

成熟期中期のラット足底筋に対するジャンプトレーニングの影響

The Effects of Jumping Training on the Rat Plantaris Muscle in the Middle Period of Mature

辻本 尚弥¹⁾, 鈴木 英樹²⁾, 春日 規克²⁾

Hisaya TSUJIMOTO, Hideki SUZUKI, Norikatu KASUGA

Abstract

We studied the effects of jumping training in 15 mature female Fischer 344 rats (12 month old). The animals were divided into two groups: sedentary (S; n = 7) or jumping (J; n = 8) group. The animals in the J group were trained with vertical jumps (40 cm high, 100 repetitions/day, 5 days/week) for 8 weeks. After 8-weeks of training, the plantaris muscle (PLA) was isolated, and crude myosin was extracted. Myosin heavy chain (MyHC) isoform composition was analyzed by sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis.

The final body weights of each group were not significantly different. PLA weight and relative PLA weight of the J group were significantly higher than those of the S group. While no statistical difference was found in the compositions of the MyHC I, II_d and II_a isoforms in either group. However, the value of the type II_b MyHC isoform in the J group was relatively lower than that in the S group.

These results indicated that the MyHC isoform composition of the PLA muscle changed with jumping training. We conclude that jumping training during the middle stage of maturation affected the muscle contractile protein phenotype.

Key words: Female Fischer 344 rat, Myosin heavy chain, Mature, Plantaris muscle, Jumping training

諸 言

「超高齢社会」となった日本において、高齢者の積極的な社会参加とそれを支える基盤づくりは重要な課題となる。一方、高齢者が自立し積極的に社会参加するためには、個人において健康管理を行っていくことが大切な条件である。老化は細胞や諸組織の萎縮、消退とそれにとまなう生体の諸機能低下を引き起こし¹⁾⁻⁵⁾、生活状況によっては廃用症候群となる⁶⁾⁷⁾。高齢期の健康の目標は、単に長寿であることではなく健康長寿であり、さら

に活動的長寿、生産的長寿である⁸⁾。高齢者の健康維持・増進には、栄養や休養に関する日常生活の改善と定期的な運動実施が有用である⁹⁾¹⁰⁾。また、運動開始が中年期以降からであっても、それを習慣化することは高齢期の健康長寿に有効に働くと考えられている¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。中高年期に推奨される運動は安全上の配慮も必要であり、比較的強度の低い持久的な運動が推奨されている。持久的運動はエネルギー消費量を増加させるため、一般に言われる「中年太り」といった肥満の予防にも有効である。一方、加齢に伴う身体活動量の低下は、

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 保健体育講座

筋量を減じさせ、基礎代謝量の低下を引きおこし肥満を助長する。さらに、筋量減少による筋力の低下は骨折や転倒の危険性を高め¹⁴⁾¹⁵⁾、怪我によるさらなる活動量の減少と筋力低下といった、いわゆる「負のスパイラル」を引き起こす可能性がある。そこで、中高年期において活動的かつ生産的な健康長寿を得るためには、十分な予備力を有した筋力の保持・増進は重要であり、筋量の増加をめざす筋力トレーニングやパワートレーニングも必要と考えられる。近年、高速度の筋力トレーニングやジャンプを含むパワートレーニングが高齢者にも実行可能であり¹⁶⁾、有効であると報告されている¹⁷⁾⁻²⁰⁾。本研究では中高年期のパワートレーニングとして、ジャンプトレーニングに注目した。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トレーニングである²¹⁾⁻²⁴⁾。そのため相対的な筋力低下がある場合に、ジャンプトレーニングは筋や関節の傷害の危険性があると考えられる。しかし、ジャンプ力は筋力により規定されるものであり、筋力が低下した者にとってはジャンプ時や着地時の衝撃は低く抑えられる相対的負荷であり、個々人の体力、筋力に見合う運動と捉えることも出来る。高強度負荷という観点からは、対象者にあった安全に実施できる方法が開発されれば、中高年にとっては有効なトレーニング法になると考えられる。

そこで本研究では、実験動物を用いて、骨格筋の重要な収縮蛋白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着目し、ジャンプトレーニングについての基礎的なデータを得る事を目的とした。

方 法

実験動物には、生後12ヶ月齢のFischer344系の雌ラットを用いた(日本S L C)。餌(CE-2:日本クレア)及び飲水は自由摂取とし、昼夜逆転した12時間の明暗サイクルで室温 $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境下で飼育した。実験群として対照群(Sedentary; S群, $n=7$)とジャンプ運動群(Jumping; J群, $n=8$)の2群を設けた(2群の実験前体重の平均値と標準偏差はそれぞれ、 $225 \pm 13\text{g}$ と $219 \pm 8\text{g}$ であった)。J群には瞬発性運動として刺激電極板を用いたジャンプトレーニングを、前報²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾と同様に高さ40cmへの跳び上がりで1日100回、週5日行った。トレーニングは1週間の予備トレーニング期間を設けた後、12ヶ月齢に達するまで8週間行った。トレーニング終了後、ラットの体重を計測、麻酔下にて頸動脈より放血し屠殺した。その後、足底筋を摘出、筋重量を秤量した後、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°C の冷凍庫で保存した。なお飼育および屠殺でのラットの取り扱いについては、「実験動物の飼養及び保管並びに苦痛の軽減に関する基準」に沿って行った²⁸⁾²⁹⁾。

次に、足底筋のMyHCアイソフォーム構成比の分析を行った。保存していた筋はMyHCアイソフォーム構成比の分析に供した。まず筋をTsikaら³⁰⁾の方法に従いホモジナイズし、さらにBarとPette³¹⁾の方法により粗ミオシンを抽出した。蛋白量調整のための蛋白定量にはBiuret法を用いた³²⁾。次に抽出した粗ミオシンに変性剤を添加し、 56°C で10分間インキュベートし変性させた。変性粗ミオシンは、Sugiuraら³³⁾の方法に従いポリアクリルアミドゲル電気泳動(KS8020型:マリソル)によりMyHCアイソフォームを分離した。泳動後ゲルは銀染色(銀染色キットワコー:和光純薬)を施し蛋白質を可視化した。MyHCアイソフォームはタイプI、IIa、IIbに分け、各アイソフォーム相対的構成比の分析は、前報²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾

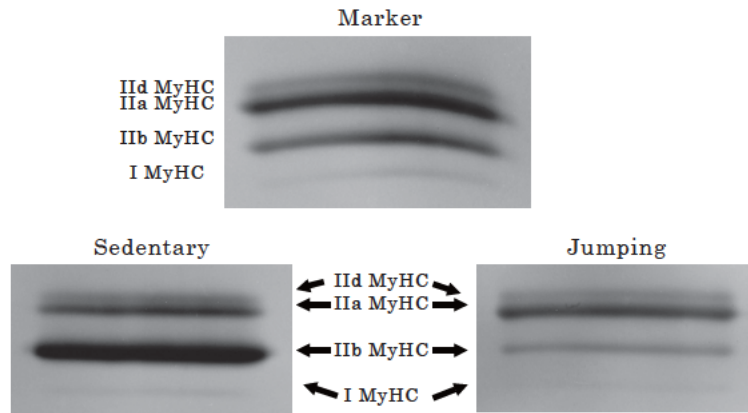


Fig 1. Electrophoretograms of myosin heavy chain isoforms of plantaris muscle.

Table1. Body weight, plantaris muscle weight and relative plantaris muscle weight of rat.

	Sedentary (n=7)	Jumping (n=8)
Final body weight (g)	226±18	215±8
Plantaris weight (mg)	195±16	209±13
Relative plantaris weight (mg/100g BW)	86±5	97±3*

Values are expressed as mean ± SD

* : Significant difference from the value in sedentary group(p<0.05)

と同様に蛋白質の泳動パターンをCCDカメラでコンピューターに取り込み、イメージデジタイザーシステム (FDM98-RGB : フォトロン) を用いて画像解析により行った。

各測定値は群ごとに平均値及び標準偏差を求め統計学的な検定を行った。体重では一要因に対応がある二要因の分散分析を用いた。筋重量及び相対的筋重量とMyHCアイソフォーム相対的構成比では、分散の検定をした後それぞれの群を比較した。全ての検定は、統計解析ソフトRを用い、有意水準は5% (p<0.05) とした³⁴⁾³⁵⁾³⁶⁾。

結 果

図1にはミオシン重鎖アイソフォームの電気泳動による分離像を示した。図1では4タイプのミオシン重鎖アイソフォームが確認可能であるが、個体によってはタイプI MyHCが同定できないものがあつた。

体重と足底筋重量および相対的足底筋重量を平

均値と標準偏差により表1に示した。トレーニング期間中、S群の体重は増加傾向を、J群では減少傾向を示したが、最終体重は両群間で有意な差はみられなかった。足底筋重量は体重と同様に両群間で有意な差は認められなかった。しかし、相対的足底筋重量はS群に比べJ群が有意に高値を示し、筋量に対するトレーニングの効果が観察された。

図2には各群のタイプI、IIa、IIb、IIc MyHCアイソフォームの相対的構成比を示した。S群とJ群のMyHCアイソフォームの相対的構成比に有意な差が認められた。特にタイプIIb MyHCアイソフォームの相対的構成比は、S群に比べJ群で有意に低値を示した。タイプIIa MyHCアイソフォームの相対的構成比は、S群に比べJ群で高値を示す傾向はみられるも有意な差は認められなかった。タイプI MyHCおよびタイプIIc MyHCアイソフォームの相対的構成比は両群間で有意な差はみられなかった。

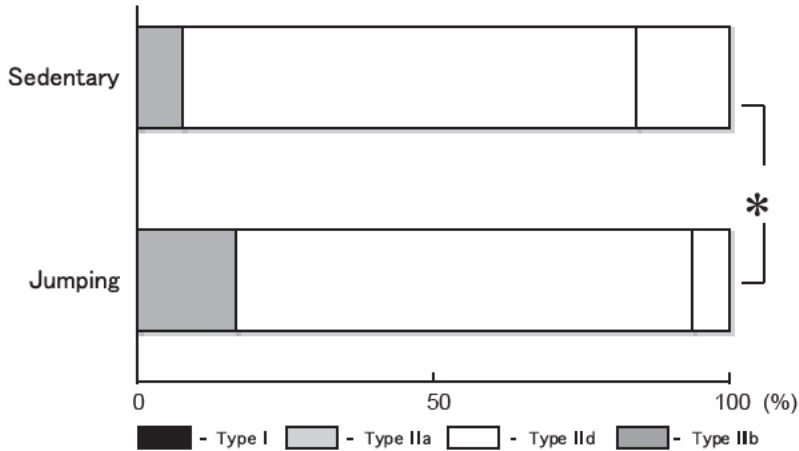


Fig 2. Myosin heavy chain composition of plantaris muscle in each group.
*: Significant difference from the value in sedentary group.

考 察

本実験では、ヒトの中高年期を想定し、成熟期中期以降で高齢期前のラット足底筋を対象に、ジャンプトレーニングの影響について検討した。実験結果として、ジャンプトレーニングによる足底筋重量の増加とミオシン重鎖アイソフォーム構成比の変化を明らかにした。

前報³⁷⁾にも記したように、本研究で用いたラットの12ヶ月齢は、体重の増加に見合った筋重量が増加しない、いわゆるヒトの中年期にあたりと考えられる。トレーニング実験におけるラットの体重は、ストレスによる食欲低下とそれともなう摂餌量の減少、脂肪沈着の抑制などにより体重減少の起こることが知られている³⁸⁾。本実験においても、J群で体重の減少傾向がみられたが、トレーニング開始前に比べて1.8%の減少であり、S群との比較で有意な差は認められなかったことから、トレーニングによるストレスは軽微であったと考えられた。これは、持続的トレーニングが1~1.5時間を要するのに対し、100回のジャンプは0.5時間程度の時間内で終了したためであり、時間的なストレスがその要因と考えられた。筋重量については、ジャンプトレーニングによりJ群ではS群に比べて相対的筋重量で有意に高値を示し

た。これはジャンプトレーニングによる効果と考えられる。ジャンプトレーニングにともなう実験動物の活動筋肥大については、これまで多くの報告がなされている²¹⁾⁻²⁷⁾。本研究でもこれらの報告と同様にトレーニング効果として筋肥大が観察された。また我々は前報²⁵⁾²⁶⁾で、ラット前脛骨筋において、ジャンプトレーニングによる筋重量の増加を観察しており、ジャンプトレーニングにおいても走トレーニングと同様に、下肢の前方部と後方部の両筋が活動参加していると考えられる。特に、ラットのジャンプ動作は大腿四頭筋の収縮による膝関節の伸展と、足底筋を含む下腿三頭筋の大腿筋と同期した収縮による足関節底屈動作により発現される運動であり、本実験で選択された被験筋に対して十分な効果があったことが示された。

これまで骨格筋の老化について多くの総説があり、筋の萎縮と消失による筋量の低下や筋力の低下、さらに筋線維タイプで萎縮や消失が異なることなどが報告されている³⁹⁾⁻⁴⁹⁾。筋線維タイプについては、ヒトではタイプII線維の選択的萎縮⁵⁰⁾⁵¹⁾や消失、それによる筋線維タイプ構成比の変化⁵²⁾が報告されている。Brunnerらはシステムティックレビューにおいて、加齢によりヒト骨格筋のタイプII線維の消失と萎縮およびタイプI線維が明確になったと報告している⁵³⁾。実験動物で

あるラットでも、加齢に伴う骨格筋の筋線維タイプの変化について、総説⁴⁰⁾や多くの報告がなされている⁵⁴⁾⁻⁴⁹⁾。それによると、ラットにおいてもヒトと同様にタイプII線維の萎縮あるいは消失がみられると報告されている⁵⁴⁾⁻⁴⁹⁾。老化にともなう速筋の選択的萎縮と速筋線維数の減少は、ヒトを含む動物において共通の現象であると考えられる。タイプIIと分類される速筋は、瞬発的な力発揮時において重要な役割を果たし、また多くの骨格筋において組織を構成する主要な細胞である。一方、タイプII線維を支配する α 運動神経細胞はタイプI線維よりも大きく、サイズの原理により活動参加閾値は高い。このため、強い力発揮が必要な際のみ活動参加(筋収縮)を起こすため、加齢が進行しスポーツ活動などの強い身体運動負荷が加わらない生活では、タイプIIを含む速筋において不活動が継続される可能性が高い。そのため、老齢期において自立しかつ活動的・健康に生きていく上では、速筋の身体内に占める割合の維持と機能低下の抑制は必要欠くべからざるものと考えられる。速筋線維の量の維持と機能低下の抑制のためには、蛋白合成に有効な運動刺激を与えるトレーニングが必要であると考えられる。これまでジャンプトレーニングは、骨格筋量の維持に有効であるとの報告がある²¹⁾⁻²⁴⁾。我々も、筋重量に対するジャンプトレーニング効果を報告している²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾。さらに筋を構成する主要な蛋白質のひとつであるMyHCアイソフォームの変化についても、ジャンプトレーニングにより成熟期ラット足底筋においてタイプII_d MyHCの有意な増加と相対的にタイプII_b MyHCの減少を報告してきた²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾。筋活動量が増加し筋量に変化する際には、筋を構成する蛋白合成能に変化が生じる⁶⁰⁾⁶¹⁾。その場合、活動筋内のMyHC合成のスイッチングが起こり⁶²⁾、MyHCアイソフォームの発現がII_b→II_d→II_a→Iへと変化し、単一筋線維内に数種類のアイソフォームが存在するハイブリッド線維が増加すると考えられている⁶³⁾⁶⁴⁾⁶⁵⁾。本実験の結果は筋活動量の増加によりアイソフォーム合成のスイッチングが起こり筋蛋白合成が変化し、単一筋線維内のMyHCアイソフォームの混在が増加したことによる考えられる。本実験では、単一筋線維レベルで詳細な分析を

行っていないため、今後MyHCを基本的なマーカーとして単一筋線維を分類し、活動量が異なるいくつかの実験条件により、その分布がどのように変化するかを明確にする必要があると考えられる。さらに筋線維タイプ移行のメカニズムに関しては、研究の歴史は長いが未だ明らかになっていない部分が多い。骨格筋の老化や活動量の減少に対する対抗手段としてのトレーニングについて、科学的根拠に基づいたさらなる可能性の拡張を考えた時、筋線維タイプ移行のメカニズムを、分子レベルで正確かつ詳細に記述することが求められている。老化にともない本実験で用いた足底筋などの速筋においてはタイプII線維の萎縮あるいは消失が報告されている一方、中年期を想定した本トレーニング実験においても、収縮様式から速筋線維としての最も高い特性を持つタイプII_b MyHCの相対的減少が認められた。このことは、一見、中年期の高強度トレーニングは老化を加速した結果と捉えられる可能性もある。しかし、本実験結果はタイプII型内での変化であり、またラットにトレーニング負荷を与えた場合には、タイプIを含む筋においてもII_bの相対的減少にともなうII_a、II_dの増加が起こることが知られている。本実験において、中年期におけるジャンプトレーニングの結果、タイプII_a MyHCアイソフォーム構成比の上昇傾向に対するタイプII_b MyHC アイソフォーム構成比の明確な減少は、身体活動量の増大が筋蛋白合成やアイソフォーム生成のスイッチングに刺激となった結果であると考えられた。

以上の結果から、成熟期中期において瞬発的なジャンプトレーニングは筋蛋白質代謝に影響する事がミオシン重鎖を中心とする蛋白レベルの分析より示唆された。

引用文献

- 1) 鈴木政登, 石山郁朗. 高齢者の身体機能と運動. 体育科学 2000; 29 :156-78.
- 2) 松瀬博, 志波直人. 運動機能. 総合リハ 2006; 34(7):629-32.
- 3) 後藤勝正, 大平充宣. 加齢性および廃用性筋萎縮と予防策. THE BONE 2005; 19:465-9.
- 4) 成澤三雄. 加齢(中高年)と筋力維持. (編)吉岡利忠, 後藤勝正, 石井直方. 筋力をデザインする. 東京: 杏林書院, 2003:81-93.
- 5) Shephard RJ. Physical Activity and Aging. London:Croom Helm Publishing.1987. (柴田 博, 青柳 幸利, 新開 省二. シェパード老年学-加齢、身体活動、健康. 東京:大修館書店,2005)
- 6) 松嶋康之, 奈良聡一郎, 蜂須賀研二. 廃用症候群. 総合リハ 2007;35(10):1145-51.
- 7) 折茂賢一郎, 安藤繁, 新井健五. 別冊総合ケア 廃用症候群とコミュニティケア. 東京: 医歯薬出版, 2005.
- 8) 柴田博. 第2章求められている高齢者像. (編)東京都老人総合研究所. サクセスフルエイジング 老化を理解するために. 東京:ワールドプランニング, 1998:42-52.
- 9) Viru A, Smirnova T. Health promotion and exercise training. Sports Med. 1995; 19(2): 123-36.
- 10) 小熊祐子. サイエンスとしての運動とアンチエイジング. アンチ・エイジング医学 2007; 3(2): 203-9.
- 11) Kokkinos P, Myers J. Exercise and physical activity: clinical outcomes and applications. Circulation. 2010; 122(16):1637-48.
- 12) Kruk J. Physical activity and health. Asian Pac J Cancer Prev. 2009; 10(5): 721-8.
- 13) Shephard RJ. Independence: a new reason for recommending regular exercise to your patients. Phys Sportsmed. 2009; 37(1): 115-8.
- 14) Aniansson A, Zetterberg C, Hedberg M, Henriksson KG. Impaired muscle function with aging. A background factor in the incidence of fractures of the proximal end of the femur. Clin Orthop Relat Res. 1984 ;(191): 193-201.
- 15) Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey KJ. Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. J Am Geriatr Soc. 1994; 42(10) :1110-7.
- 16) Tschopp M, Sattelmayer MK, Hilfiker R. Is power training or conventional resistance training better for function in elderly persons? A meta-analysis. Age Ageing. 2011 Sep; 40(5): 549-56. doi:10.1093/ageing/afr005.
- 17) Ramírez-Campillo R, Castillo A, de la Fuente CI, Campos-Jara C, Andrade DC, Álvarez C, Martínez C, Castro-Sepúlveda M, Pereira A, Marques MC, Izquierdo M. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. Exp Gerontol. 2014 Oct; 58:51-7. doi: 10.1016/j.exger.2014.07.001
- 18) Pereira A, Izquierdo M, Silva AJ, Costa AM, Bastos E, González-Badillo JJ, Marques MC. Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. Exp Gerontol. 2012 Mar; 47(3): 250-5. doi: 10.1016/j.exger.2011.12.010.
- 19) Piirainen JM, Cronin NJ, Avela J, Linnamo V. J Electromyogr Kinesiol. Effects of plyometric and pneumatic explosive strength training on neuromuscular function and dynamic balance control in 60-70year old males. 2014 Apr; 24(2): 246-52. doi: 10.1016/j.jelekin.2014.01.010.
- 20) Correa CS, LaRoche DP, Cadore EL, Reischak-Oliveira A, Bottaro M, Krueh LF, Tartaruga MP, Radaelli R, Wilhelm EN, Lacerda FC, Gaya AR, Pinto RS. 3

- Different types of strength training in older women. *Int J Sports Med.* 2012 Dec; 33(12): 962-9. doi: 10.1055/s-0032-1312648.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 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 1988:80-4.
- 24) 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.
- 25) 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誌* 1994;29(1):5-18.
- 26) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克. 老齢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誌* 1995;30(1):9-21.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) 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.
- 30) Tsika RW, Herrick RE, Baldwin KM. Interaction of compensatory overload and hindlimb suspension on myosin isoform expression. *J Appl Physiol.* 1987; 62(6): 2180-6.
- 31) Bär A, Pette D. Three fast myosin heavy chains in adult rat skeletal muscle. *FEBS Lett.* 1988; 235(1-2): 153-5.
- 32) Gornall AG, Bardawill CJ, David MM. Determination of serum proteins by means of the biuret method. *J Biol Chem.* 1949; 177: 751-6.
- 33) Sugiura T, Morimoto A, Sakata Y, Watanabe T, Murakami N. Myosin heavy chain isoform changes in rat diaphragm are induced by endurance training. *Jpn J Physiol.* 1990; 40(5): 759-63.
- 34) Ihaka R, Gentleman R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. *J. Comp. Graph. Stat.* 1996; 5:299-314. <http://www.R-project.org>.
- 35) R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org> 2005.
- 36) 山次 俊介, 鈴木 宏哉, 高橋 信二, 出村 慎一. 健康・スポーツ科学のためのRによる統計解析入門 1版. 東京: 杏林書院, 2013.
- 37) 辻本尚弥, 鈴木英樹. 成熟期中期のラット足底筋に対する走トレーニングの影響. *久留米大学健康・スポーツ科学センター研究紀要* 2010;18(1): 19-23.
- 38) Stevenson JAF, Box BM, Feleki VB, Eaton JR. Bouts of exercise and food intake in the rat. *J Appl Physiol.* 1996; 21(1): 118-22.
- 39) Rogers MA, Evans WJ. Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. *Exerc Sport Sci Rev.* 1993; 21:65-102.
- 40) Cartee GD. Aging skeletal muscle: response to exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 1994; 22:91-120
- 41) Grimby G. Muscle performance and structure in the elderly as studied cross-sectionally and longitudinally. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995 Nov; 50 Spec No: 17-22.
- 42) Staron RS. Human skeletal muscle fiber types: delineation, development, and distribution. *Can J Appl Physiol.* 1997 Aug; 22(4): 307-27.
- 43) Miljkovic N, Lim JY, Miljkovic I, Frontera

- human muscle protein synthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 2011 Dec; 43(12): 2249-58. doi: 10.1249/MSS.0b013e318223b037.
- 61) Hawley JA, Burke LM, Phillips SM, Spriet LL. Nutritional modulation of training-induced skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 2011 Mar; 110(3): 834-45. doi: 10.1152/jappphysiol.
- 62) Kirschbau BJ, Kucher H. Termin A, Kelly AM, Pette D. Antagonistic effects of chronic low frequency stimulation and thyroid hormone on myosin expression in rat fast-twitch muscle. *J Biol Chem.* 1990; 265: 13974-80.
- 63) Bottinelli R. Functional heterogeneity of mammalian single muscle fibers: do myosin isoforms tell the whole story? *Pflügers Arch.* 2001; 443(1): 6-17.
- 64) Parry DJ. Myosin heavy chain expression and plasticity: role of myoblast diversity. *Exerc Sport Sci Rev.* 2001; 29(4): 175-9.
- 65) Pette D, Staron RS. Transitions of muscle fiber phenotypic profiles. *Histochem Cell Biol.* 2001; 115(5): 359-72.