高強度ジャンプ・トレーニングがラット 骨格筋線維組成に及ぼす影響

戸 塚 学 (日本体育大学) 安 部 孝 (東京大学)
 広 田 公 一 (日本体育大学)

(昭和63年9月1日 受付)

Effect of high intensity jump training on the proportion of slow- and fast-twitch
 fibers in rat skeletal muscle

Manabu Totsuka¹, Takashi Abe² and Koichi Hirota³

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of high intensity jump training on the proportion of slow-twitch (ST) and fast-twitch (FT) fibers in skeletal muscle from male Wistar strain rats (6 weeks after birth, n=40). Animals were assigned to one of four groups: a control group (n=10) and three exercise groups: Jump A (JA n=10), Jump B (JB n=10), Jump (JC n=10). Training exercise consisted of successive jumping trials of 20 repetitions (JA group), 50 reps. (JB group) and 50 reps. ×2 sets (JC group) on the jump height of about 2.3-fold of their body length (tail excluded). Exercise groups were trained 6 days a week for 10 weeks. After the training period, fiber type proportion of the M. gastrocnemius was histochemically examined.

The results were summarized as follows:

- 1) The body weight in three training groups was significantly smaller than that of the control group.
- 2) Relative muscle weight (muscle weight/body weight) of the M. gastrocnemius in the JC group was significantly larger than that of the control group.
- 3) At deep region of M. gastrocnemius in JC group, significant decreases in the percentage of ST fibers were observed with concomitant increases in the FT population.

These results suggest that the alteration of ST fibers to FT fibers in rats observed after high intensity jump training may be due to the transformation of ST fibers to FT fibers.

(Manabu Totsuka, Takashi Abe and Koichi Hirota, "Effect of high intensity jump training on the proportion of slow- and fast-twitch fibers in rat skeletal muscle", *Japan J. Phys. Educ.*, 34—2 : 133—140, September, 1989)

結 言

骨格筋線維には収縮および代謝特性の面から異なる数種類の線維が認められ、骨格筋ではこれらの各筋線維が混在した状態で分布している。した

がって、骨格筋に占める各筋線維の割合（筋線維組成）の違いは、筋の運動特性に影響する。たとえば、短時間に爆発的な力の発揮を必要とする種目の優秀選手では、主働筋に速筋線維の占める割合が多い。また、その逆にマラソンなどのような

1 Department of Physical Fitness, Nippon College of Physical Education, Setagaya-ku, Tokyo (158)

2 College of Art and Science, University of Tokyo, Meguro-ku Tokyo (153)

3 Department of Exercise Physiology, Nippon College of Physical Education, Setagaya-ku, Tokyo (158)

持久的種目で優れた成績をもつ選手では、遅筋線維の占める割合が多いことも報告されている^{3),4),5),6),13),33)}。このように、個々の競技者における筋線維組成が競技成績を裏付ける重要な要因のひとつであると考えられることから、トレーニングによってこの筋線維の割合が変化するかどうかは大変興味のもたれるところである。

一般に、骨格筋の筋線維組成は、遺伝的素因による影響を強く受けているため、身体トレーニングのような後天的な要因によって各線維間での移行は基本的に起きないものと考えられてきた。しかし、Luginbuhl, et al.²⁵⁾はラットを、Simoneau, et al.²⁹⁾はヒトを対象に、高強度のインターバル・トレーニングを負荷した結果、トレーニングにより外側広筋における遅筋線維の割合の増加が認められたことを報告している。このことから被験筋に負荷するトレーニングの条件によっては筋線維タイプ間の移行の可能性を全く否定することもできないように思われる。

これまでの実験動物を用いた基礎的な研究では、トレーニング条件の設定が比較的容易な走トレーニングを負荷した時の筋線維組成に与える影響について主に検討されてきた。一方、ラットにウェイト・トレーニングやジャンプ・トレーニングなどのパワー・トレーニングを負荷したときの変化についての報告例は極めて少ない。

そこで、本研究では、新しく考案した実験動物のパワー・トレーニング法としてのラットのジャンプ・トレーニングを用い、これまでの動物に関する報告^{16),17),22)}とは異なるトレーニングの種類ならびに条件下でのトレーニングが、ジャンプ動作の主働筋と考えられる腓腹筋²³⁾の筋線維組成に及ぼす影響について検討した。

方 法

1. 実験動物

実験には生後5週齢のWistar系雄ラット40匹を用いた。1週間の予備飼育後、体重が等しくなるように対照群(C群 n=10)と運動群(J群 n=30)に分類した。さらに、運動群は、運動量の差異によりJA・JB・JC群(各群 n=10)の3群に分

Photo. 1. The jump box and electronic stimulator. The height of jump box is changed by sliding box (A).

類した。

2. トレーニング条件

トレーニングは、ラットのジャンプ・トレーニング用に作成したジャンプ箱を用いた³⁴⁾(写真1)。この箱は、電気刺激線を配したアクリル板製の床盤(縦23cm×横20cm)に二重の箱(アクリル板製)をのせたもので、内箱のスライドにより高さを自由に変えることが可能な構造である。ラットをトレーニング装置の床盤の上に置き、電気刺激器により20Vの連続的な電気刺激を与え、ラットが前脚で箱の上端をつかむようジャンプさせた(写真2)。なお、予めラットには、箱の上端に飛びつくことにより電気刺激から逃れられるということを学習させておいた。

トレーニング条件のうち、運動強度は箱の高さによって、運動量はジャンプ回数によって設定することができる。運動群は、トレーニング開始1週間目をジャンプ運動の学習期間とし、以後トレーニング開始4週間目まではそれぞれの群毎に箱の高さと回数の組合せを変えながら負荷を漸増

Photo. 2. Exercise protocol consisted of placing rat on floor of box (a) and inducing it (first by electrical stimulation and later by conditioned reflex) to jump to the top of the box (b).

して行った。トレーニング開始5週目以降は全運動群とも箱の高さは体長(尾の部分を除く)の約2.3倍に固定し、ジャンプの回数によって、ジャンプA群(JA群)1日20回、ジャンプB群(JB群)1日50回、ジャンプC群(JC群)1日100回(50回×2セット)と分けた。トレーニングは、連続的なジャンプ運動で行い、週6日の頻度で10週間継続された。なお、ほとんどのラットが1週間の学習期間で条件づけられ、以後電気刺激はジャンプ開始時の1, 2回使用するだけであった。

3. 筋サンプルの採取および筋線維組成の分析

トレーニング終了後、エーテル麻酔下で解剖し、ジャンプに関与すると考えられる下肢の各筋群(腓腹筋・ヒラメ筋・足底筋・長指伸筋)を摘出し秤量した。その後ただちに液体窒素で冷却したイソペンタン中で急速凍結し、組織化学的染色まで -80°C のメディカル・フリーザー内に貯蔵した。

組織化学的検討は、ジャンプ運動の主働筋である腓腹筋の外側部についてクリオスタット(-20°C)により筋腹中央部で厚さ $10\mu\text{m}$ の連続切片を作成し、室温で1~2時間乾燥した後Myosin ATPase染色(preincubation pH 4.3・10.3)¹⁰⁾を施した。得られた標本についてFast-twitch fiber(速筋線維)とSlow-twitch fiber(遅筋線維)の構成比を明らかにした。なお、腓腹筋は部位により筋線維組成が異なるため、深層部と表層部でそれ

ぞれ最低400本の筋線維についてそのタイプを調べた。

結 果

1. 体重および筋重量

実験期間中の体重は、JA群およびJC群がトレーニング開始1週間後から、JB群はトレーニング開始2週間後からC群に比較して有意な低値を示し、この傾向はトレーニング終了時まで継続した(表1)。

筋重量は、測定した下肢の全筋(腓腹筋、ヒラメ筋、足底筋、長指伸筋)において対照群と運動群の間に有意な差は認められなかった。一方、体重に対する相対筋重量は、ジャンプ運動時の主働筋であると考えられる腓腹筋においてのみ、C群と比較して運動量が最も多いJC群に有意な高値($p<0.05$)が認められた(表2)。

2. 筋線維組成

筋線維の組成では、腓腹筋の深層部においてST線維の比率はC群に比較し、JC群が最も低値を示し、両者に有意な差($p<0.05$)が認められた。また、その逆に、FT線維の割合は、JC群が最も高値を示し、C群に比べ有意差($p<0.05$)が認められた。筋線維の比率を運動量との関係でみると、運動量の多い群ほどST線維の割合は低値を示し、FT線維は高値を示す傾向が認められた。な

Table 1. Changes of body weight in four groups during experiment.

After Birth (Week)	Training (Week)	Cont. Gr. (g)	Jump Tr. Gr. (g)		
			A	B	C
6	0	140± 4.7	141± 3.2	142± 2.6	141± 2.8
7	1	172± 7.1	162± 6.2**	169± 6.6	171± 4.8
8	2	214± 6.5	200± 7.5**	202± 8.3**	206± 6.1*
9	3	260± 7.0	242±11.4**	246± 8.7**	248± 7.9**
10	4	288± 8.6	270±15.6*	276± 8.9*	273±11.3*
11	5	305±10.5	288±16.9*	292±10.2*	287±12.3**
12	6	332±10.5	314±17.1*	314±10.7**	308±15.8**
13	7	348±14.9	328±19.1*	332±11.0*	327±19.3*
14	8	370±16.0	346±19.3*	344±12.9**	342±21.1*
15	9	382±17.4	353±18.3*	354±12.8*	344±21.5**
16	10	391±18.1	363±18.9*	363±14.4*	355±21.2**

Values are means±SD.

Significant difference from control. (*p<0.05, **p<0.01)

Table 2. Comparison of muscle weight in control and trained groups.

	Control	Jump A	Jump B	Jump C
M. extensor digitorum longus				
(g)	0.147±0.007	0.138±0.009	0.142±0.007	0.136±0.015
(g/100g BW)	0.039±0.001	0.039±0.002	0.040±0.002	0.040±0.002
M. soleus				
(g)	0.160±0.022	0.154±0.017	0.156±0.009	0.152±0.014
(g/100g BW)	0.047±0.007	0.043±0.004	0.044±0.003	0.044±0.003
M. plantaris				
(g)	0.400±0.037	0.370±0.031	0.364±0.019	0.346±0.040
(g/100g BW)	0.106±0.011	0.104±0.006	0.102±0.004	0.104±0.008
M. gastrocnemius				
(g)	1.832±0.106	1.757±0.136	1.779±0.077	1.795±0.161
(g/100g BW)	0.484±0.028	0.492±0.019	0.498±0.012	0.514±0.028*

Values are means±SD.

Significant difference from control. (*p<0.05)

Table 3. Percentage of the number of each fiber type in m. gastrocnemius.

	Deep region(%)		Superficial region(%)	
	ST	FT	ST	FT
Control	46.8±6.5	53.2±6.5	—	100.0±0.0
Jump A	51.4±4.3	48.6±4.3	—	100.0±0.0
Jump B	46.6±8.3	53.4±8.3	—	100.0±0.0
Jump C	38.6±9.1*	61.4±9.1*	—	100.0±0.0

Values are means±SD.

Significant difference from control. (*p<0.05)

お、腓腹筋の表層部には遅筋線維である ST 線維の存在は認められなかった (表 3)。

考 察

すでに、勝田ら²³⁾は、パワー・トレーニングが骨格筋に及ぶ影響について、電気刺激と音により条件づけされたラットを用いて検討している。それによると、通路に高さ25cmの障害物を置き、これを飛び越えさせるジャンプ運動を1日10回×2セット、週6日の頻度で8週間行わせたところ、ヒラメ筋と足底筋の筋線維組成には変化がみられなかったことを報告している。そして、この結果について、運動に対する初期的適応と思われる酵素活性にもトレーニングの効果が認められなかつ

たことから, トレーニングの条件に問題点があった可能性を示唆し, 連続的なジャンプ運動方法の開発, ならびに運動強度, 運動量, トレーニング期間, 被験筋について再検討を要することを指摘している。

本研究で考案したジャンプ・トレーニングは, ジャンプ高によって運動強度を, ジャンプ回数によって運動量を設定することができ, しかも, 連続ジャンプで, その間隔も変えることができる利点がある。本研究のトレーニング強度として用いた体長の約2.3倍のジャンプ高は, ジャンプ時の床反力から求めた力積(筋の運動量)の値から, 最大ジャンプ時の約90%の強度³⁴⁾に相当するものである。また, 連続ジャンプによる生体負担度をみるひとつの指標として, ジャンプ後の血中乳酸値を測定したが, 安静時の2.6mM/dlに比べ, 連続20回ジャンプ後で約2.5倍, 連続50回では約4.4倍以上に達していた。このような結果から, 本研究で用いたジャンプ・トレーニングは, anaerobicなハイ・パワー・トレーニングとして十分なものであったと考えられる。

トレーニング期間についても, 発育に伴うジャンプ能力(最大ジャンプ高)の推移について検討した予備実験³⁴⁾の結果に基づき, ラットのジャンプ能力に増加がみられている生後6~15週齢にトレーニングを実施した。なお, 石原ら¹⁸⁾は, ラットの発育による腓腹筋の筋線維組成の変化について, 深層部では生後4週齢までみられたが表層部で全く変化が認められなかったと報告しており, 本研究のトレーニング開始時には, ラットの筋線維組成はすでに発育の要因により変化しない状態に達していたものと考えられる。

ラットを用いて持久性トレーニングを行った結果では, トレーニングに伴い体重の増加の抑制が認められたという報告が数多くみられる^{11), 19), 32)}。本研究では, トレーニング量に関係なく, ジャンプ・トレーニングを行なったいずれの群においても対照群と比較して体重増加の抑制は同様に示されている。この体重増加抑制の原因として, 諸報告^{8), 31)}に指摘されているように, 運動による脂肪沈着の減少, ストレスによる食欲の低下と食物摂

取量の減少あるいは運動量の増加に伴う消費エネルギーの増大などの要因が考えられている。本研究では摂餌量についてのみ測定されたが, 運動群の摂餌量は対照群と比較して減少が認められた。この減少は主にジャンプ運動によるストレスに起因しているものと考えられる。

筋重量については, 腓腹筋, ヒラメ筋, 足底筋, 長指伸筋を測定した結果, いずれの群のどの筋においても対照群と比較して有意な増加はみられなかった。しかし, 腓腹筋の体重当りで示した相対重量では, JA群からJC群へと, 運動量の増加に伴って増加する傾向にあり, JC群では対照群と比較して有意な増加がみられた。このことは, ジャンプ・トレーニングの主働筋と考えられる腓腹筋ではトレーニングによる効果が筋重量の面でも認められたものと考えられる。

本研究では, 腓腹筋の深層部にジャンプ・トレーニングによりST線維の有意な低下ならびにFT線維の有意な増加という, 遅筋線維および速筋線維の比率の変化が示された。トレーニングによる骨格筋線維組成の変化に関しては, Gollnick, et al.¹⁴⁾のヒトに自転車エルゴメーターによる持久性トレーニングを負荷した結果, 筋線維組成に変化がみられなかったという報告, そして, Bagby, et al.²⁾のラットを用いてトレッド・ミルによる持久性トレーニングが筋線維組成に及ぼす影響を検討した結果, 対照群と運動群との間に差がみられなかったという報告にあるように, 一般に, ST線維とFT線維の比率は変化しないとする報告が多い^{1), 7), 9), 15), 20), 27)}。また, Komi, et al.²⁴⁾の一卵性双生児のST線維の比率がほとんど類似していたという報告から骨格筋線維の組成は遺伝的な素因の影響を強く受けていると考えられてきた。しかし, Jansson, et al.²¹⁾のヒトを対象とした報告や Müller²⁶⁾のラットに関する報告をはじめとして, トレーニングにより筋線維組成の変化が認められたという報告がいくつかみられる。Scantz, et al.²⁸⁾は, クロスカントリー・スキーによる高強度の持久性トレーニングを行った結果, 三角筋においてType IIb線維の有意な減少と同時に Intermediate線維の有意な増加が認められたとし, この

Intermediate 線維の増加は速筋線維から遅筋線維への移行過程であるものと推察し、遅筋線維と速筋線維間の移行の可能性を明らかにしている。その後、ラットに10週間の高強度のインターバル・トレーニングを负荷した Luginbuhl, et al.²⁵⁾の報告では、トレーニングにより外側広筋の深層部や足底筋において Type I 線維の有意な増加とともに Type II 線維の有意な減少を認め、トレーニングの強度によっては線維間の移行が有り得ることを示唆している。ヒトについても、Simoneau, et al.^{29),30)}は、15週間の高強度インターバル・トレーニングにより外側広筋の中層部の Type I 線維が有意に増加を示したのと同時に Type IIb 線維が有意に減少したことを報告し、さらに、一卵性双生児に高強度の持久性トレーニングを负荷した結果、%Type I 線維の有意な増加ならびに %Type IIb 線維の有意な減少を認めたが、双生児間ではその変化に類似性が認められなかったとし、骨格筋線維の収縮特性はただ単に遺伝的な因子により支配されるものではなく、身体運動により変化する可能性があることを示唆している。このような結果から、近年、トレーニング条件によっては、身体運動により FT 線維から ST 線維、あるいはその逆へのタイプの移行も起こり得るものと考えられるようになってきている。

本研究で示された ST 線維から FT 線維への筋線維組成の移行は、走トレーニングに関する報告^{25),28),29)}とは異なるものであった。Gillespie, et al.¹²⁾は、モルモットを用いて走運動とジャンプ運動における骨格筋のグリコーゲンの枯渇状態を筋線維タイプ別に調べ筋線維の動員様式を検討したところ、前者では SO>FOG>FG 線維、後者では FG>FOG>SO 線維という結果が認められたことを報告している。また、本研究の予備実験の結果（未発表資料）では、1回のジャンプ運動につきラットの筋が力を発揮する時間は約0.1秒間であり、この間に記録される Peak Force は体重の約6～7倍にも達することが明かである。これらから、ジャンプ運動には主として速筋線維が動員されているものと推察できる。さらに、筋線維の比率を運動量との関係でみると、運動量が FT 線

維の比率の増加に反映されていることが認められ、移行のみられた JC 群の腓腹筋では、強度と量の両面からかなりの負荷がかかっていたことと推察できる。

これまでの高強度持久性トレーニングの報告^{25),29),30)}から、遅筋線維が占める割合が増加するための必要条件としては、先ず負荷した運動に対して遅筋線維が速筋線維より優位に動員されること、ならびに、遅筋線維の発揮する張力だけではその運動の持続が困難な強度および量が負荷されることが挙げられ、これらの条件を満たすことにより筋線維組成の変化の可能性があることが考えられる。したがって、本研究では負荷強度の高いジャンプ・トレーニングとその十分な運動量により ST 線維に特異的な適応が起こったものと推察され、ハイ・パワー・トレーニングにより遅筋線維から速筋線維への筋線維組成の移行の可能性が考えられることが示唆された。

要 約

実験動物のパワー・トレーニング法として考案したラットのジャンプ・トレーニングが、ジャンプ動作の主働筋と考えられる腓腹筋の筋線維組成に及ぶ影響について検討した。

Wistar 系雄ラットを対照群 (C) とジャン回数異なる 3 群 (JA 20回, JB 50回, JC 100回) に分類し、10週間のジャンプ・トレーニングを负荷し、腓腹筋の筋線維組成を測定した。

1. 筋重量は各群間に有意な差は認められなかった。一方、体重に対する相対筋重量については、最も運動量が多かった JC 群の腓腹筋で C 群と比較して有意な高値が認められた。

2. 筋線維組成は、トレーニング後 JC 群腓腹筋の深層部に C 群と比較して、ST 線維の有意な減少ならびに FT 線維の有意な増加が認められた。

以上の結果から、ラットに負荷強度の高いジャンプ・トレーニングを十分に行わせることにより、遅筋線維から速筋線維への筋線維組成の移行がありうることを示唆された。

引用・参考文献

- 1) Andersen, P. and Henriksson, J., "Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscles fibres." *Acta Physiol. Scand.* 99:123-25, 1977.
- 2) Bagby, G.J., Sembrowich, W.L. and Gollnick, P.D., "Myosin ATPase and fiber composition from trained and untrained rat skeletal muscle." *Am. J. Physiol.*, 223:1415-17, 1972.
- 3) Burke, E.R., Cerny, F., Costill, D. and Fink, W., "Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists." *Med. Sci. Sports.*, 9:109-12, 1977.
- 4) Clarkson, P.M., Kroll, W. and McBride, T.C., "Maximal isometric strength and fiber type composition in power and endurance athletes." *Eur. J. Appl. Physiol.*, 44:35-42, 1980.
- 5) Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G. and Saltin, B., "Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes." *J. Appl. Physiol.*, 40:149-54, 1976.
- 6) Costill, D.L., Fink, W.J. and Pollock, M.L., "Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners." *Med. Sci. Sports.*, 8:96-100, 1976.
- 7) Costill, D.L., Coyle, E.F., Fink, W.F., Lesmes, G.R. and Witzmann, F.A., "Adaptations in skeletal muscle following strength training." *J. Appl. Physiol.*, 46:96-99, 1979.
- 8) Crews III, E.L., Fuge, W., Oscai, L.B., Holloszy, J.O. and Shank, R.E., "Weight, food intake, and body composition: Effect of exercise and protein deficiency." *Am. J. Physiol.*, 216:359-63, 1969.
- 9) Dons, B., Bollerup, K., Petersen, F.B. and Hancke, S., "The effect of weight-lifting exercise related to muscle cross-sectional area in humans." *Eur. J. Appl. Physiol.*, 40:95-106, 1979.
- 10) Dubowitz, V. and Brooke, M.H., *Muscle biopsy: A modern approach*, W.B. Sanders Company Ltd.: London, 1973. pp. 32-33.
- 11) 藤沢政美・田中真樹・洙海東・堀田昇・石河利寛「ラットの四肢および後肢の骨格筋, 毛細血管に及ぼす水泳トレーニングの影響」*東京体育学研究*, 12:33-39, 1985.
- 12) Gillespie, P.D., Simpson, D.R. and Edgerton, V.R., "Motor-unit recruitment as reflected by muscle fiber glycogen loss in a prosimian (bushbaby) after running and jumping." *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 37:817-24, 1974.
- 13) Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert IV, C.W., Piehl, K. and Saltin, B., "Enzyme Activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men." *J. Appl. Physiol.*, 33:312-19, 1973.
- 14) Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saltin, B., Saubert IV, C.W. and Shepherd, R.E., "Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle." *J. Appl. Physiol.*, 34:107-11, 1973.
- 15) Green, H.J., Thomson, J.A., Daub, W.D., Houston, M.E. and Ranney, D.A., "Fiber composition, fiber size and enzyme activities in vastus lateralis of elite athletes involved in high intensity exercise." *Eur. J. Appl. Physiol.*, 41:109-17, 1979.
- 16) 堀田昇・内藤久士・沢田享・富田寿人・石河利寛「種々の持続的トレーニングがラットの骨格筋に及ぼす組織化学的および生化学的影響」*東京体育学研究*, 11:85-91, 1984.
- 17) 石原昭彦・勝田茂・藤田紀盛「持久性トレーニングが神経, 筋組織の組織化学的特性におよぼす影響について」*体育学研究*, 28:215-25, 1983.
- 18) 石原昭彦・勝田茂・藤田紀盛「発育にともなうラット神経, 筋組織の組織化学的特性の変化について」*体育学研究*, 29:125-33, 1984.
- 19) 石原昭彦・大石康晴・志手典之・勝田茂「スプリントトレーニングがラット骨格筋線維および脊髄支配運動ニューロンの組織化学的特性におよぼす影響」*体力科学*, 36:179-85, 1987.
- 20) 伊藤一生「ラット骨格筋線維に及ぼす持久性トレーニングの影響に関する組織化学的研究」*体力科学*, 30:157-66, 1981.
- 21) Jansson, E., Sjodin, B. and Tesch, P., "Changes in muscle fibre type distribution in man after physical training." *Acta. Physiol. Scand.*, 104:235-37, 1978.
- 22) 金尾洋治・勝田茂「スプリントおよび持久トレーニングがラットの骨格筋線維および毛細血管の発達におよぼす影響」*体力科学*, 32:311-19, 1983.
- 23) 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*, 1:27-33, 1979.
- 24) Komi, P.V., Viitasalo J.H.T., Havu, M., Thorstensson, A., Sjodin, B. and Karlsson, J., "Skeletal muscle fibers and muscle enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes." *Acta. Physiol. Scand.*, 100:385-92, 1977.
- 25) Luginbuhl, A.J., Dudley, G.A. and Staron, R.S., "Fiber type changes in rat skeletal muscle after intense interval training." *Histochem.*, 81:55-58, 1984.
- 26) Müller, W., "Temporal progress of muscle adaptation to endurance training in hind limb muscles of young rats." *Cell Tiss. Res.*, 156:61-87, 1974.
- 27) Saubert IV, C.W., Armstrong, R.B., Shepherd, R.E. and Gollnick, P.D., "Anaerobic enzyme adaptations to sprint training in rats." *Pflügers Arch.*, 341:305-12, 1973.
- 28) Schantz, P., Biller, R., Henriksson, J. and Jansson,

- E., "Training-induced increase in myofibrillar ATPase intermediate fibers in human skeletal muscle." *Muscle Nerve.*, 5: 628—36, 1982.
- 29) Simoneau, J.A., Lortie, G., Boulay, M.R., Marcotte, M., Thibault, M.C. and Bouchard, C.A., "Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training." *Eur. J. Appl. Physiol.*, 54: 250—53, 1985.
- 30) Simoneau, J.A., Lortie, G., Boulay, M.R., Marcotte, M., Thibault, M.C. and Bouchard, C.A., "Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training." *Int. J. Sports Med.*, 7: 167—71, 1986.
- 31) Stevansson, J.A.F., Box, B.M., Feleki, V. and Beaton, J.R., "Bouts of exercise and food intake in the rat." *J. Appl. Physiol.*, 21: 118—22, 1966.
- 32) 竹倉宏明・田中弘之・小野三嗣・春日規克「ラット骨格筋のトレーニング効果に関する研究—組織化学的, 生化学的手法を用いての検討—」*体内科学*, 34: 276—83, 1985.
- 33) Thorstensson, A., Larsson, L., Tesch, P. and Karlsson, J., "Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men." *Med. Sci. Sports.*, 9: 26—30, 1977.
- 34) 戸塚 学・安部 孝・松尾彰文・広田公一「ラットのジャンプトレーニングに関する基礎的研究」第42回日本体力医学会大会予稿集, 121, 1987.
-