

= 原著論文 =

## ラットの組織及び下肢骨格筋重量に対する 脱トレーニングの影響

辻本 尚 弥<sup>1)</sup> 鈴木 英 樹<sup>2)</sup>

Effects of Long Term De-training on the Each Tissue and  
the Skeletal Muscle Weight in Rat

Hisaya TSUJIMOTO<sup>1)</sup> and Hideki SUZUKI<sup>2)</sup>

### Abstract

The effect of long term de-training on the each tissue and skeletal muscle weight was investigated in the female Fischer344 rats. The animals were divided into four groups: 23-week-old control (23C), 23-week-old trained (23T), 77-week-old control (77C) and 77-week-old de-trained (77DT). Animals in group 23T and 77DT were trained with treadmill running ( $\sim 77\%VO_2\max$ , 60 min/day and 5 days/wk) for 10 weeks. The de-training period was 53 weeks.

The results showed that the relative heart weight in group 23T was significantly higher than group 23C, 77C and 77DT. The relative fat pad (inguinal and retroperitoneal) weight in group 23T was significantly lower than group 23C. There was no significant difference in the relative liver weight among all groups. The relative hind limb muscle weight, except lateral gastrocnemius, in group 77-week-old was significantly lower than group 23-week-old. However, The relative lateral gastrocnemius muscle weight in group 77-week-old was significantly higher than group 23-week-old. The relative hind limb muscle weight, except extensor digitorum longus and soleus in group 23T, was significantly higher than group 23C. There was no significant difference between group 77C and 77DT in hind limb muscle weight.

These results indicate that training effects was lost for a long-term de-training period on each tissue and skeletal muscle weight in rats.

**Key words** : 持久性走トレーニング、ラット、脱トレーニング、骨格筋重量  
endurance training, rat, de-training, skeletal muscle weight

### 緒 言

ヒト及び動物では活動量や運動量の低下あるいは不活動に対して、各組織・臓器は量的および質的な適応を示す。骨格筋は、運動によりその生理的機能や組織重量が維持されているため、運動の量および

質の変化に強く影響を受ける。継続していたトレーニングが身体的あるいは社会的な理由等で、一時的に休止あるいは中止することを脱トレーニングという。脱トレーニングでは、全身の諸組織にみられたトレーニングによる適応は、トレーニング前の状態に戻ることが知られている<sup>1)-4)</sup>。

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

骨格筋は、水、蛋白質、脂質、グリコーゲンなど種々の物質より構成されている<sup>5)</sup>。骨格筋の機能や組織化学的特性及び構造の違いは、筋を構成している種々の物質の変化を反映したものである<sup>5)・8)</sup>。種々の物質の全体の変化は組織重量の変化としてあらわれる。我々はこれまで骨格筋に注目し、トレーニングの効果および脱トレーニングの影響について、実験動物のラットを用いて検討してきた<sup>6)7)8)</sup>。その結果、長期間の脱トレーニングにより、前脛骨筋と腓腹筋の筋重量および蛋白質量に対するトレーニングの効果は消失したことを報告した<sup>8)</sup>。

本研究では、種々の物質の全体の変化を反映していると考えられる組織重量、特に骨格筋重量に注目して、トレーニングによる変化と、その後の脱トレーニングの影響について、エネルギー源の貯蔵庫である脂肪組織と新たにいくつかの下肢筋について明確にすることを目的とした。

## 方 法

実験動物として Fischer344系雌ラットを用い、飼育は室温 $22 \pm 1$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ 、昼夜逆転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 (日本クレア株式会社)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「研究機関等における動物実験等の実施に関する基本指針」<sup>9)</sup>および「動物実験の適正な実施に向けたガイドライン」<sup>10)</sup>に沿って行った。

持久性走トレーニングおよび脱トレーニングに対する各組織重量の適応変化を観察するために、23週齢コントロール群 (23-week-old control group; 23C

群)、23週齢トレーニング群 (23-week-old trained group; 23T 群)、77週齢コントロール群 (77-week-old control group; 77C 群) および77週齢脱トレーニング群 (77-week-old de-trained group; 77DT 群) を設けた。23T 群と77DT 群には13週齢から10週間の持久性走トレーニングを実施した。トレーニングは Naito ら<sup>11)</sup>の方法に順じて運動強度 $\sim 77\% \text{VO}_2 \text{max}$ の走運動 (傾斜15%) を、1日1回60分間、週5日の頻度で行った。23C 群と23T 群のラットはトレーニング期間終了時に、77C 群と77DT 群のラットはトレーニング期間終了から53週間 (約1年間) の脱トレーニング期間後に、麻酔下にて頸動脈より放血し屠殺した。その後、心臓、肝臓、脂肪組織 (鼠径部、腹膜後方)、ヒラメ筋、足底筋、腓腹筋 (内側部、外側部)、前脛骨筋及び長指伸筋を摘出した。摘出した各組織は、結合組織を丁寧に取り除いたのち重量を測定した。なお、脱トレーニング期間中、ラットは飼育用ケージ内で、特に制限のない通常飼育を行ない、餌および飲水は自由摂取とした。

測定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 法を用いた<sup>12)</sup>。なお、全ての検定において有意水準は $5\%$  ( $p < 0.05$ ) とした<sup>13)</sup>。

## 結 果

表1には、各群の最終体重、心臓、肝臓、鼠径部脂肪組織および腹膜後方脂肪組織の各組織重量を平均値および標準偏差にて示した。体重は23週齢の C

Table 1. Body, heart, liver and fat pad weight of rat in each group.

	23 week-old		77 week-old	
	Control (n=7)	Training (n=6)	Control (n=6)	De-training (n=6)
Body weight (g)	189 $\pm$ 5	184 $\pm$ 7	292 $\pm$ 13	281 $\pm$ 19
Heart weight (mg)	589 $\pm$ 32	661 $\pm$ 65 *	689 $\pm$ 41	668 $\pm$ 30 *
Liver weight (mg)	6171 $\pm$ 371	6385 $\pm$ 874	10561 $\pm$ 1383	9382 $\pm$ 430 *
Inguinal fat pad weight (mg)	4548 $\pm$ 944	2524 $\pm$ 227 *	8399 $\pm$ 1544	6919 $\pm$ 2054 *
Retroperitoneal fat pad weight (mg)	1769 $\pm$ 371	1096 $\pm$ 219 *	2828 $\pm$ 464	2273 $\pm$ 323 †

Values are expressed as mean  $\pm$  SD

\* : Significant difference from the value in 23 week-old control group( $p < 0.05$ )

† : Significant difference from the value in 23 week-old training group( $p < 0.05$ )

群およびT群に比べて、77週齢のC群、DT群が有意に高値を示した。心臓重量は23週齢ではC群に比べてT群で有意に高値を示し、持久性走トレーニングの効果がみられた。また23週齢のC群に比べて、77週齢のC群、DT群が有意に高値を示した。肝臓重量は、体重と同様に23週齢のC群およびT群に比べて、77週齢のC群、DT群が有意に高値を示した。鼠径部および腹膜後方の脂肪組織重量は、23週齢ではC群に比べてT群で有意に低値を示し、持久性走トレーニングの効果がみられた。加齢の影響をみると、鼠径部脂肪組織重量では23週齢のC群およびT群に比べて、77週齢のC群、DT群が有意に高値を示した。腹膜後方脂肪組織重量は、23週齢のC群およびT群に比べて、77週齢のC群が有意に高値を示した。また両脂肪組織重量において脱トレーニングの影響はみられなかった。

表2には、各群の心臓、肝臓、鼠径部脂肪組織お

よび腹膜後方脂肪組織の相対的組織重量を平均値および標準偏差にて示した。相対的心臓重量では、23週齢でC群に比べてT群が有意に高値を示し、持久性走トレーニングの効果がみられた。また23週齢のC群およびT群に比べて、77週齢のC群、DT群が有意に低値を示した。相対的な肝重量は各週齢および各群間に有意な差はみられなかった。鼠径部および腹膜後方の両脂肪組織の相対的組織重量は、持久性走トレーニングの効果として、23週齢でC群に比べてT群が有意に低値を示した。また77週齢の両群で23週齢のT群と比較して有意に高値を示した。

表3には下肢骨格筋重量を平均値および標準偏差にて示した。前脛骨筋、長指伸筋および腓腹筋外側部の筋重量は23週齢ではC群に比べT群が有意に高値を示した。また23週齢のC群およびT群に比べて、77週齢のC群およびDT群が有意に高値を

**Table 2.** Relative weight of heart, liver and fat pad on rat in each group.

(mg/100g body weight)	23 week-old		77 week-old	
	Control (n=7)	Training (n=6)	Control (n=6)	De-training (n=6)
Heart weight	312±14	359±31 *	236±15 * †	238±9 * †
Liver weight	3274±286	3459±376	3620±436	3346±122
Inguinal fat pad weight	2408±481	1374±155 *	2884±548 †	2434±623 †
Retroperitoneal fat pad weight	936±187	599±133 *	972±176 †	810±99 †

Legends as same as table 1

**Table 3.** Muscle weight of the rat in each group.

(mg)	23 week-old		77 week-old	
	Control (n=7)	Training (n=5)	Control (n=6)	De-training (n=6)
Tibiaris anterior	354±14	381±10 *	421±13 * †	426±23 * †
Extensor digitorum longus	88±4	94±3 *	108±4 * †	106±5 * †
Soleus	84±10	97±9	102±6 *	102±7 *
Plantaris	194±11	207±8	240±5 * †	240±11 * †
Medial gastrocnemius	606±15	654±35 *	609±30	593±40
Lateral gastrocnemius	407±19	455±14 *	692±26 * †	677±42 * †

Legends as same as table 1

Table 4. Relative muscle weight of the rat in each group.

(mg/100g body weight)	23 week-old		77 week-old			
	Control (n=7)	Training (n=5)	Control (n=6)	De-training (n=6)		
Tibiaris anterior	188±7	207±9 *	145±3	* †	152±6	* †
Extensor digitorum longus	47±2	51±2	37±2	* †	38±1	* †
Soleus	45±5	53±3	35±3	* †	36±2	* †
Plantaris	103±5	112±5 *	82±4	* †	85±3	* †
Medial gastrocnemius	321±9	355±19 *	209±16	* †	211±11	* †
Lateral gastrocnemius	216±8	247±13 *	237±9	*	242±11	*

Legends as same as table 1

示した。ヒラメ筋重量は、23週齢ではC群とT群間に有意な差はみられなかった。加齢による変化については、23週齢のC群に比べて、77週齢の両群が有意に高値を示した。足底筋重量は、23週齢では、ヒラメ筋重量と同様にC群とT群間に有意な差はみられなかった。また23週齢のC群およびT群に比べて、77週齢のC群およびDT群が有意に高値を示した。腓腹筋内側部は、23週齢ではC群に比べT群が有意に高値を示した。各週齢間に有意な差はみられなかった。

表4には下肢骨格筋の相対的筋重量を平均値および標準偏差にて示した。23週齢では、前脛骨筋、足底筋および腓腹筋内側部、腓腹筋外側部においてT群がC群に比べて有意に高値を示した。一方、長指伸筋およびヒラメ筋では、23週齢のC群とT群間に有意な差はみられなかった。加齢による変化については、前脛骨筋、長指伸筋、ヒラメ筋、足底筋および腓腹筋内側部の相対的筋重量は、77週齢のC群およびDT群が、23週齢のC群、T群に比べ有意に低値を示した。腓腹筋外側部の相対的筋重量では、77週齢のC群およびDT群が、23週齢のC群に比べ有意に高値を示した。

## 考 察

本研究では、心臓、肝臓、脂肪組織および下肢骨格筋でみられた持久性走トレーニングの効果が長期間の脱トレーニングにより消失することが確認された。

本研究では、体重は23週齢群の両群に比べ、77週

齢の両群で高値を示した。さらに体重の増加に対して脱トレーニングの影響はみられなかった。ラットでは多くの系統で、発育期後の成熟期においても約70から80週齢まで体重が増加する事が報告されている<sup>14)</sup>。また脱トレーニング期間中の摂食量および摂食効率、脱トレーニング初期の1週間では差がみられるものの、2週間後には対照群との間に差がみられないことが報告されている<sup>15)</sup>。これらのことから本研究では脱トレーニング期間中における体重の増加は、対照群と同様であったと考えられる。心重量および相対的心重量では、加齢とトレーニングの影響が見られたものの、脱トレーニングの影響は見られなかった。心重量は持続的なトレーニングにより肥大する事が知られており<sup>16-18)</sup>、本研究も先行研究と同様の結果であった。また脱トレーニングについては、3～6週間の脱トレーニングで、トレーニングの効果は消失している事が報告されている<sup>19-21)</sup>。本研究では脱トレーニング期間が先行研究よりも長期間である。本研究の結果も先の研究と同様に、脱トレーニングによりトレーニングの効果が消失したものと考えられる。肝重量では心重量と同様に加齢による影響が認められた。しかし、相対的肝重量においては、加齢およびトレーニングの影響は見られなかった。肝臓重量は、持久性走トレーニング群と対照群では有意な差が見られなかったとする報告がある<sup>7)</sup>。重要な臓器である肝臓は、その機能から考えて、各ライフステージやトレーニングなど生体が置かれている状況においても、体重に見合った組織重量が維持されていると考えられる。鼠径部および

腹膜後方の脂肪組織については、心重量と同様に加齢および持久性走トレーニングの影響がみられた。Greenwood と Hirscht<sup>22)</sup>は、通常の飼料を与えているラットでは、多くの脂肪細胞の増殖は離乳前および離乳後の早い時期に起こり、成熟した脂肪細胞中の脂肪量の増加は、ラットが成熟しても続くことを報告している。また、脱トレーニング期間中の摂食量および摂食効率が対照群との間に差がみられないこと<sup>15)</sup>からも、加齢による脂肪組織重量の変化は成熟期以降の正常な増加であると考えられる。ラットの体脂肪量については、Dohm ら<sup>23)</sup>、Fiebig ら<sup>24)</sup>および Friedman ら<sup>25)</sup>が、持久性走トレーニングにより、対照群に比べてトレーニング群で有意に低値を示す事を報告している。また Friedman ら<sup>25)</sup>、Askew ら<sup>26)</sup>および Saldanha Aoki ら<sup>27)</sup>が、持久性走トレーニングにより脂肪組織重量は低値を示すことを報告している。本研究でも両脂肪組織重量が低値を示した。このことは持久性走トレーニング効果のひとつと考えられる。DT 群では両脂肪組織重量の相対的重量が、同週齢の対照群との間に有意な差が認められなかった。脂肪組織重量に対するトレーニングの影響も、その後の脱トレーニングにより消失したものと考えられる。

骨格筋重量に関しては、腓腹筋外側部を除く下肢の筋で、相対的筋重量において加齢に伴う変化がみられた。先行研究では、約80週齢のラットで、若齢群に比べて筋重量には有意な差が認められないものの、相対的筋重量に差が認められると報告している<sup>7)28)</sup>。本研究でも、23週齢のC群に比べ77週齢のC群で、内側腓腹筋を除く他の下肢筋で筋重量が高値を示した。しかし、相対的筋重量は低値を示し、先行研究と同様であった。先行研究では、老化により体重の増加に見合うだけの筋重量の増加がみられないことを老化の始まりだととらえている<sup>16)28)</sup>。本研究に用いた実験動物も19ヶ月齢以上であり、この時期が老齢期初期にあたり、脱トレーニング期間は成熟から初老にいたる時期となる。本研究の結果から成熟期初期にトレーニングを十分に行っても、それ以後にトレーニングを休止あるいは中止した場合、加齢による筋量低下は避けられないものと推察できる。腓腹筋について、本研究と同系統のラットで、5ヶ月齢に比べて25ヶ月齢の群で、筋重量に有意な差はみられないものの、相対的筋重量において有意な差がみられたとする報告がある<sup>29)</sup>。本研究では腓腹筋の内側部において、23週齢のC群に比べ77週

齢両群で有意に低値を示した。しかし、外側部においては内側部と異なり、23週齢のC群に比べ77週齢の両群で有意に高値を示した。外側部と内側部を総計した腓腹筋として加齢の影響をみると、腓腹筋重量 (23C 群;  $1013 \pm 31\text{mg}$ , 23T 群;  $1108 \pm 46\text{mg}$ , 77C 群;  $1469 \pm 74\text{mg}$ , 77DT 群;  $1385 \pm 71\text{mg}$ ) および相対的腓腹筋重量では (23C 群;  $537 \pm 15\text{mg}$ , 23T 群;  $602 \pm 30\text{mg}$ , 77C 群;  $504 \pm 26\text{mg}$ , 77DT 群;  $493 \pm 15\text{mg}$ )、23週齢のCおよびT群に比べ77週齢の両群で有意な差がみられた。本研究においても、腓腹筋全体では、先行研究<sup>29)</sup>と同様な変化を示している。しかし、腓腹筋の内側部と外側部の変化が異なったことから、腓腹筋における加齢による筋量の減少には、部位差の存在することが示された。これは腓腹筋の内側部と外側部の筋線維組成、生理的機能あるいは活動時の動員が異なることによるものと考えられるが詳細は不明である。

本研究におけるトレーニングの効果について、長指伸筋とヒラメ筋を除く他の下肢筋で先行研究と同様に相対的筋重量で効果がみられた<sup>6) - 8)28)</sup>。先行研究では相対的筋重量において長指伸筋やヒラメ筋についても持久性走トレーニングの効果が観察されているが、本研究では有意な差がみられなかった。これは、トレーニングの相対的な強度およびラットの系や週齢の違いによると考えられるが、詳細は不明である。また脱トレーニングの影響をみると、全ての下肢筋において同週齢の対照群と有意な差が認められず、トレーニングの影響は消失したと考えられる。我々は先の報告で下肢骨格筋の蛋白濃度に対する脱トレーニングの影響は認められなかったことを報告している<sup>8)</sup>。脱トレーニング期間は飼育条件としては、体支持や適度な運動が行える穏やかな飼育条件である。トレーニングにより一時的に更新した蛋白質や脂質、炭水化物、水分といった筋の構成物質の代謝が、穏やかな条件にみあった速度に落ちついたため、それらの量に変化が見られず、筋重量が対照群と同程度になったと考えられる

本研究では、長期間の脱トレーニング期間により、心臓、肝臓、脂肪の各組織重量と下肢骨格筋重量に対するトレーニングの効果は消失したと考えられた。このことはトレーニングの継続が無い場合、組織重量特に骨格筋量の維持や加齢による減少の抑制は難しいことを示している。

## 引用文献

- 1) Coyle EF. Detraining and retraining of training-induced adaptation. (In) Blair SN. Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia: Lea & Febiger, 1990; 83 9.
- 2) Hawley JA and Burke L. Peak Performance: Training and Nutritional Strategies for Sports. St Leonards, NSW (Australia): Allen & Unwin, 1998; 29 31.
- 3) Mujika I, Padilla S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. Sports Med 2000; 30(2): 79 8.
- 4) Mujika I, Padilla S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II: Long term insufficient training stimulus. Sports Med 2000; 30(3): 145 54.
- 5) 山口正弘, 加納和孝, 平田恒彦, 高坂健二. 運動生化学. 1版. 京都: 金芳堂, 1990; 53 68.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 辻本尚弥, 鈴木英樹. ラット下肢骨格筋に対する長期間の脱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 2006; 14: 29 35.
- 9) Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Basic principles of animal experiments in research institutes. Notification No 71, 1 June 2006.
- 10) Science Council of Japan, Guidelines for Proper Conduct of Animal Experiments. 1 June, 2006.
- 11) Naito H, Powers SK, Demirel HA, Aoki J. Exercise training increases heat shock protein in skeletal muscles of old rats. Med Sci Sports Exerc 2001; 33(5): 729 34.
- 12) Ryan TA. Significance tests for multiple comparison of proportions, variances, and other statistics. Psychol Bull 1960; 57: 318 28.
- 13) 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.
- 14) 石橋正彦, 高橋寿太郎, 菅原七郎, 安田泰久. 心実験動物学ラット. 1版. 東京: 講談社, 1984.
- 15) Lambert EV, Wooding G, Lambert MI, Koeslag JH, Noakes TD. Enhanced adipose tissue lipoprotein lipase activity in detrained rats: independent of changes in food intake. J Appl Physiol 1994; 77(6): 2564 71.
- 16) Holloszy JO. Adaptations of muscular tissue to training. Prog Cardiovasc Dis 1976; 18(6): 445 58.
- 17) Nutter DO, Priest RE, Fuller EO. Endurance training in the rat. I. Myocardial mechanics and biochemistry. J Appl Physiol 1981; 51(4): 934 40.
- 18) Nutter DO, Priest RE, Fuller EO. Endurance training in the rat. II. Performance of isolated and intact heart. J Apply Physiol 1981; 51(4): 941 7.
- 19) Craig BW, Martin G, Betts J, Lungren M, Lambret V, Kaiserauer S. The influence of training-detraining upon the heart, muscle and adipose tissue of female rats. Mech Ageing Dev 1991; 57(1): 49 61.
- 20) Kemi OJ, Haram PM, Wisloff U, Ellingsen O. Aerobic fitness is associated with cardiomyocyte contractile capacity and endothelial function in exercise training and detraining. Circulation 2004; 109(23): 2897 904.
- 21) Karhunen MK, Ramo MP, Kettunen R, Hirvonen L. The cardiovascular effects of deconditioning after endurance training in rats. Acta Physiol Scand 1988; 133(3): 307 14.
- 22) Greenwood MR, Hirsch J. Postnatal development of adipocyte cellularity in the normal rat. J Lipid Res 1974; 15(5): 474 83.
- 23) Dohm GL, Beecher GR, Stephenson TP, Womack M. Adaptations to endurance training at three intensities of exercise. J Appl Physiol 1977; 42(5): 753 7.
- 24) Fiebig RG, Hollander JM, Ney D, Boileau R, Jeffery E, Ji LL. Training down-regulates fatty

acid synthase and body fat in obese Zucker rats. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(7): 1106-14.

- 25) Friedman JE, Ferrara CM, Aulak KS, Hatzoglou M, McCune SA, Park S, Sherman WM. Exercise training down-regulates ob gene expression in the genetically obese SHHF/Mcc-fa(cp) rat. *Horm Metab Res* 1997; 29(5): 214-9.
- 26) Askew EW, Barakat H, Kuhl GL, Dohm GL. Response of lipogenesis and fatty acid synthetase to physical training and exhaustive exercise in rats. *Lipids* 1975; 10(8): 491-6.
- 27) Saldanha Aoki M, Rodriguez Amaral Almeida AL, Navarro F, Bicudo Pereira Costa-Rosa LF, Pereira Bacurau RF. Carnitine supplementation fails to maximize fat mass loss induced by endurance training in rats. *Ann Nutr Metab* 2004; 48(2): 90-4.
- 28) 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.
- 29) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 小笠原仁美, 稲垣洋, 春日規克. ラット腓腹筋外側部表層における筋線維及び毛細血管の老化による変化. 名古屋経済大学・市屯学園短期大学自然科学研究会会誌 1996; 31(1): 1-13.