

絶食時のレジスタンストレーニングが骨格筋及び その他臓器組織重量に及ぼす影響

山田 茂・村松敬子・木崎恵梨子・大橋 文

食生活科学科 スポーツ・栄養学研究室

Influence Which Resistance Training at the Time of a Fast Has
on Skeletal Muscle and the Weight of Each Internal Organ

Shigeru YAMADA, Keiko MURAMATSU, Eriko KIZAKI and Aya OHASHI

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

Experiments were conducted as part of research into the nutrition at the time of resistance training. Animals were used 20 female ICR mice. As a muscle hypertrophy model, the tenotomy method which Denny-Brown developed was used. The mice were classified into four groups (five in each group). ① Food intake and tenotomy group, ② Food intake and non-tenotomy group ③ Non-food intake and tenotomy group ④ Non-food intake and non-tenotomy group The experiment was conducted for five days. The mice were kept in individual cages at a room temperature of 24°C. Drinking water was given freely. Non-food intake group was put on a fast from next day after the tenotomy. Five days later, mice were sacrificed by blood removal under anesthesia, and then each of the organs and tissues were collected from each mouse. As a result of considering the influence of fasting on the hypertrophy rate of a soleus and plantaris muscle, the statistical significant difference between the average value of each muscle weight was not seen.

The result compared each organ weight of Food intake and tenotomy group, and non-food intake and tenotomy group, Significant difference was observed between the mean values of groups, non-food intake and tenotomy group were lower. The result compared each organ weight of Food intake and non-tenotomy group, and non-food intake and non-tenotomy group, significant difference was observed between the mean values of both groups, And non-food intake and non-tenotomy group were lower. As for brain weight, the significant difference was not seen between the average value of the four groups. Form the above experimental results, the presence of food has not been implicated in skeletal muscle hypertrophy, but the increase or decrease the weight of each organ were found to be significantly involved.

Key words : Fasting (絶食), Tenotomy (腱切除), Muscle Hypertrophy (筋肥大), Soleus (ヒラメ筋), Plantaris (足底筋)

I . はじめに

筋肥大に対する栄養摂取と運動の効果は不可分であると考えられているが詳細な研究はなされていない。筋力トレーニングに対する栄養のポジティブ効果を科学的に解析するためには次のような仮説に基づく基本的な研究が要求される。①筋トレーニング効果は栄養摂取に左右されない。すなわち、トレーニングの身体に及ぼす効果と栄養の身体に及ぼす効果とは別の次元

である。②トレーニング効果は栄養摂取に依存する。すなわち栄養素の摂取がなければトレーニング効果を観察することができない。②の場合にはよりきめ細かにトレーニング内容と栄養素の役割についての研究が要求される。

筋肥大を引き起こすようなトレーニングの場合、筋繊維の肥大に伴うタンパク質合成や筋繊維増殖に伴う細胞分裂に多くの栄養素やエネルギーが要求される。

一般的に人の場合体重1kgあたり1.5gから2gのタンパク摂取量が推奨されている。すなわち、これ以上に、多量にタンパク質を摂取しても筋肥大には効果的でなく、アミノ酸として排泄されてしまう。タンパク質量の摂取必要量は基本的に生体臓器組織に対する運動の負担度を軽減する意味ありと、窒素出納のバランスを維持する狙いがある。また、骨格筋肥大は必ずしも運動をすることによって誘導されるものではなく、ある程度の負荷強度、負荷時間と負荷頻度が要求される。このように筋肥大と栄養素の摂取に関しては一定のコンセンサスを得たようであるが、栄養素としてのロイシン¹⁾やアルギニン²⁾など単独でタンパク質合成を促すことも知られ、必ずしもタンパク質の必要量に限らない知見も得られている。

そこで著者らは、今回、筋肥大の効果に栄養がどのように関与するか、その手始めとして絶食条件下で筋力トレーニングが骨格筋と各臓器組織重量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（雌性リタイアマウス）を20

匹（体重27.2g～34.4g）を使用した。（日本クレア株式会社）

b) 運動負荷法：実験はDenny-Brown（1961）が開発したテノトミー法を用いた。（図1）

c) マウスのグループ分け：

- ① 食餌あり・腱切除施行グループ（Aグループ）
- ② 食餌あり・腱切除無施行グループ（Bグループ）
- ③ 食餌なし・腱切除施行グループ（Cグループ）
- ④ 食餌なし・腱切除無施行グループ（Dグループ）

d) 飼育環境：マウスは室温22℃の環境下で個別にケージで飼育した。

e) 飲料水：飲料水は精製水（正起薬品工業株式会社）を使用し、自由摂取とした。（図2）

f) 食餌：食餌にはMF（オリエンタル酵母社製）を使用した。（図3）、食餌ありグループは自由摂取とし、食餌なしのグループは腱切除翌日から、絶食とした。

g) 骨格筋・心臓・腎臓・肝臓・脾臓・脂肪・脳の採取：食餌ありグループ（①・②）は腱切除施行後、7日目に、食餌なしグループ（③・④）は腱切除後、翌日から絶食を開始し5日後に、麻酔下で脱血

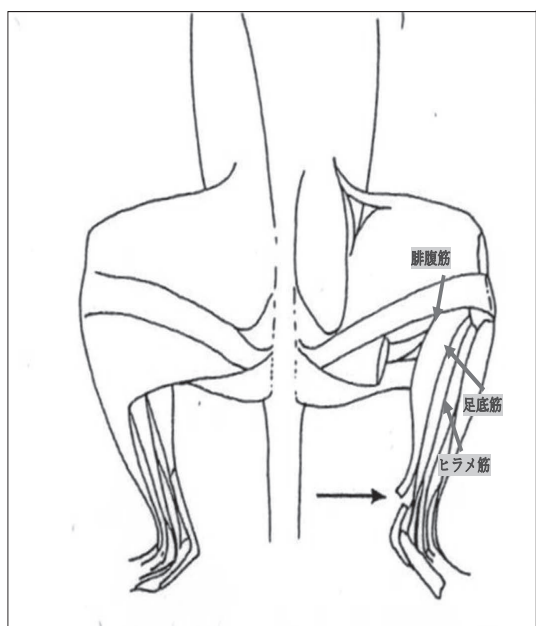


図1 マウスの腱切除術（テノトミー）

項目	規格
強熱残留物	0.005%以下
硫酸イオン	0.0001%以下
アンモニウムイオン	0.0001%以下
塩素	0.0001%以下
鉄	0.0001%以下
ヒ素	検出しない
マンガン	検出しない
銅	検出しない
ニッケル	検出しない
鉛	検出しない
その他の重金属	検出しない
過マンガン酸カリウム還元物	0.00001%以下
Ph	5.6～6.2
比抵抗	1.0～1.5MΩ・cm
外観	無色透明
その他	

図2 精製水の組成（生起薬品工業株式会社より）

後、屠殺してヒラメ筋と足底筋、心臓・腎臓・肝臓・脾臓、脂肪、脳をそれぞれ摘出し、重量を電磁式ばかり(研精工業株式会社)を用いて計測した。

- h) 肥大率の計算方法: 右脚重量から左脚重量を引き、左脚重量で除したものに 100 を掛け、計算した。
- i) 統計的処理: T 検定法を用い、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. 実験結果

1. レジスタンストレーニングを行った場合、ヒラメ筋重量に及ぼす食餌の影響

図4はレジスタンストレーニングを行った場合、食餌の有無が遅筋であるヒラメ筋重量に及ぼす影響について示したものである。食餌ありグループと食餌なしグループに分け、共に左脚筋重量を対照筋とした。食餌ありグループの対照筋の平均値は 9.2mg、右脚筋重量の平均値は 16.2mg であった。左右の筋重量の平均値間には統計的に 1% で有意差が認められた。食餌なしグループも、対照筋の筋重量平均値は 7.0mg、右脚筋重量の平均値は 12.8mg で、左右の筋重量の平均値間に統計的に 1% で有意差が認められた。従って、このモデルにおいては、食餌ありグループ・食餌なしグループ共に、左脚よりも腱切除を施行し、レジスタンストレーニングを行った右脚のヒラメ筋の重量が増加した。

項目	規格
水分	7.7g
粗蛋白質	23.6g
粗脂肪	5.3g
カロリー	360kcal
カルシウム	1.12g
リン	0.9g
ナトリウム	0.21g
マグネシウム	0.26g
カリウム	0.99g
亜鉛	5.28mg
アスパラギン酸	2.14g

図3 MF 組成 (オリエンタル酵母株式会社より)

※基本項目とこの実験で考慮する項目を抜粋

図5はレジスタンストレーニングを行った場合、遅筋であるヒラメ筋の肥大率に及ぼす影響について示した。

2. ヒラメ筋肥大率に及ぼす食餌の影響

図5はレジスタンストレーニングを行った場合、遅筋であるヒラメ筋の肥大率に及ぼす影響について示した。

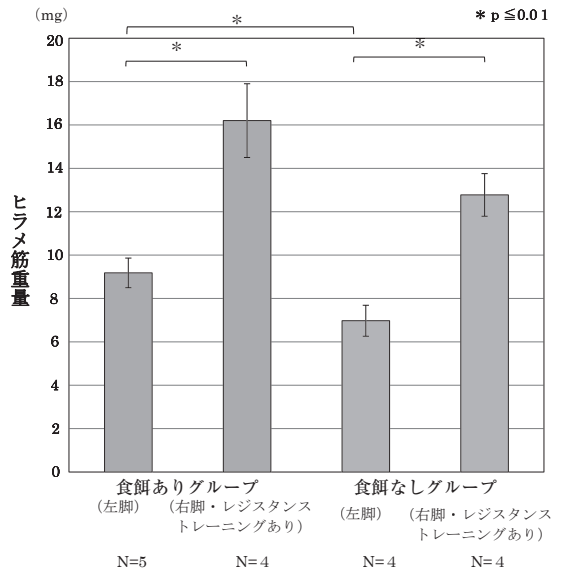


図4 ヒラメ筋重量に及ぼす食餌の影響

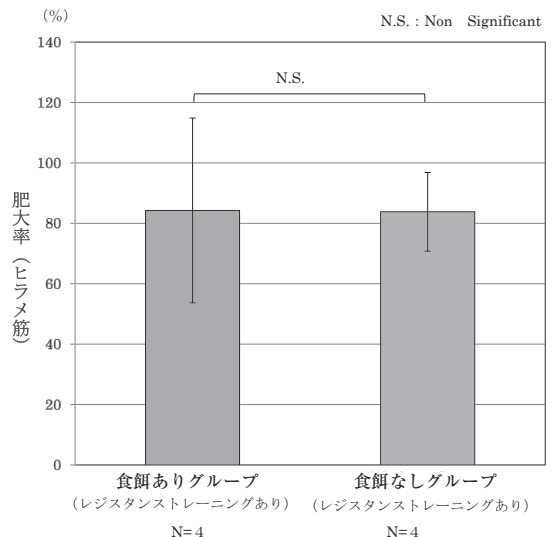


図5 ヒラメ筋肥大率に及ぼす食餌の影響

たものである。対照グループは食餌ありグループとする。対照グループの肥大率平均値は84.28%、食餌なしグループの肥大率平均値は83.82%であった。両グループの平均値間に統計的に有意差は認められなかった。従ってこのモデルにおいては、レジスタンストレーニング後のヒラメ筋肥大率に影響を与えないという事が分かった。

3. レジスタンストレーニングを行った場合、足底筋重量に及ぼす食餌の影響

図6はレジスタンストレーニングを行った場合、食餌の有無が速筋である足底筋重量に及ぼす影響について示したものである。食餌ありグループと食餌なしグループに分け、共に左脚筋重量を対照筋とした。食餌ありグループの対照筋の平均値は17.5mg、右脚筋重量の平均値は23.7mgであった。左右の筋重量の平均値間には統計的に1%で有意差が認められた。食餌なしグループも、対照筋の筋重量平均値13.1mg、右脚筋重量の平均値16.9mg、左右の筋重量の平均値間に統計的に1%で有意差が認められた。従って、このモデルにおいては、食餌ありグループ・食餌なしグループ共に、左脚よりもレジスタンストレーニングを行った右脚の足底筋重量が増加した。

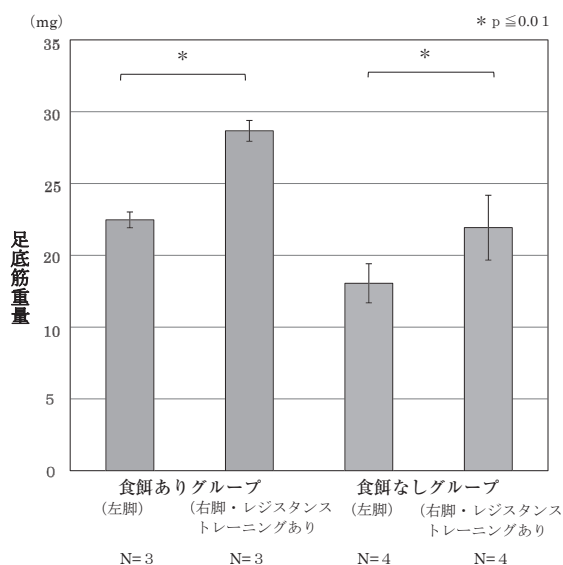


図6 足底筋重量に及ぼす食餌の影響

4. 足底筋肥大率に及ぼす食餌の影響

図7はレジスタンストレーニングを行った場合、速筋である足底筋の肥大率に及ぼす影響について示したものである。対照グループは食餌ありグループとする。対照グループの肥大率平均値は35.59%、食餌なしグループの肥大率平均値は29.4%であった。両グループの平均値間に統計的に有意差は認められなかった。従ってこのモデルにおいては、レジスタンストレーニング後の足底筋肥大率に影響を与えないということが判明した。

5. 骨格筋以外の臓器組織重量に及ぼす食餌とレジスタンストレーニングの影響

食餌とレジスタンストレーニングの有無が心臓重量に及ぼす影響について検討した。Aグループの平均重量は0.16g、Bグループの平均重量は0.15g、Cグループの平均重量は0.12g、Dグループの平均重量は0.11gであった。食事の影響について検討すると、食事なしのグループは統計的に有意に低値を示した。しかしながら、レジスタンストレーニングの有無は心臓重量に影響を及ぼさなかった。

同様に食餌とレジスタンストレーニングの有無が腎臓重量、肝臓重量、脾臓重量、脂肪組織重量、脳重量

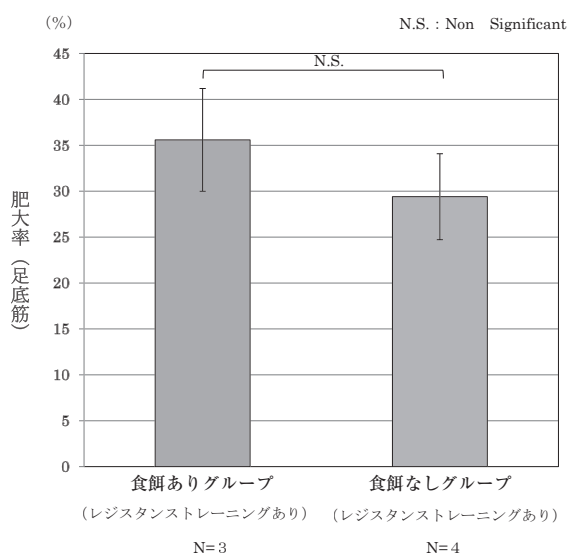


図7 足底筋肥大率に及ぼす食餌の影響

に及ぼす影響について検討した。腎臓重量においては A グループの平均重量は 0.4g、B グループの平均重量は 0.45g、C グループの平均重量は 0.35g、D グループの平均重量は 0.33g であった。対照グループを A グループとした場合、食事の影響について検討すると、食事なしのグループは統計的に有意に低値を示した。しかしながら、レジスタンストレーニングの有無は腎臓重量に影響を及ぼさなかった。

肝臓重量においては、A グループの平均重量は 1.51g、B グループの平均重量は 1.37g、C グループの平均重量は 0.89g、D グループの平均重量は 0.73g であった。食事の影響について検討すると、食事なしのグループは統計的に有意に低値を示した。しかしながら、レジスタンストレーニングの有無は肝臓重量に影響を及ぼさなかった。

脾臓重量において、A グループの平均重量は 0.17g、B グループの平均重量は 0.14g、C グループの平均重量は 0.07g、D グループの平均重量は 0.05g であった。対照グループを A グループとした場合、食餌の有無は脾臓重量に大きく影響を及ぼすが、レジスタンストレーニングの有無は脾臓重量の増減に影響を及ぼさなかった。

脂肪重量においては、A グループの平均重量は 0.57g、B グループの平均重量は 0.73g、C グループの平均重量は 0.05g、D グループの平均重量は 0g であった。対照グループを A グループとした場合、食餌の有無は脂肪重量の増減に影響を及ぼすが、レジスタンストレーニングの有無は脂肪重量に影響を及ぼさないことが判明した。

脳重量においては、A グループの平均重量は 0.43g、B グループの平均重量は 0.46g、C グループの平均重量は 0.45g、D グループの平均重量は 0.45g であった。対照グループを A グループとした場合、食餌の有無に関係なく、また、レジスタンストレーニングの有無に関係なく、脳重量には影響を及ぼさなかった。

IV 考察

本実験では絶食条件下で筋力トレーニングが骨格筋と各臓器組織の重量に及ぼす影響について検討した。絶食時のトレーニングが筋量に及ぼす影響について考察すると、絶食が筋肥大率に影響を及ぼさないことが判明した。すなわち、栄養を摂取しなければ運動の効

果がないという仮説は棄却された。また、速筋と遅筋では、その様子が異なり、遅筋であるヒラメ筋では、明らかに絶食においても筋肥大が観察された。しかしながら、食事ありグループと食事なしグループの対照筋の重量を比較すると明らかに食事なしグループで低値を示した。このことから、絶食の影響は筋の正常な発達に大きな影響を及ぼすものと考えられる。速筋の場合は遅筋と同様、食事ありグループと食事なしグループの肥大率に差がなかったが、各グループの対照筋には大きな差がみられた。また、食事なしグループの肥大筋の平均重量は食事ありグループの対照筋重量に比較し低い値を示した。すなわち、絶食の影響は遅筋に比べ速筋に強く反映することが本実験で明らかになった。この速筋と遅筋の違いは、その特性によるものと思われる。遅筋は主に体を常時支える活動に参加し、速筋は、主に、瞬発的な活動など、随意的な動きに参加する。このような違いが運動の効果として現れたものと思われる。

トレーニングによって臓器組織の重量が変化することは古くから知られている。心重量は持久的な運動によって増加することが報告されている³⁾。また、肝臓重量は一般的に、持久的なトレーニングによって増加することが知られ、その増加は心重量と密接な相関があることも示されている。肝重量の増加は、グリコーゲンの貯蔵やミトコンドリアの増加に起因する^{4, 5)}。脾臓重量に関しては Smodlala の研究によればトレーニングを積むことによって増大することが報告されている⁶⁾。また、脂肪重量は持久的なトレーニングによって減少することが示されている⁷⁾。しかしながら、本実験でのレジスタンス運動では心重量に対する効果は見られなかった。心重量に対しては食事の影響が強く反映した。また、同様に腎臓、肝臓、脾臓、脂肪重量に対しても食事の影響が反映され、レジスタンス運動の影響は観察されなかった。脳の重量は食事の有無にかかわらず重量変化は観察されなかった。脳重量に対する絶食の影響については、他の報告と同様であった。このような結果は、運動の内容によって異なるものと思われる。

今回の運動は腱切除という一般的な筋肥大を誘導する手法を用いたのもので、運動を定量的に行ったものではない。従って、運動の時間、頻度、強度などの内容を定量的に行うことによってより正確な計測ができ

るものと思われる。

謝辞

本論文を作成するに当たり、野上玲子氏にご協力を頂いた、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Nicastro, Humberto¹; da Luz, Claudia R.¹; de Moraes, Wilson M. A. M.²; Ramona, Pamela³; Zanchi, Nelo E.¹; de Siqueira Filho, Mário A.⁴; Medeiros, Alessandra²; Brum, Patricia C.²; Lancha, Antonio H. Jr¹ Effects Of Leucine And Resistance Exercise On Glucocorticoid-induced Muscle Atrophy And Glucose Homeostasis In Rats *Medicine & Science in Sports & Exercise*: May 2011 - Volume 43 - Issue 5 - p 583.
- 2) Chen G, Feng L, Kuang S, Liu Y, Jiang J, Hu K, Jiang W, Li S, Tang L, Zhou Effect of dietary arginine on growth, intestinal enzyme activities and gene expression in muscle, hepatopancreas and intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) . *Br J Nutr*. 2011 Oct 21: 1 - 13.
- 3) Hort, W.: Morphologische und physiologische Untersuchungen an Ratten während eines Lauftrainings und nach dem Training. *Virchows Archiv* 320, 197 (1951).
BEICKERT, A.: Zur Entstehung und Bewertung der Arbeitshypertrophie des Herzens, der Nebenniere und Hypophyse. *Arch. Kreisl. -Forsch.* 21, 115 (1954).
- 4) Thörner, W.: Biologische Grundlagen der Leibeserziehung. Bonn:Dümmler 1966. Zirr, D.: Über Trainingswirkungen auf die Nebennierenrinde. Staatsexamensarbeit aus dem Institut für Leibeserziehung der FU Berlin 1959.
- 5) Schüler, K-P., Schneider, F., Clausnitzer: Wirkung des körperlichen Trainings auf das Stoffwechsel-und endokrine System. *Med.u.Sport* 4 - 6, 117 (1974).
- 6) Smodlaka, V., Jankovic, M., Mellerowicz, H. et al.: Das ergometrisch dosierte Intervall training Zur Rehabilitation nach Herzoperationen. *Kreisl.-Forsch.* 51, 152 (1962).
- 7) Gan SK, Watts GF. Is adipose tissue lipolysis always an adaptive response to starvation?: implications for non-alcoholic fatty liver disease. *Clin Sci (Lond)* . 2008 Apr; 114 (8): 543 - 5.