

= 原著論文 =

ラット下肢骨格筋に対する ジャンプ回数の影響

辻本 尚 弥¹⁾ 鈴木 英 樹²⁾ 梅村 義 久³⁾

Effects of Number for Jumps in Rat Hind Limb Muscle

Hisaya TSUJIMOTO¹⁾, Hideki SUZUKI²⁾, Yoshihisa UMEMURA³⁾

Abstract

The effects of number for jumps on the hind limb muscle was investigated in the 13-week-old female Fischer344 rats. Animals were divided into three groups: sedentary (S; N=7), 40 times jumping training (40J; N=7) group or 100 times jumping training (100J; N=7) group. Animals in J group were trained with vertical jumping (40 cm high, 40 or 100 times/day, 5 days/wk) for 8 weeks. The plantaris muscles (PLA) was subjected to analysis for the protein content, protein concentration and the myosin heavy chain (MyHC) isoform composition.

The PLA weight and the relative PLA weight of group 100J were significantly higher than that of other groups. The protein content of the PLA muscle in group 100J was higher than that of other groups. There was no significant difference in concentration of total protein at all groups. In the MyHC isoform composition of the PLA muscle, type IId and IIa MyHC isoform composition of group 100J was significantly higher than that of other groups. Relatively, type IIb MyHC isoform composition of group 100J was significantly lower than that of other groups. There was no significant difference in group 40J at all type MyHC isoform composition.

These results indicate that there is the effective training threshold of the number of jumps in rat PLA muscle.

Key words : ジャンプトレーニング、ミオシン重鎖、F344雌ラット、タンパク含量、足底筋

jumping training, Myosin heavy chain, F344 female rat, protein content, plantaris muscle

緒 言

ジャンプトレーニングは、短時間で爆発的な筋力発揮を必要とするハイパワーなトレーニングである^{1) 4)}。またジャンプトレーニングは、骨に対して大きな衝撃を与えることから、骨に対するトレーニングとして注目され、多くの報告がなされてい

る^{5) 12)}。これまで我々は、ジャンプトレーニングの筋に対する効果に注目し、実験動物を用いて、骨格筋の重要な収縮タンパク質であるミオシン重鎖(Myosin heavy chain; MyHC) アイソフォーム構成比について検討してきた^{3) 15)}。MyHC 構成比は、成熟した6ヶ月齢及び12ヶ月齢のラット前脛骨筋では、対照群に比べてジャンプトレーニング群でタイ

1) 久留米大学 健康・スポーツ科学センター

2) 愛知教育大学 保健体育

3) 中京大学 体育学部

プ IibMyHC 構成比が有意に減少し、タイプ IId MyHC 構成比が有意に増加することを観察した¹³⁾¹⁴⁾。また成熟した 6 ヶ月齢ラット足底筋でも同様に、対照群に比べてジャンプトレーニング群で、タイプ IibMyHC 構成比の有意な減少とタイプ IIdMyHC 構成比の有意な増加を観察している¹⁵⁾。これらの研究では、高さ40cmへの跳び上がりを 1 日100回、週に 5 日という条件で行っている。ジャンプトレーニングの運動強度は跳び上がる高さと同回数で決定することができる。骨に対するトレーニングではジャンプの跳び上がる高さ⁵⁾⁷⁾により、あるいはジャンプ回数の違い⁷⁾により、その効果が異なる事が報告されている。

そこで、本研究では、ジャンプトレーニング回数の骨格筋に対する効果を、MyHC のアイソフォーム構成比の変化より検討した。

方 法

実験動物として生後13週齢の Fischer344系雌ラット21匹を用いた。飼育は室温 22 ± 1 、湿度 60 ± 5 %、昼夜逆転した12時間の明暗サイクルの環境下で行った。飼料は固形飼料 CE-2 (日本クレア) を用い、飲水とともに24時間自由摂取とした。なお、実験動物の取り扱いについては「実験動物の飼育及び保管等に関する基準」に沿って行った¹⁶⁾¹⁷⁾。

ジャンプ回数に対する骨格筋の適応変化を観察するために対照群 (sedentary group; S群)、40回ジャンプトレーニング群 (40-times jumping training group; 40J 群) および100回ジャンプトレーニング群 (100-times jumping training group; 100J 群) を設けた。40J 群と100J 群には、1 週間の予備トレーニング後 5 週齢から 8 週間ジャンプトレーニングを実施した。トレーニングは高さ40cmへの跳び上がりを 1 日それぞれ40回と100回、週 5 日の頻度で行った。ラットはトレーニング期間終了後に麻酔下にて頸動脈より放血し屠殺した。その後、心臓、肝臓と足底筋を摘出した。各組織の重量を測定した後、組織はただちに液体窒素により冷却したイソペンタン中で瞬間凍結し、生化学的分析を行うまで 60 日の冷凍庫で保存した。なお今回被験筋として用いた足底筋は、腓腹筋と同様にジャンプ運動において動員される事が Smith ら¹⁸⁾、Walmsley ら¹⁹⁾及び Gardiner ら²⁰⁾が報告している。

保存していた足底筋は分析時に筋中央部にて横方向に二分し、一方を蛋白質定量分析のために保存し、

もう一方をミオシン重鎖構成比の分析に供した。蛋白質定量分析のため、筋を Tsika ら²¹⁾の方法に従いホモジナイズした。次に、総蛋白濃度測定のためサンプルを分取した。蛋白濃度の測定後、筋重量と総蛋白濃度より総蛋白含量を算出した。次に MHC アイソフォーム構成比の変化を調べるため、Bar と Pette の方法²²⁾により粗ミオシンを抽出し蛋白量を調整した後、変性剤を添加し 56×10^6 で10分間インキュベートし変性させた。MyHC アイソフォームの分離は、SDS 存在下の電気泳動法 (SDS-PAGE) にて分離を行った²³⁾。泳動はマイクロスラブ電気泳動装置 (KS 8020型: マリソル) を用いて行った。泳動は変性サンプル $5 \mu\text{l}$ を泳動溝にのせ開始した。濃縮ゲル中は50V、マーカー色素が完全に分離ゲルに入ってから150Vで行った。泳動時間はマーカー色素が分離ゲルに入ってから15時間とした。泳動後ゲルは銀染色 (銀染色キットワコー: 和光純薬) を施しタンパク質を可視化した。MyHC アイソフォームの同定は、全ての MyHC アイソフォームを含むように腓腹筋と横隔膜筋、ヒラメ筋より抽出し調整された粗ミオシン混合溶液を、被験溶液と同じスラブゲルの他列に同時に流して得られたパターンの移動距離を規準として行った²³⁾。

測定と分析により得られた値から平均と標準誤差を算出した。統計的処理は分散の検定には Bartlett 法を、平均値の検定については一元配置分散分析法を用いた。各群間の平均値の差の検定には統計量を t 値とする Ryan 法²⁴⁾を用いた。なお、全ての検定において有意水準は 5% ($p < 0.05$) とした²⁵⁾。

結 果

Table1には、各群の体重、足底筋重量、相対的足底筋重量および足底筋の蛋白質濃度と蛋白質含量を平均値および標準偏差にて示した。飼育期間中の体重増加は 3 群間で有意な差がみられず、体重についても 3 群間で有意な差がみられなかった。足底筋重量と相対的足底筋重量では、40J 群では S 群との間に有意な差は認められなかったが、100J 群で S 群および40J 群に比べ両項目とも有意に高値を示し、ジャンプトレーニングの効果が認められた。足底筋の蛋白濃度では 3 群間で有意な差がみられなかった。一方、足底筋の蛋白含量は、筋重量と同様に100J 群で S 群および40J 群に比べ有意に高値を示し、ジャンプトレーニングの効果が認められた。

Fig.1には各群の足底筋の MyHC アイソフォーム

構成比を示した。タイプ IMyHC 構成比においては、3 群間で有意な差がみられなかった。タイプ IIdMyHC 及び IIaMyHC の各アイソフォーム構成比では、100J 群で S 群および 40J 群に比べ有意に高値を示した。一方、タイプ IIbMyHC 構成比では、100J 群で S 群および 40J 群に比べ有意に低値を示した。

考 察

本研究では、足底筋重量と筋蛋白含量において、先行研究と同様に 100J 群で効果がみられた。しかし、これらの項目において、40J 群では効果がみられなかった。MyHC アイソフォーム構成比についても、筋重量や筋蛋白含量と同様に 100J 群では先行研究と同様の結果がえられたが、40J 群では、対照群との間に有意な変化がみられなかった。

ジャンプ運動は勝田¹⁾、戸塚ら²⁾³⁾及び安部と浅見⁴⁾が報告しているように、短時間で爆発的な筋力発揮を必要とするハイパワーなトレーニングである。戸塚ら²⁾³⁾は、1日50回×2セットのジャンプトレーニングで、骨格筋重量には有意な差が認められないものの、筋線維組成は腓腹筋の深層部において、対象群に比べて SO 線維が低値を、FOG 線維が高値を示したと報告している²⁾³⁾。また、ジャンプ回数についてみると、1日50回では、筋重量と筋線維組成ともに有意な変化がみられなかったと報告している²⁾³⁾。春日ら²⁶⁾は、本研究と同様な条件のジャンプトレーニングで、腓腹筋の深層部において、FG

線維の面積占有率の増加と FOG 線維の面積占有率の低下を報告している。我々のこれまでの研究では、MyHC アイソフォーム構成比は、変化の程度に違いが見られるものの、タイプ IIb とタイプ IId、IIaMyHC の変化であった^{13) 15)27)}。また、タイプ IMyHC アイソフォームについては、有意な変化は観察されなかった。つまり MyHC アイソフォーム構成比は、ファーストのサブタイプ内でのスロー方向への変化であった。MyHC アイソフォーム構成比の変化と筋線維組成の変化は、同項目として論じる事はできないが、両項目の変化の方向を考えた場合、本研究と先の研究^{2) 3)26)}では傾向が異なる。これについては、ひとつには組織化学と生化学という分析手法の違いがあると考えられる。しかし、戸塚ら²⁾³⁾の報告に認められた遅筋線維の変化について、本研究との変化傾向の相違についての原因は不明である。

本研究では、MyHC アイソフォーム構成比において 100J 群では先行研究と同様な結果がえられたが、40J 群では、対照群との間に有意な変化がみられなかった。山内と春日²⁸⁾は、ジャンプトレーニングで、腓腹筋の深層部、表層部ともに対照群と比較して、筋線維組成に有意な変化を認めていない。さらに山内と春日²⁸⁾は、その理由についてジャンプトレーニングの延べ回数が少なかったためではないかと考察している。本研究ではトレーニング期間が 8 週間であり、100J 群では延べ回数が 4000 回に達する。一方 40J 群では、ジャンプの延べ回数が 1600 回

Table 1 Body weight, plantaris weight, protein concentration and protein content of rats in each group.

Group (n)	sedentary (7)	40-Jump (7)	100-Jump (7)
Body weight (g)	157 ± 5	158 ± 4	164 ± 3
Plantaris weight (mg)	151 ± 3	152 ± 3	169 ± 2 ※†
Relative plantaris weight (mg/100g body weight)	96 ± 2	96 ± 2	103 ± 2 ※†
Protein concentration (mg/g muscle)	226 ± 2	223 ± 5	226 ± 3
Protein content (mg/muscle)	34 ± 1	34 ± 1	38 ± 1 ※†

Values are expressed as mean ± SEM

※ : Significant difference from the value in sedentary group

† : Significant difference from the value in 40-Jump group

で、100J 群の40%にすぎない。筋線維組成に変化がみられた戸塚ら²⁾³⁾の報告では、ジャンプの延べ回数が6000回に達している。ジャンプトレーニングでは、骨格筋に対してのトレーニングとしては、少なくともジャンプの延べ回数が4000回以上必要ではないかと考えられる。骨に対しては Umemura ら¹¹⁾が、わずかに1日5回、延べ回数にして200回でトレーニング効果を得ている。このことから蛋白分子レベルの変化を引き起こす場合に、骨格筋は骨に比べて、より多くの刺激が必要となるのではないかと考えられる。また、本研究では、タイプ IIaMyHC 構成比の変化は、我々の先の研究^{13) 15)27)}に比べて、その度合いが大きかった。一因としては、ジャンプ後の実験動物の取り扱いが異なったためではないかと考えられる。8週間のジャンプトレーニング期間中、ジャンプ運動後の実験動物は、跳び上がった台高と同じ高さより落下させて、次のジャンプ運動を行わせていた。梅村²⁹⁾は、ジャンプ運動後に実験動物をどのように刺激板に置くかにより、骨に対するトレーニング効果が異なる事を報告している。それによると、実験動物をジャンプ運動後そっと刺激板においた場合に比べ、跳び上がった台高と同じ高さより落下させた場合、後者の方が大腿骨及び脛骨の脱脂乾燥重量や最大曲げ加重が大きかったと報告し

ている。我々の先の研究^{13) 15)27)}と本研究での結果の相違は、これらの事が一因ではないかと考えられるが詳細は不明である。

本研究では、筋重量や筋蛋白含量、MyHC 構成比において、1日100回のジャンプトレーニングで得られた効果が、1日40回のジャンプトレーニングでは得られないことが示された。このことからジャンプトレーニングでは、骨格筋に対して、運動強度としてのジャンプ回数において至適なトレーニング回数のあることが推察される。今後は至適なトレーニング回数がどの程度なのか、着地時の衝撃の違いによる骨格筋への影響などについて詳細に検討する必要がある。

引用文献

- 1) 勝田茂. ジャンプ・トレーニングがラット骨格筋線維におよぼす影響の組織化学的研究. 健康科学 1979;1:27-33.
- 2) 戸塚学, 安部孝, 広田公一. 高強度ジャンプ・トレーニングがラット骨格筋線維組成におよぼす影響. 体育学研究 1989;34(2):133-40.
- 3) 戸塚学, 安部孝, 広田公一. ハイ・パワー・トレーニングがラットの骨格筋線維におよぼす影響. 第9回日本バイオメカニクス学会大会論集

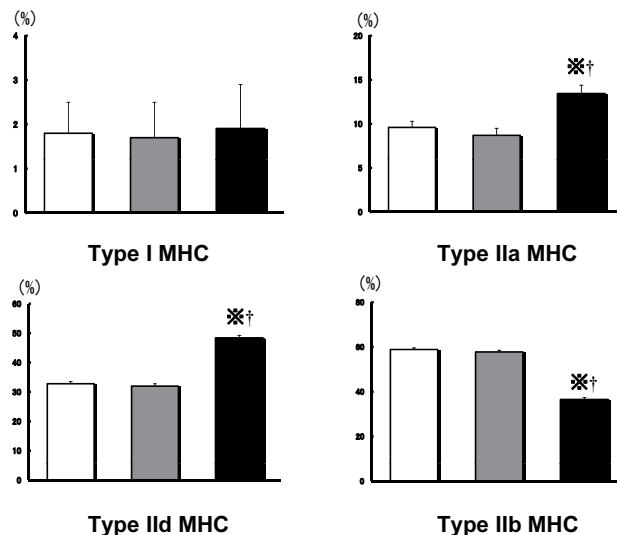


Fig.1 Change in myosin heavy chain composition of plantaris muscle in each group

(□ - sedentary, ■ - 40-Jump, ■ - 100-Jump)

* : Significant difference from the value in sedentary group

† : Significant difference from the value in 40-Jump group

- 1988;80-4.
- 4) 安部孝, 浅見俊雄. ジャンプ・トレーニングがラットのコレステロール代謝に及ぼす影響. 東京大学教養学部体育学紀要 1989;22(3):23-30.
 - 5) 長澤省吾, 梅村義久. ラットのジャンプトレーニングにおけるジャンプ時の床反力と骨強度および骨量との関係. 中京大学体育論叢 2001;42(1,2):27-31.
 - 6) Honda A, Sogo N, Nagasawa S, Shimizu T, Umemura Y. High-impact exercise strengthens bone in osteopenic ovariectomized rats with the same outcome as Sham rats. *J Appl Physiol.* 2003;95(3):1032-7.
 - 7) Nagasawa S, Umemura Y. Bone hypertrophy in rats: Effect of jump number and height. *Adv Exerc Sports Physiol.* 2002;8(4):87-92.
 - 8) Umemura Y, Sogo N, Honda A. Effects of intervals between jumps or bouts on osteogenic response to loading. *J Appl Physiol.* 2002;93(4):1345-8.
 - 9) Singh R, Umemura Y, Honda A, Nagasawa S. Maintenance of bone mass and mechanical properties after short-term cessation of high impact exercise in rats. *Int J Sports Med.* 2002;23(2):77-81.
 - 10) Honda A, Umemura Y, Nagasawa S. Effect of high-impact and low-repetition training on bones in ovariectomized rats. *J Bone Miner Res.* 2001;16(9):1688-93.
 - 11) Umemura Y, Ishiko T, Yamauchi T, Kurono M, Mashiko S. Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *J Bone Miner Res.* 1997;12(9):1480-5.
 - 12) Umemura Y, Ishiko T, Tsujimoto H, Miura H, Mokushi N, Suzuki H. Effects of jump training on bone hypertrophy in young and old rats. *Int J Sports Med.* 1995;16(6):364-7.
 - 13) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克. 走及びジャンプトレーニングの前脛骨筋に対する効果. 名古屋経済大学・市屯学園短期大学 自然科学研究会会誌 1994;29(1):5-18.
 - 14) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克. 老齡期ラット下肢骨格筋における走及びジャンプトレーニングの効果. 名古屋経済大学・市屯学園短期大学 自然科学研究会会誌 1995;30(1):9-21.
 - 15) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克, 石河利寛. 走及びジャンプトレーニングによるラット骨格筋ミオシン重鎖アイソフォーム組成の変化. *体力科学* 1995;44:97-104.
 - 16) 総理府内閣総理大臣官房管理室. 実験動物飼育保管研究実験動物の飼育及び保管等に関する基準の解説. 1版. 東京:ぎょうせい, 1980.
 - 17) 前島一淑, 江崎考三郎, 篠田元扶, 山内忠平, 光岡知足, 菅野茂, 辻茂, 土井邦雄. 新実験動物学. 1版. 東京:朝倉書店, 1988.
 - 18) Gardiner KR, Gardiner PF, Edgerton VR. Guinea pig soleus and gastrocnemius electromyograms at varying speeds, grades, and loads. *J Appl Physiol.* 1982; 52(2):451-7.
 - 19) Smith JL, Edgerton VR, Betts B, Collatos TC. EMG of slow and fast ankle extensors of cat during posture, locomotion, and jumping. *J Neurophysiol.* 1977; 40(3):503-13.
 - 20) Walmsley B, Hodgson JA, Burke RE. Forces produced by medial gastrocnemius and soleus muscles during locomotion in freely moving cats. *J Neurophysiol.* 1978; 41(5):1203-16.
 - 21) Tsika RW, Herrick RE, Baldwin, K.M. Interaction of compensatory overload and hindlimb suspension on myosin isoform expression. *J Appl Physiol.* 1987;62(6):2180-86.
 - 22) Bär A, Pette D. Three fast myosin heavy chains in adult rat skeletal muscle. *FEBS Lett.* 1988;235(1-2):153-5.
 - 23) 辻本尚弥, 平野朋枝, 鈴木英樹, 春日規克. ラット腓腹筋外側部表層のミオシン重鎖アイソフォーム構成に及ぼす持久性走トレーニングの影響 - 単一筋線維での検討 -. 久留米大学健康・スポーツ科学センター研究紀要 2004;12(1):23-9.
 - 24) Ryan TA. Significance tests for multiple comparison of proportions, variances, and other statistics. *Psychol Bull.* 1960;57:318-28.
 - 25) 森敏昭, 吉田寿夫. 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 1版, 京都:北大路書房, 1990.
 - 26) 春日規克, 山内秀樹, 伊藤晶生, 安藤暢洋, 那須ひとみ. 若年期の激運動が筋の発達に及ぼす影響. *体力研究* 1989;72:162-8.

-
- 27) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克, 石河利寛, 中年期での運動様式の異なるトレーニングに対する骨格筋の変化. 大和証券ヘルス財団の助成による研究業績集, 1994;18:131-5.
 - 28) 山内秀樹, 春日規克. ジャンプおよびアイソメトリックトレーニングにともなう骨格筋の機能変化:筋線維組成との関連性. 体育学研究 1992; 37:87-95.
 - 29) 梅村義久. ジャンプおよび着地衝撃がラットの骨に及ぼす影響. 中京大学体育論叢 1996;38(1): 79-83.