結果

### 1. 運動と卵白たんぱく質摂取の併用が中高年女性の骨格筋に及ぼす影響

#### 1.1. 身体特性の変化(Table 3)

身長、体重、BMI、腹囲、収縮期血圧、拡張期血圧は、介入前の対照群と卵白群では群間差は認められなかった。また介入前後において、対照群および卵白群の両群で有意な変化は認められなかった。

#### 1.2. 骨格筋量の変化(Table 4)

骨格筋量は、一部変化が見られた部位もあったが、変化量は極めて小さく、被験者全体で見た場合、臨床的に意味のある変化は認められなかった。

全身骨格筋量と四肢骨格筋量の変化量(Δkg)を Fig 2 および Fig 3 に示した。全身骨格筋量については、被験者全体では両群とも介入前後で有意な変化は認められなかった。しかし55歳以上の被験者に限定すると、卵白群で全身骨格筋量が介入後に有意に増加した(Fig 2)。また、卵白群の全身骨格筋量の変化量は、対照群の変化量よりも高い傾向であった。四肢骨格筋量は、被験者全体では両群とも介入前後で有意な変化は認められなかった。55歳以上の被験者に限定した場合、卵白群では介入

後に四肢骨格筋量が増加する傾向が認められた (Fig 3)。卵白群の四肢骨格筋量の変化量は、対照群と比較して有意に高い値であった。

### 1.3. 筋力の変化 (Table 5)

介入前において、握力、等尺性膝伸展力、脚伸展パワーは、対照群、卵白群の間で差は認められなかった。介入前後の変化は、卵白群で等尺性脚伸展力のみ有意な上昇を示した。

## 2. 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が若年女性の骨格筋に及ぼす影響

### 2.1. 体組成の変化 (Table 6)

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。

### 2.2. 筋力の変化

等速性脚伸展パワーの測定結果を Fig 4 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 ( $\Delta W$ ) を Fig 5 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。

等尺性膝伸展力の測定結果を Fig 6 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。握力については、両群とも介入前後で有意な変化は見られなかった。

### 2.3. 血液・尿検査項目の変化

#### 2.3.1. 血清 TNF- $\alpha$ (Fig 7)

骨格筋量や筋力の阻害因子となる慢性炎症の指標として、本研究では血清 TNF- $\alpha$  を測定した。卵白群、対照群とも、介入前後で血清 TNF- $\alpha$  の有意な変化は見られなかった。

#### 2.3.2. 血清 IGF-1 (Fig 8)

骨格筋量や筋力の促進因子となる内分泌指標として、本研究では血清 IGF-1 を測定した。卵白群、対照群とも、介入前後で血清 IGF-1 の有意な変化は見られなかった。

#### 2.3.3. 血清中アミノ酸濃度 (Table 7)

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。

#### 2.3.4. 尿中 8-OHdG (Fig 9)

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で有意な変化は見られなかった。

## ■ 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。

本研究の中高年女性を対象とした検討で、比較的高年齢の被験者でのみ効果がみられた理由は明確ではないが、まだ骨格筋減弱が顕著でない場合には、卵白たんぱく質摂取の効果が認められにくいのかもかもしれない。比較的高年齢の対象者において骨格筋量増加効果が見られたということで、卵白たんぱく質は高齢者の虚弱予防に貢献できる可能性があり、高齢者の健康で活動的な生活の維持のために寄与する食品ではないかと考えられる。

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。

本研究の問題点として、当初男性対象者を想定していたが、十分な被験者数を確保することが困難であったため、女性を対象者としたことが挙げられる。男女では性ホルモンの差など代謝や体内環境に差があるため、男性では結果が異なる可能性もある。ただ、今回の中高年女性を対象とした検討では、閉経後3年以上を経過した女性を対象としたため、女性ホルモンの影響は排除できる。

また、中高年女性を対象とした検討では被験者の骨格筋量はほぼ年齢相応であり、低骨格筋量の被験者ではなかった。本研究では明らかな骨格筋量減少が見られる対象者での効果を検討する予定であったが、骨格筋減弱が見られる対象者で今回と同様の結果が得られるか不明である。さらに卵白たんぱく質の固有の効果か、単にたんぱく質摂取の効果かが判別できない。これらの問題点を踏まえて、後半の若年女性を対象とした検討では、低骨格筋量の対象者に限定し、また対照群は豆乳飲料摂取とした。今後は低骨格筋量の運動習慣のない中高年男性を対象に、運動単独群、運動+卵白たんぱく質摂取群、運動+豆乳摂取群などを設定して検討を進め、卵白たんぱく質独自の効果であることを明らかにする必要がある。また、介入期間も3～6ヶ月程度を設定するのが望ましいと考える。

## ■ 要約

本研究では、まず中高年女性を対象とし、準監視型のレジスタンス運動+有酸素運動と卵白たんぱく質併用の骨格筋に対する効果について検討した。次に若年女性を対象とし、インターバルトレーニングと卵白たんぱく質併用の骨格筋に対する効果について検討した。その結果、55歳以上の女性においては、8週間、週2～3回しっかり行う運動トレーニングと毎日8gの卵白たんぱく質摂取により、骨格筋量および筋力が増加する可能性が示された。また、低体力で低骨格筋量の若年女性においては、8週間、週2回軽めのインターバルトレーニングと毎日8gの卵白たんぱく質摂取により、骨格筋量の変化は見られないものの筋力が増加する可能性が示された。今後は、骨格筋減弱が見られる高齢男性を対象とした検討や、より長期間の介入効果について明らかにする必要がある。

## ■ 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)

Table 1 被験食品 1 パックあたりの栄養成分 (若年女性)

	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

Table 2 血液検査および測定項目 (若年女性)

検査内容	検査項目
末梢血液一般検査	赤血球数、白血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット、血小板数
血液生化学的検査	総蛋白、アルブミン、尿素窒素、クレアチニン、総コレステロール、HDLコレステロール、トリグリセリド、グルコース、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (AST)、アラニンアミノトランスフェラーゼ (ALT)
炎症性サイトカイン	血清腫瘍壊死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )
筋たんぱく質合成因子	血清インスリン様成長因子 (IGF-1)
血清中アミノ酸分析	Valine、Isoleucine、Leucine、Total BCAA Cystine、Methionine、TotalAA、BCAA / TotalAA

Table 3 身体特性の変化(中高年女性)

		介入前	介入後
身長(cm)	対照群	157.6 ± 1.7	157.6 ± 1.7
	卵白群	156.6 ± 1.3	156.6 ± 1.3
体重(kg)	対照群	57.6 ± 3.0	57.7 ± 2.7
	卵白群	61.1 ± 1.9	61.0 ± 1.8
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	対照群	23.2 ± 1.0	23.2 ± 1.0
	卵白	25.0 ± 1.0	24.9 ± 0.9
腹囲(cm)	対照群	85.8 ± 3.6	85.5 ± 3.2
	卵白群	94.1 ± 3.9	93.5 ± 3.6
収縮期血圧(mmHg)	対照群	134 ± 7	130 ± 7
	卵白群	124 ± 9	126 ± 7
拡張期血圧(mmHg)	対照群	88 ± 4	85 ± 5
	卵白群	86 ± 5	86 ± 3

平均±標準誤差 (対照群 7 人、卵白群 8 人)

Table 4 介入前後における骨格筋量の変化(中高年女性)

		介入前	介入後
骨格筋量(kg)	対照群	20.1 ± 0.5	20.5 ± 0.5*
	卵白群	20.5 ± 0.6	20.8 ± 0.5
右腕筋肉量(kg)	対照群	1.80 ± 0.08	1.87 ± 0.09*
	卵白群	1.86 ± 0.05	1.92 ± 0.05*
左腕筋肉量(kg)	対照群	1.75 ± 0.08	1.80 ± 0.08*
	卵白群	1.84 ± 0.06	1.88 ± 0.06
右脚筋肉量(kg)	対照群	5.94 ± 0.21	5.95 ± 0.21
	卵白群	5.90 ± 0.17	5.89 ± 0.18
左脚筋肉量(kg)	対照群	6.02 ± 0.18	6.01 ± 0.16
	卵白群	5.89 ± 0.17	5.88 ± 0.19
両腕+両脚筋肉量(kg)	対照群	15.5 ± 0.5	15.6 ± 0.5
	卵白群	15.5 ± 0.4	15.6 ± 0.4

平均±標準誤差 (対照群 7 人、卵白群 8 人)

\*p<0.05 vs. 0 週目 by Paired t-test

Table 5 介入前後における筋力の変化(中高年女性)

		介入前	介入後
握力(kg)	対照群	24.4 ± 1.1	25.3 ± 1.0
	卵白群	23.7 ± 1.1	25.4 ± 1.2
等尺性脚伸展力(kg)	対照群	54.4 ± 5.6	57.4 ± 2.6
	卵白群	50.3 ± 3.9	59.4 ± 3.2*
脚伸展パワー(W)	対照群	293 ± 29	335 ± 32
	卵白群	350 ± 50	363 ± 53

平均±標準誤差 (対照群 7 人、卵白群 8 人)

\*p&lt;0.05 vs. 0 週目 by Paired t-test

Table 6 介入前後における身体組成の変化(若年女性)

	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

Table 7 介入前後における身体組成の変化(若年女性)

	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 ± 16.3	115.0 ± 7.0	0.30	120.8 ± 16.4	117.6 ± 12.2	0.59
BCAA (nmol/mL)	385.3 ± 60.4	388.8 ± 37.2	0.76	399.0 ± 62.5	390.6 ± 42.0	0.64
Cystine (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 ± 264.7	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

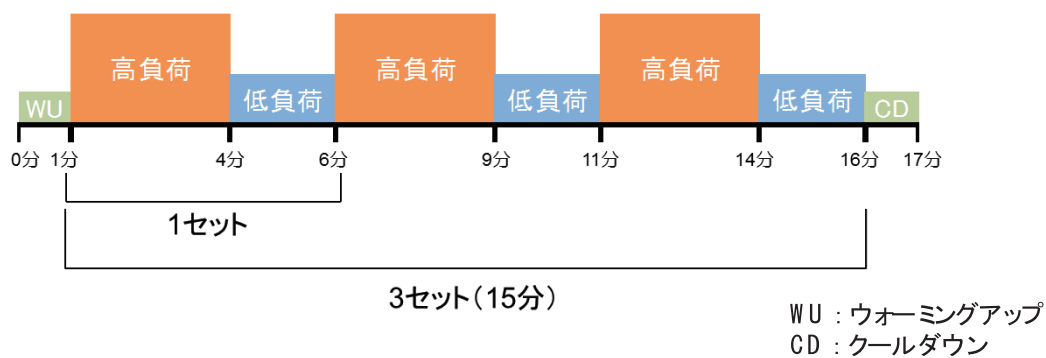
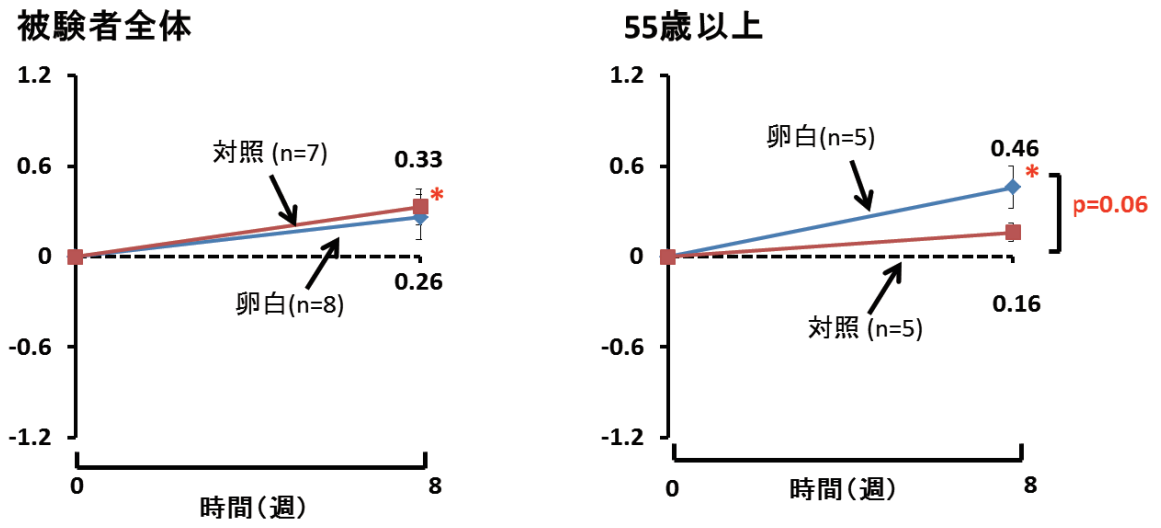


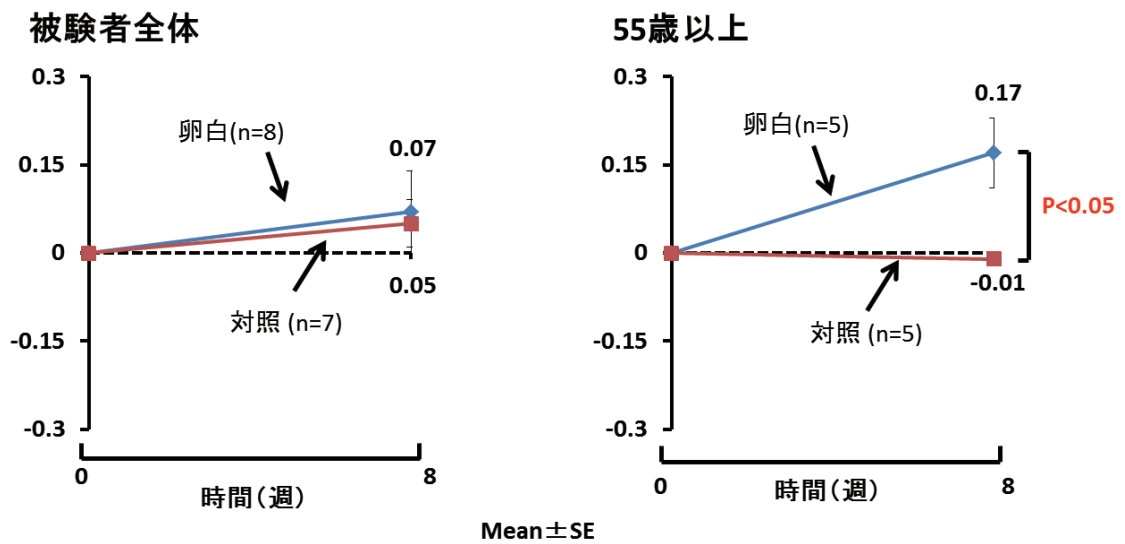
Fig. 1 インターバルトレーニングのプロトコール(若年女性)





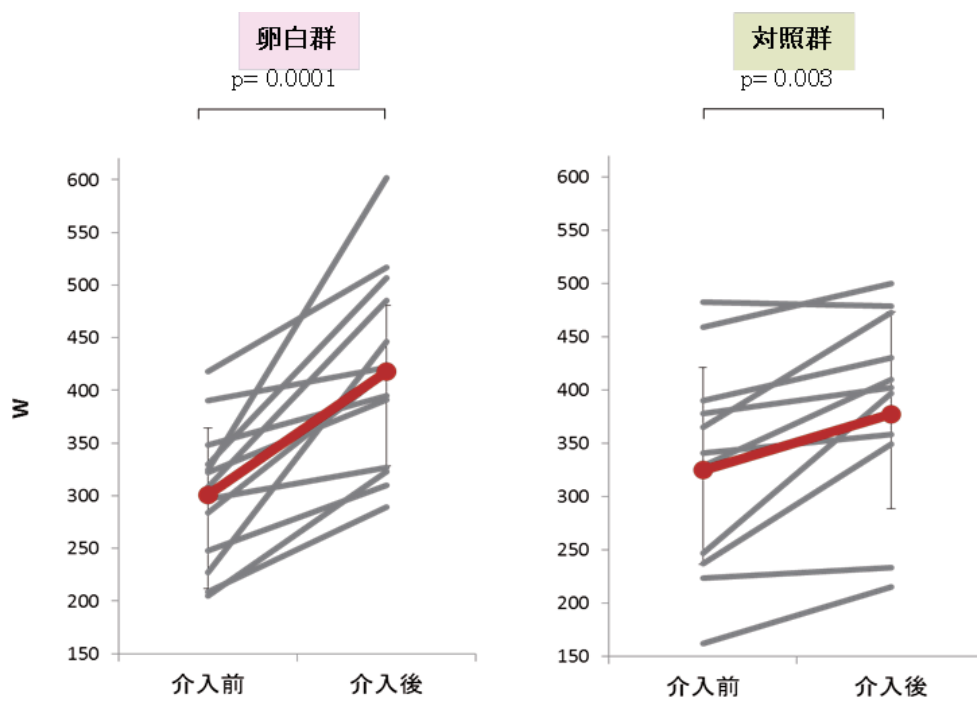
Mean ± SE, \*: p < 0.05 vs 0週

Fig. 2 介入前後の全身骨格筋量(kg)の変化(中高年女性)



Mean ± SE

Fig. 3 介入前後の四肢骨格筋量(kg)の変化(中高年女性)



卵白群		対照群	
介入前	介入後	介入前	介入後
301 ± 63	418 ± 89	329 ± 97	386 ± 89

平均値 ± 標準偏差

Fig. 4 介入前後の等速性脚伸展パワー(W)の変化(若年女性)

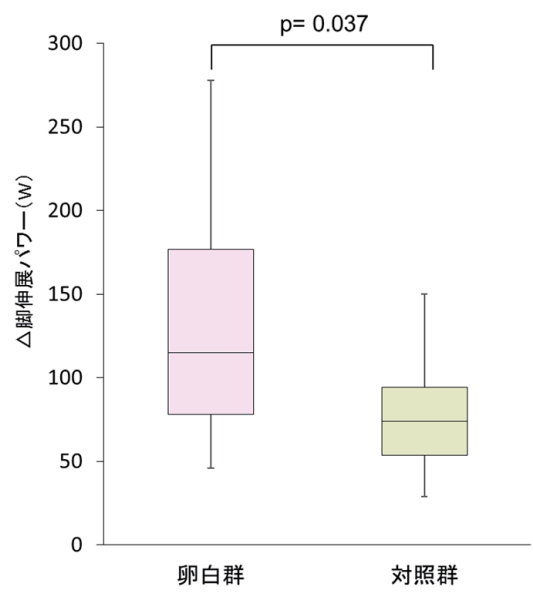
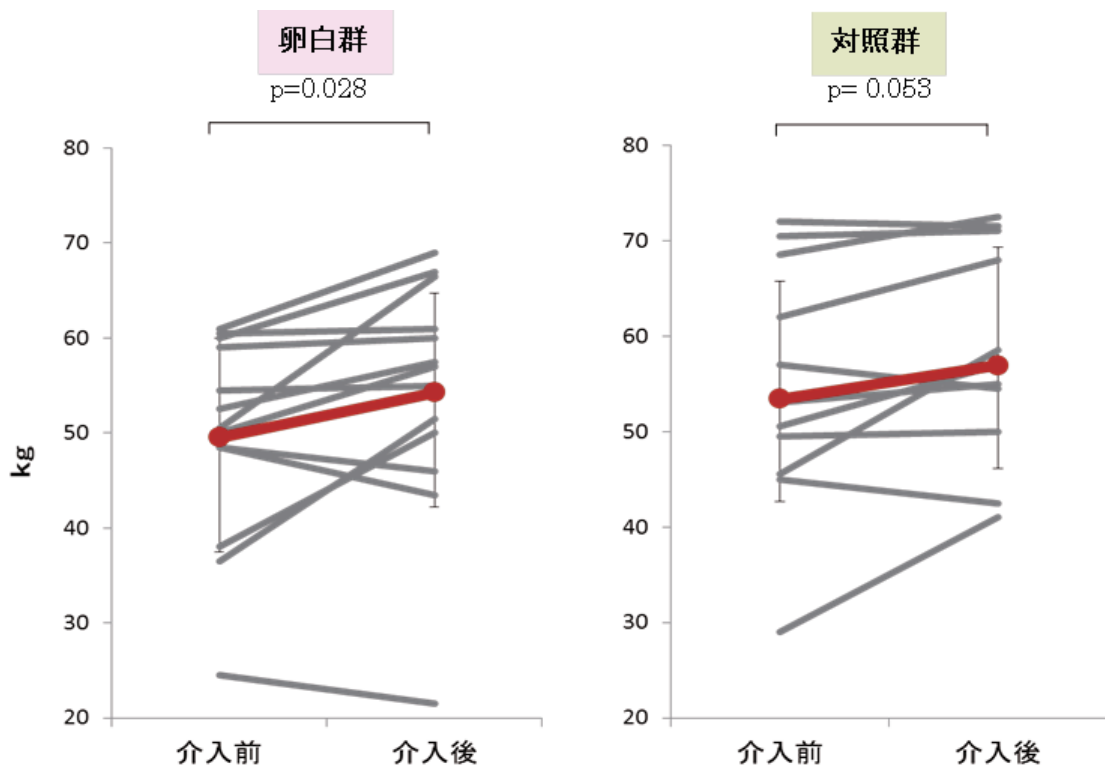


Fig. 5 介入前後の脚伸展パワー(W)の変化量(若年女性)



卵白群		対照群	
介入前	介入後	介入前	介入後
49.5 ± 10.4	54.3 ± 12.1	54.8 ± 12.4	58.3 ± 10.8

平均値 ± 標準偏差

Fig. 6 介入前後の等尺性膝伸展筋力(kg)の変化(若年女性)

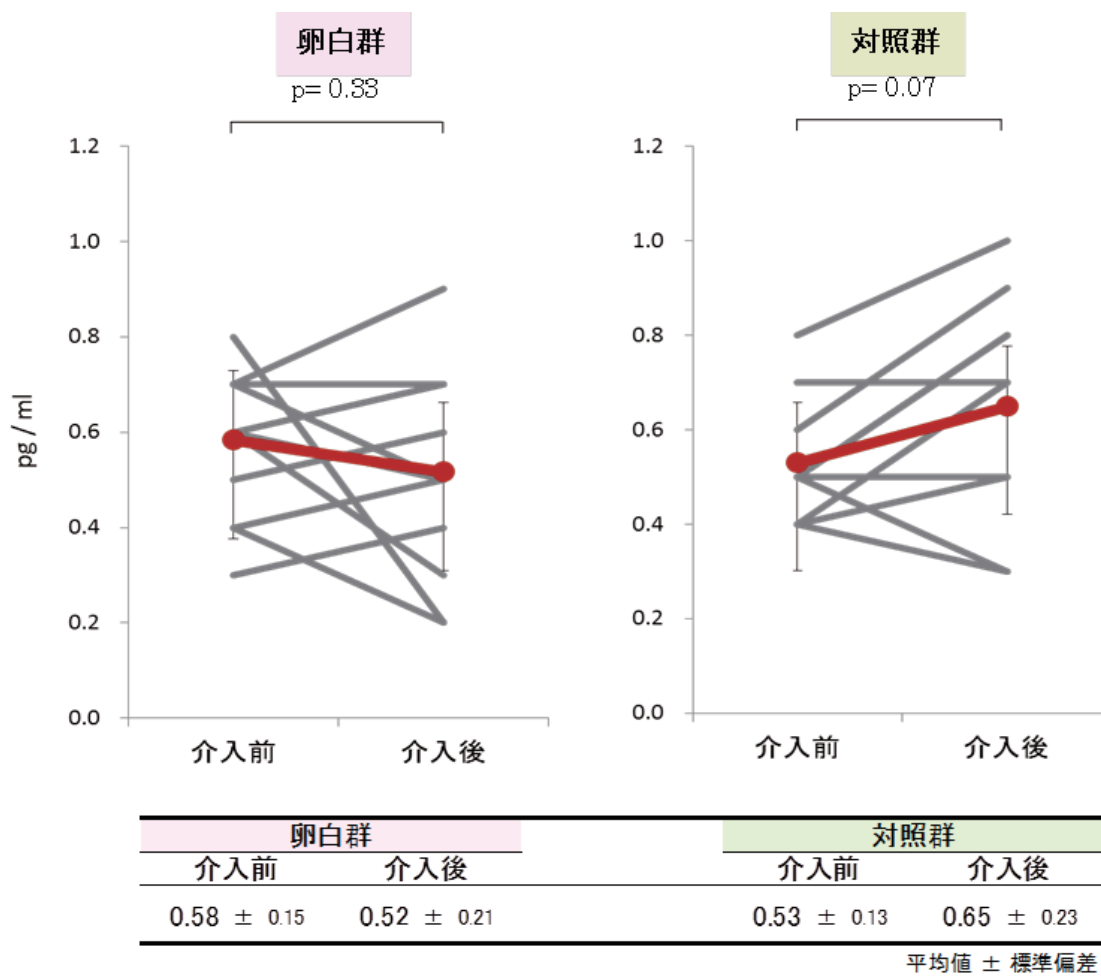


Fig. 7 介入前後の血清 TNF- $\alpha$  の変化(若年女性)

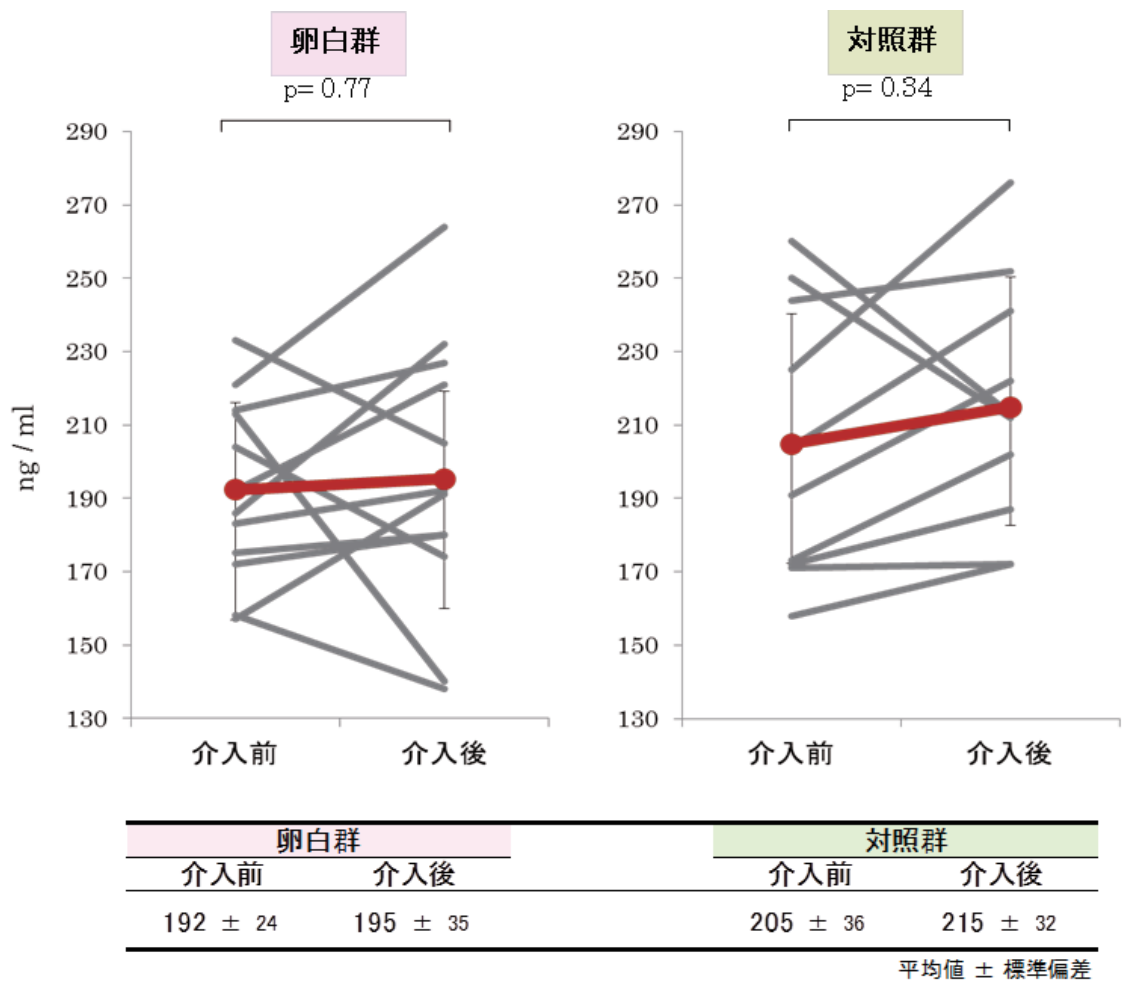


Fig. 8 介入前後の血清 IGF-1 の変化(若年女性)



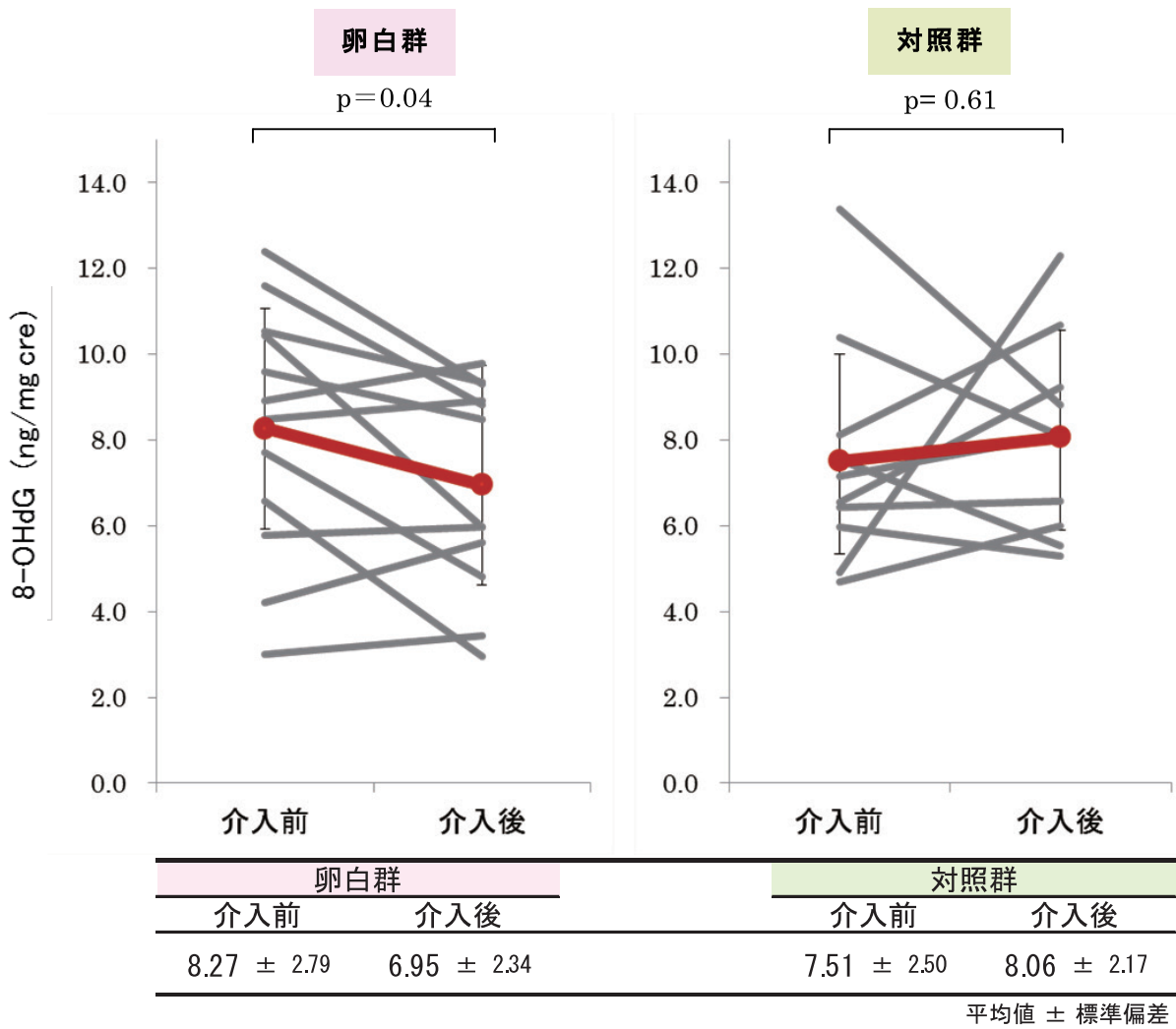


Fig. 9 介入前後の尿中8-OHdGの変化(若年女性)