

絶食下での骨格筋肥大誘導が生体機能に及ぼす影響

山田 茂・松本葉奈乃・藤田 瞳・尾関 彩

食生活科学科 スポーツ栄養学研究室

Effects of skeletal muscle hypertrophy induction with fasting on the biological functions

Shigeru YAMADA, Hanano MATSUMOTO, Hitomi FUJITA and Aya OZEKI

Department of Food and Health Sciences, Jissen Women's University

Hypertrophy of skeletal muscle was observed by resistance training of fasting under this experiment. We thought nutrition should not be overestimated for the training effect. Since, however, evaluation of the biological function as a whole was unclear; analysis of the blood during resistance training on fasting was examined in this experiment.

1. Triglycerides were lower obviously in resistance training under in the fasting state.
2. Urea nitrogen was lower by resistance training in the fasting state.
3. Cholinesterase increased by resistance training.
4. ALD and AST were increased by the resistance training with or without fasting.
5. Albumin was significantly increased by the resistance-training group of ants meal.

As a result of the above, obvious change was observed in the indicators of renal function and liver function. The resistance training in fasting was found to affect the biological functions. However, further study is required for these indicators.

Key words : muscle hypertrophy, nutrition, resistance training, blood

I. 緒言

階級制のスポーツや審美性を競うスポーツさらにはダイエットなどにおいては絶食、断食、カロリー制限など十分な栄養を取らずに体重の減少を引き起こし様々な、生体の臓器組織の変化を引き起こしている可能性が考えられる。例として貧血・摂食障害・生理不順などが上げられる。

昨年⁽¹⁾の報告で著者らは、運動による骨格筋の肥大誘導に栄養摂取は必須な要因でないことを示した。即ち、一般的にトレーニング効果を生むためには栄養素を必要量摂取することが必須であると信じられているが、著者らが絶食状態でマウスにレジスタンストレーニングを施した際、明らかに骨格筋の肥大が観察された。従って、骨格筋肥大を目的としたトレーニングに、栄養が必須な要因でないことが理解される。また、骨格筋以外の臓器組織の影響について検討した結果、心臓においては絶食の影響は観察されなかった。同様に肝臓と脾臓の重量への影響も観察されなかつ

た。しかしながら、腎臓においては絶食の影響が観察され絶食によって重量は増加した。このように絶食に伴ない臓器への重量へ影響は異なる。

そこで、著者らは昨年⁽¹⁾に加え、血液成分を検査し、絶食下でのレジスタンストレーニングが臓器組織に及ぼす影響について検討した。

II. 実験方法

- a) 動物: ICR マウス (リタイアマウス) を 20 匹 (体重 27.2g ~ 34.4g) 使用した。日本クレア株式会社より購入した。
- b) マウスのグループ分け:
 - ①食餌ありテノトミーなしグループ 5 匹 (以後 D-NT)
 - ②食餌なしテノトミーなしグループ 5 匹 (以後 ND-NT)
 - ③食餌ありテノトミーありグループ 5 匹 (以後 D-T)

④食餌なしテノトミーありグループ 5匹 (以後 ND-T)

c) 運動負荷法: 運動負荷法は先の実験同様、Denny-Brown (1961) が開発したテノトミー法を用いた。

d) 飼育環境: マウスは室温 $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の環境下で個別にケージで飼育した。

e) 飲料水: 飲料水は純水 (正起薬品工業株式会社) を使用し、自由摂取とした。

f) 食餌: 食餌は MF (オリエンタル酵母) を使用し、食餌ありグループは自由とし、食餌なしのグループはテノトミー翌日から、絶食とした。

g) 採血法

採血はトレーニング 1 週間後に心臓穿刺法で行った。ペントバルビタールナトリウム (ソムノペクテン 共立製薬株式会社) を投与し全身麻酔下で採血を行った。ヘパリン管に採血後、遠心分離し、血清を採取し、生化学的検査を行った。

h) 測定項目と分析法:

総蛋白 (ビウレット法)、A/G 比 (BCG/ ビウレット法)、総ビリルビン (酵素法)、総コレステロール (酵素法) トリグリセライド (GPO・HDAOS 法、グリセリン消去法) 尿素窒素 (UV 法)、クレアチニン (酵素法)、AST (JSCC 標準化対応法)、ALT (JSCC 標準化対応法)、LD (JSCC 標準化対応法)、ALP (JSCC 標準化対応法)、アルブミン (BCG 法)、コリンエステラーゼ (酵素法)、間接ビリルビン (酵素法)

h) 統計的処理: Tukey 法を用い、平均値間の有意性について検定した。P < 0.05 を有意とした。

III. 結果

A) 総タンパク質量

図 1 に示すよう総蛋白量の平均を ND-NT グループと ND-T グループを比較すると統計的な有意差がみられ、ND-NT グループで低い値を示した。

B) A/G 比

図 2 に示すように A/G 比の平均値を D-NT グループと ND-NT グループを比較すると統計的に有意差がみられ、ND-NT グループで高い値を示した。また ND-NT グループと ND-T グループ間にも統計的に有意差がみられ ND-NT グループで高い値を示した。

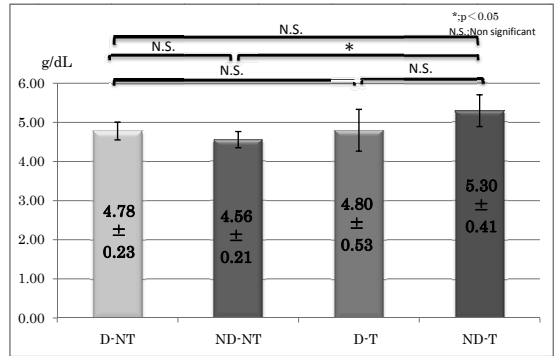


図 1. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清総蛋白量に及ぼす影響

D-NT 食事あり運動 (テノトミー) なし
 ND-NT 食事なし運動なし
 ND-T 食事なし運動あり
 D-T 食事あり運動あり

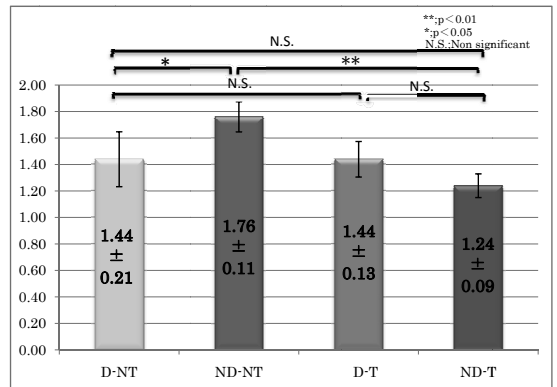


図 2. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清 A/G 比値に及ぼす影響

C) 総ビリルビン

総ビリルビンはどのグループの平均値間にも有意差は見られなかった。

D) 総コレステロール

図 3 に示すように総コレステロールの平均値を D-T グループと ND-T グループで比較すると統計的な有意差が見られ、ND-T グループで高い値を示した。

E) トリグリセライド

図 4 に示すようにトリグリセライドの平均値を ND-NT グループと ND-T グループで比較すると統計的な有意差が見られ、ND-T グループで高い値を示した。また D-T グループと ND-T グループ間に

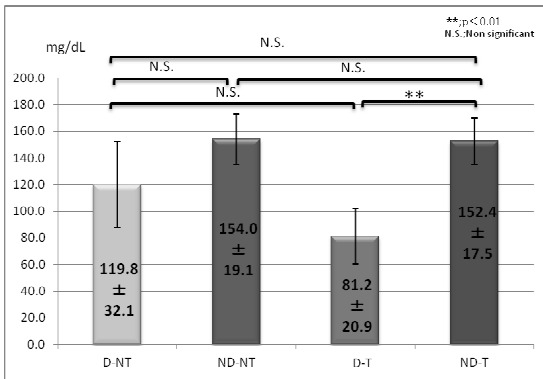


図 3. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清総コレステロールに及ぼす影響

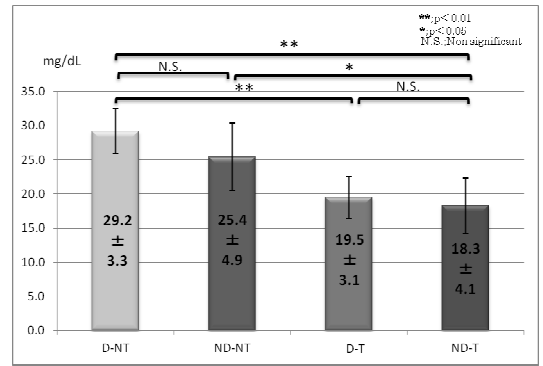


図 5. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清尿素に及ぼす影響

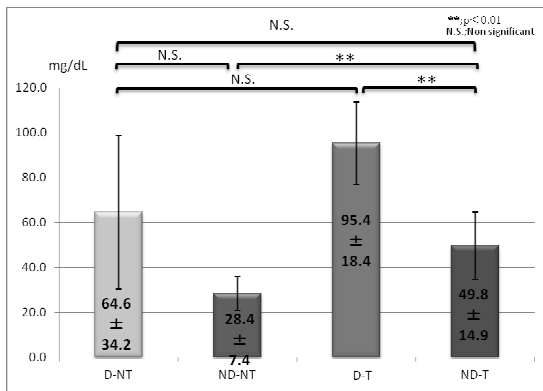


図 4. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清トリグリセリドに及ぼす影響

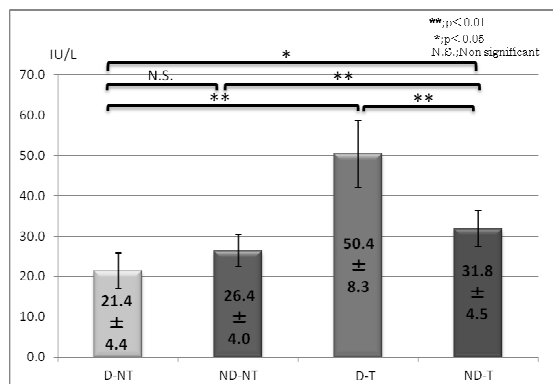


図 6. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清コリンエステラーゼに及ぼす影響

も統計的に有意差が見られ、D-T グループで高い値を示した。

F) 尿素

図 5 に示すように尿素的平均値を D-NT グループと D-T グループで比較すると統計的な有意差が見られ、D-NT グループで高い値を示した。また D-NT グループと ND-T グループ間にも統計的な有意差が見られ、D-NT グループで高い値を示した。さらに ND-NT グループと ND-T グループ間にも統計的な有意差が見られ ND-NT グループで高い値を示した。

G) クレアチニン

クレアチニンはどのグループの平均値間にも有意

差は見られなかった。

H) コリンエステラーゼ

図 6 に示すようにコリンエステラーゼの平均値を D-NT グループと D-T グループで比較すると統計的な有意差が見られ、D-T グループで高い値を示した。また D-NT グループと ND-T グループ間にも統計的な有意差が見られ、ND-T グループで高い値を示した。さらに、ND-NT グループと ND-T グループ間にも統計的な有意差が見られ、ND-T グループで高い値を示した。同様に D-T グループと ND-T グループ間にも統計的な有意差が見られ、D-T グループで高い値を示した。

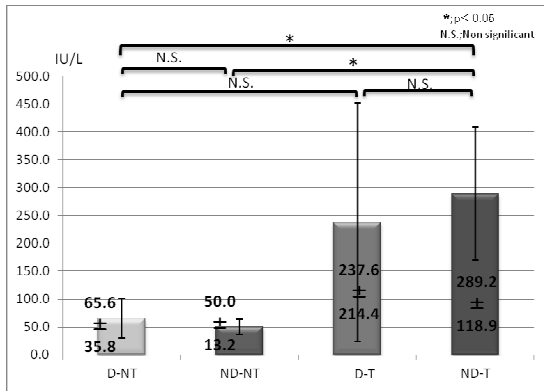


図7. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清ASTに及ぼす影響

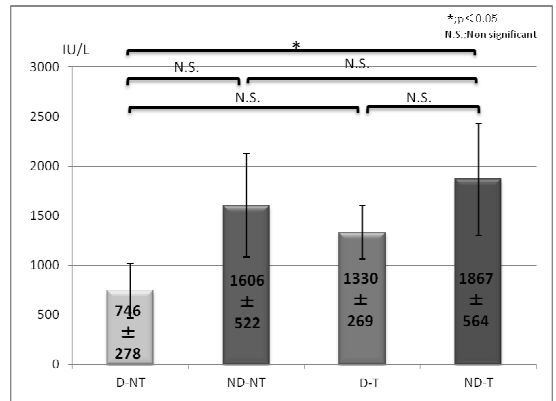


図9. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清LDに及ぼす影響

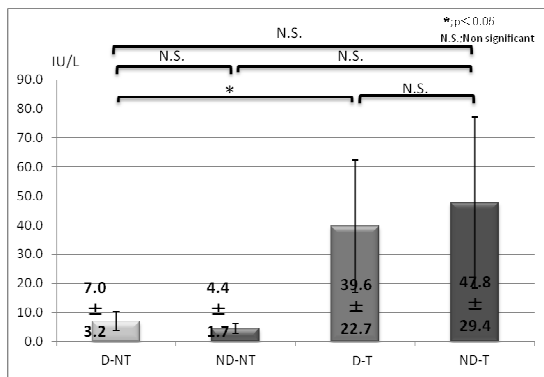


図8. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清ALTに及ぼす影響

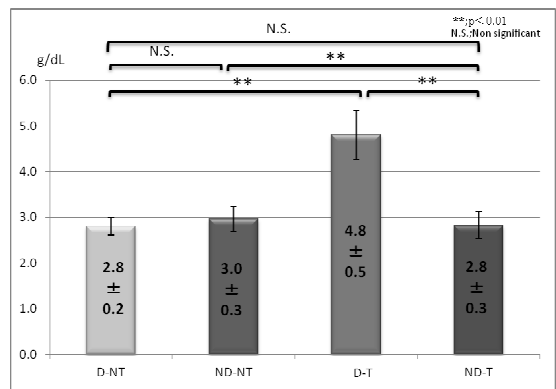


図10. 絶食下での骨格筋肥大誘導が血清アルブミンに及ぼす影響

I) AST

図7に示すようにASTの平均値をD-NTグループとND-Tグループで比較すると統計的に有意差が見られ、ND-Tグループで高い値を示した。またND-NTグループとND-Tグループ間にも統計的有意差が見られ、ND-Tグループで高い値を示した。

J) ALT

図8に示すようにALTの平均値をD-NTグループとD-Tグループで比較すると統計的有意差が見られ、D-Tグループで高い値を示した。

K) LD

図9に示すようにLDの平均値をD-NTグループとND-Tグループで比較すると統計的有意差が見ら

れ、ND-Tグループで高い値を示した。

L) ALP

ALPはどのグループの平均値間にも有意差は見られなかった

M) アルブミン

図10に示すようにアルブミンの平均値をD-NTグループとD-Tグループで比較すると、統計的有意が見られ、D-Tグループで高い値を示した。またND-NTグループとND-Tグループ間にも統計的有意差が見られ、ND-NTグループで高い値を示した。さらに、D-TグループとND-Tグループ間にも統計的有意差が見られ、D-Tグループで高い値を示した。

N) 間接ビリルビン

間接ビリルビンは、どのグループの平均値間にも有意差は見られなかった。

IV. 考察

今回の実験で興味深いことは絶食にも関わらず、レジスタンストレーニングによって総タンパク量が増加したことである。その A/G 値をみると明らかに増えたのはグロブリンであることがわかる。すなわち絶食によって肝機能が低下しアルブミンの減少と共に総タンパク質の減少が予想されたが、ND-NT の総タンパク質量は D-NT の値と統計的に有意な差はなく A/G の値は D-NT と比較して有意差がみられた。即ち、絶食によるトレーニングで総タンパク量が増加する原因については不明であるが、今後、絶食とグロブリン量について検討したい。

アルブミン濃度は健常状態ではレジスタンストレーニングによって増加した。アルブミンは肝臓で作られタンパク質栄養状態を反映するために栄養指標マーカーのひとつとされているが、今回の実験では明確な変化は観察されなかった。すなわち、今回の実験で絶食だけの影響をみるとアルブミンは減少しなかった。一般的にアルブミンは肝臓で合成されるが、レジスタンストレーニングによって骨格筋でアルブミン合成が高まり、血中に放出される可能性があるものと考えられている⁽²⁾。しかしながら、同じレジスタンストレーニングでも絶食時にはアルブミンの増加が観察されなかったことから、その由来については今後検討の余地がある。

ALP は肝臓、骨、胎盤、小腸などに多く含まれることから、これらが炎症をおこした場合などで血中濃度が上昇するが、本実験では大きな変化は観察されなかった。

LD は全身のほとんどの臓器に存在するので注目されるのが、肝臓機能検査や心臓機能検査としての有用性である。肝臓や心臓に炎症やつまりを起こした場合（急性肝炎、慢性肝炎、心筋梗塞など）に血液中に放出され、濃度が上昇する。本実験においては絶食や絶食時のレジスタントトレーニングで増加あるは増加傾向にあることが明らかになった。この原因については肝細胞あるいは心筋細胞の崩壊による細胞からの逸脱によるものと考えられるがその原因については不明で

ある。

AST はレジスタンストレーニングによって増加した。AST は全身の多くの細胞中に含まれており、細胞が壊れたとき、あるいは細胞からの漏出によって血中に放出される。AST は肝臓や心臓に多く含まれることから、これらの細胞が炎症やつまりを起こした場合、血液中に放出され濃度が上昇する。本実験ではレジスタンストレーニングによってその値は増加した。レジスタンストレーニングがない場合には明らかに低値を示した。従ってレジスタンストレーニングが肝臓や心臓にダメージを与える可能性は否定できない。また、骨格筋由来についてもいくつかの報告^(3, 4)があることからその可能性についても検証しなければならない。

ALT はレジスタンストレーニングによって増加あるいは増加傾向を示した。ALT は AST と同様に全身の多くの細胞中に含まれており、細胞が壊れたとき、あるいは細胞からの漏出によって血中に放出される。ALT は肝臓や腎臓に多く含まれることから、これらが炎症やつまりを起こした場合（急性肝炎、慢性肝炎、脂肪肝など）に血液中に放出され濃度が上昇する。一般的には肝臓や腎臓からの由来と考えられているが、骨格筋由来のものもあると報告^(3, 4)されている。少なくとも絶食によって ALT は増加しないことから肝臓や腎臓由来のものは考えにくく、今後の検討が必要である。

コリンエステラーゼはレジスタンストレーニングによって増加した。コリンエステラーゼの大部分は肝細胞で作られ、血中に放出されるため、主に肝機能の検査として用いられている。多くの肝機能検査と異なり、その値が低下する場合に問題が多く、肝ガン、肝硬変で著しく低下する。アルコールの摂取や高カロリー摂取による脂肪肝ではその値が上昇する。本実験において、絶食による影響はないもののレジスタンストレーニングによって増加した。この増加の意味については不明である。今後、研究を進めたい。

クレアチニンはクレアチンまたはクレアチンリン酸として骨格筋に存在するエネルギー源である ATP をエネルギーに変えたときの代謝最終産物である。クレアチニンは腎臓に存在する腎糸球体から濾過され、ほとんど再吸収されることなく尿中に排泄されるため、腎での濾過機能の指標といわれている。本実験におい

ては大きな変化がなかったものの絶食により増加傾向にあった。

尿素窒素はレジスタンストレーニングによって減少した。尿素窒素はクレアチニンや尿酸とともに腎臓の機能を表しその値は様々な要因によって変動する、特に肉などの高タンパク質食摂取時や脱水時に上昇するとされている。本実験においてはレジスタンストレーニングによって積極的な意味での体タンパク質の崩壊はレジスタンストレーニングによって誘導されていないものと考えられる。逆に、レジスタンストレーニングによって体タンパク質の崩壊は抑制されるものと考えられる。また絶食の尿素窒素濃度への影響は観察されなかった。

トリグリセリドは、絶食の影響は強く観察され、NDグループで低値を示した。すなわち、トリグリセリドはより積極的にエネルギー源として利用されたものと考えられる。

コレステロールについて同じレジスタンストレーニングであるにもかかわらず

絶食によってその値は増加あるいは増加傾向にあった。逆に正常食の場合は低値を示した。この理由については不明である。

絶食時に間接ビリルビン値は増加傾向にあったが統計的には有意な変化ではなかった。ビリルビンはヘモグロビンが処理されて生成する色素で、生成された間接ビリルビンが、アルブミンと結合して血中を転送され、さらに肝臓でグルクロン酸抱合され、直接ビリルビンとなって肝臓より胆汁中に出される。血清総ビリルビンと間接および直接ビリルビンの測定は各種肝・胆道疾患の診断、経過観察、予後判定に用いられている。本実験ではその値に大きな変化がないことから肝機能等に大きな障害があるものとは思われない。しかしながら増加傾向にあることから例数を増やし今後検討しなければならない。

まとめ

本実験は絶食下のレジスタンストレーニングによって骨格筋の肥大がみられることから少なくとも栄養の影響はトレーニング効果に対して過大に評価すべきでないと考えられるが、生体の機能全体に対する評価については不明であった。そこで本実験ではレジスタンストレーニング時の血液を分析し、絶食下でのトレー

ニングが生体に及ぼす影響について検討した。特に大きく変化したものを下記に示した。

1. 絶食下でのレジスタンストレーニングで明らかにトリグリセリドは低値を示した。
2. 絶食下でも尿素窒素はレジスタンストレーニングによって低値を示した。
3. コリンエステラーゼはレジスタンストレーニングによって増加した。
4. AST と ALD は絶食の有無に関わらずレジスタンストレーニングによって増加した。
5. アルブミンは食事ありグループのレジスタンストレーニングによって統計的に有意に増加した。

以上の結果、明らかに肝機能や腎機能の指標に変化が認められ、絶食下でのレジスタンストレーニングが生体機能に影響を及ぼすことが判明した。しかしながらこれらの指標についてはさらなる検討が要求される。

参考文献

- 1) 山田 茂、大橋 文、尾関 彩、木崎恵梨子
絶食が高齢マウスの骨格筋肥大に及ぼす影響
実践女子大学生生活科学部 紀要 第50号 157-161
2013年
- 2) Yamada,S.,Tomino,S.,Izumi,S and Akino,M.
Purification, molecular properties and biosynthesis of a specific protein component induced under compensatory hypertrophy in the rat skeletal muscle (1984) Biochem. Biophys.Acta 798 260-267
- 3) Rahul A. Nathwani, Shireen Pais, Telfer B. Reynolds, and Neil Kaplowitz
Serum Alanine Aminotransferase in Skeletal Muscle Diseases HEPATOLOGY 2005;41:380-382.)
- 4) Janssen GME, Kuipers H, Willems GM, Does RJMM, Janssen MPE, Geurten P. Plasma activity of muscle enzymes. Quantification of skeletal muscle damage and relationship with metabolic variables. Int J Sports Med 1989;10:S123-S128.