

若年者に対するトレーニングの有効性に関する研究

	愛知教育大学	春日規克
(共同研究者)	同	加藤勝
	同	金丸香津子
	同	伊藤晶生
	同	山内秀樹

Research on the Applicability of Training at Young Age

by

Norikatsu Kasuga, Masaru Kato, Kazuko Kanamaru,

Akio Ito and Hideki Yamauchi

Department of Health and Physical Education,

Aichi University of Education

ABSTRACT

The purpose of this study is to observe the applicability of endurance training at young age. ICR strain mice were classified into 14 groups; 5 control and 9 swimming training groups. 15T, 19T, 23T, 32T and 38T groups started a 12 week training at 3, 7, 11, 20 and 26 weeks after birth, respectively. 29-T, 25-T, 21-T, 12-T (32T) and 6-T groups started the training at 3, 7, 11, 20 and 26 weeks after birth, respectively and subjected to swimming training till 32 weeks. After the training period, contractile properties of the tibialis anterior muscle were investigated.

As for the groups with the same training period, endurance capacity increased as the training started later. At the same age of 32 weeks, earlier start of training resulted in a decrease in the rate of tension development. Rates of tension decrease during tetanic contraction for 15 sec were not related to the length of training period and were less as the starting period of training was delayed.

These results suggested that pre-maturity period may not be available for starting endurance training in the course of postnatal growth in mice.

緒 言

最近では、競技スポーツにおける若年齢化傾向が見られ、種々のスポーツにおいて、小学生対象の全国レベルの大会も行われるようになった。これは、より素質ある人材の早期発見、早期トレーニングが目的となっているのであろうが、一方、発育期の児童生徒の激しいトレーニングや運動に伴う障害も増加している¹⁾。若年齢期のトレーニングの目的は、この時期に他の者より高い運動能力を会得することより、むしろどこまで能力を引き出すことができるかに主点があると考えられる。しかし、現時点では、若年期からのトレーニングが成熟期にどの程度有効な効果をもたらすかに関しては知られていない。

そこで本研究では、マウスを用いた筋力発達の基礎的実験により、若年期のトレーニングの効果を検討した。

方 法

実験には、ICR系の雄性マウスを用い、被験筋は前脛骨筋とした。トレーニングは、3、7、11、20、26週齢より、各12週間の水泳トレーニング（1日1回、疲労困憊まで泳がせることを6日/週）を行わせた群（それぞれのグループを15T、19T、23T、32T、38Tと略す）と、同週齢より32週齢までトレーニングを行わせた群（それぞれのグループをトレーニング期間を示す意味から、29-T、25-T、21-T、12-T、32-T、6-Tと略す）計9群に課し、同週齢非トレーニング群をコントロールとした。各群のマウスは5～8匹とした。

トレーニング終了後、マウスの体重を測定し、次に麻酔下で前脛骨筋を露出させ、末梢側の腱を切断しストレインゲージに接続した。この際、筋への血流は途絶さぬよう留意した。

図1に示すように、実験中はマウスを15度の傾

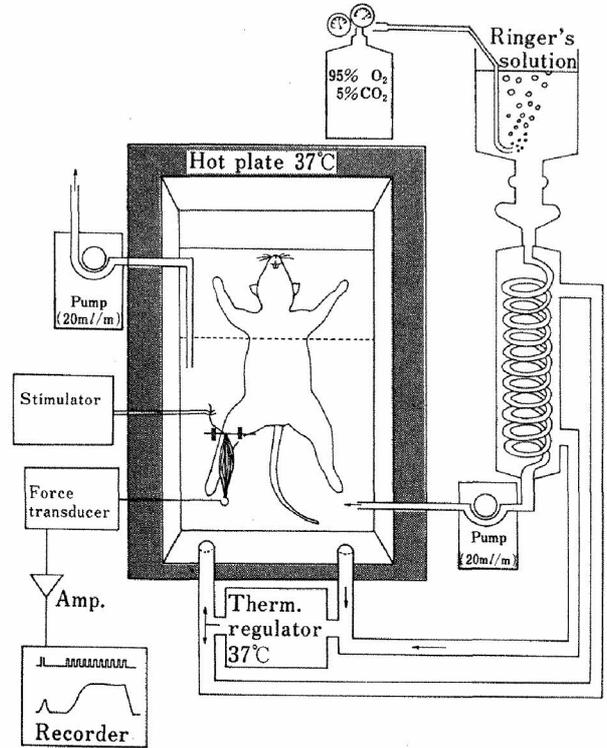


図1 Schematic illustration of experimental arrangement.

斜を持った実験台にて仰臥位にて固定し、胸部位までロック液で満たした。ロック液は酸素95%、二酸化炭素5%の混合ガスにてバブリングし、36～37°Cを保ち、また毎分20mlの割合にて新しい液と交換した。筋の単収縮、強縮張力を得るため、腓骨神経からの電気刺激を与えた。刺激の条件は、0.1msecの持続時間で、強度は最大張力が得られる矩形波パルスとした。また、強縮張力を得るための刺激頻度は200Hzとした。張力の測定後、筋湿重量を測定した。また、反対脚前脛骨筋のグリコーゲン量をLoら⁷⁾の方法により測定した。3より19週齢までトレーニングを行った15T群とコントロール群のみ、トレーニング効果の有効性を検討するため、CK、PFK、SDHの測定を行った^{2,10)}。

結 果

表1には、15週齢のトレーニング群とコントロール群の前脛骨筋内CK、PFK、SDH活性値を平

表1 Enzyme activities of *M. tibialis anterior* in swimming and control groups.

	greatin Kinase (I.U./mg protein)	Phosphofructokinase (I.U./mg protein)	Succinate Dehydrogenase (μ M/min/mg protein)
Control group	75.41 \pm 8.07	13.19 \pm 2.86	3.23 \pm 1.68
Trained group	84.94 \pm 10.05	16.39 \pm 3.62	3.58 \pm 1.25

表2 Parameters of analyzing contractile properties.

group	BW (g)	MW/BW (mg/g)	Tw/MW (g/mg)	Te/MW (g/mg)	CT (ms)	Glycogen (mg/100g)
15C	41.8 \pm 2.0 [*]	2.09 \pm 0.09 [*]	0.13 \pm 0.02 [*]	0.97 \pm 0.10	9.96 \pm 1.95	165.0 \pm 22.8
15T	34.3 \pm 1.6 [*]	1.91 \pm 0.04 [*]	0.18 \pm 0.03 [*]	1.01 \pm 0.18	10.56 \pm 1.46	191.9 \pm 36.6
19C	47.0 \pm 3.8 [*]	1.76 \pm 0.09 [*]	0.13 \pm 0.02	0.78 \pm 0.14	7.94 \pm 2.20	121.6 \pm 20.9
19T	40.0 \pm 3.0 [*]	2.07 \pm 0.13 [*]	0.15 \pm 0.03	0.90 \pm 0.23	7.54 \pm 1.67	101.7 \pm 15.4
23C	43.2 \pm 1.5	1.85 \pm 0.08	0.16 \pm 0.02	0.95 \pm 0.07	7.97 \pm 0.86	151.4 \pm 39.3
23T	43.2 \pm 2.8	1.82 \pm 0.10	0.18 \pm 0.03	0.93 \pm 0.07	7.61 \pm 1.00	144.2 \pm 56.9
32C	50.9 \pm 6.7 [*]	1.68 \pm 0.05 [*]	0.18 \pm 0.01	1.01 \pm 0.08	8.87 \pm 1.16	224.6 \pm 34.2
6-T	40.2 \pm 2.6 [*]	1.78 \pm 0.10	0.20 \pm 0.02	1.08 \pm 0.12	7.59 \pm 1.24	203.9 \pm 93.8
32T, 12-T	45.0 \pm 2.0 [*]	1.75 \pm 0.10 ^{**}	0.18 \pm 0.01 ^{**}	0.94 \pm 0.05	7.60 \pm 0.82	187.6 \pm 22.2
21-T	39.7 \pm 1.4 [*]	1.97 \pm 0.19 [*]	0.17 \pm 0.03	0.96 \pm 0.03	7.35 \pm 0.56	217.6 \pm 13.0
25-T	43.8 \pm 6.7	1.81 \pm 0.02	0.18 \pm 0.03	0.96 \pm 0.10	9.99 \pm 0.19	229.2 \pm 9.7
29-T	42.5 \pm 2.4 [*]	1.76 \pm 0.15	0.18 \pm 0.01	0.96 \pm 0.09	8.09 \pm 1.50	219.9 \pm 75.5
38C	52.9 \pm 8.7 [*]	1.51 \pm 0.12 [*]	0.17 \pm 0.02	0.82 \pm 0.12	8.42 \pm 0.64	181.5 \pm 59.8 [*]
38T	41.5 \pm 4.2 [*]	1.77 \pm 0.19 [*]	0.18 \pm 0.03	0.99 \pm 0.16	7.76 \pm 2.08	267.6 \pm 28.8 [*]

BW=body weight, MW=muscle weight, Tw=twitch tension, Te=tetanic tension CT=contraction time
(*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001)

均値と標準偏差により示した。すべての測定項目において、コントロール群に比較して、トレーニング群に高値が見られたが、いずれの項目においても有意な差ではなかった。

表2には、測定した体重、筋重量、張力特性および筋グリコーゲン量を示した。体重はいずれのトレーニング群ともコントロール群に比べ低値を示した。体重あたりの筋重量は、15, 23週齢を除きトレーニング群に高値を示した。同週齢のコントロール群とトレーニング群間の有意差を表中に示した。筋重量あたりの単収縮張力は、コントロール群の15, 19週齢において若干の低値が見られ

たが、他週齢および、強縮張力/筋重量においても、トレーニングの有無、発育に関係なく、同様の値が得られた。強縮時の張力曲線より測定した収縮時間においても、トレーニング群とコントロール群間の差は見られなかった。

図2は、15T, 19T, 32T, 38Tと同週齢のコントロール群の疲労曲線を示したものである。3秒間の間隔で1秒の強縮を20回行わせ、1回目の張力に対する相対値の平均で表わした。15Tでは、コントロール群より張力の低下率が有意ではないが大であった。同じ12週間の水泳トレーニングを行った場合において、トレーニング開始時期が

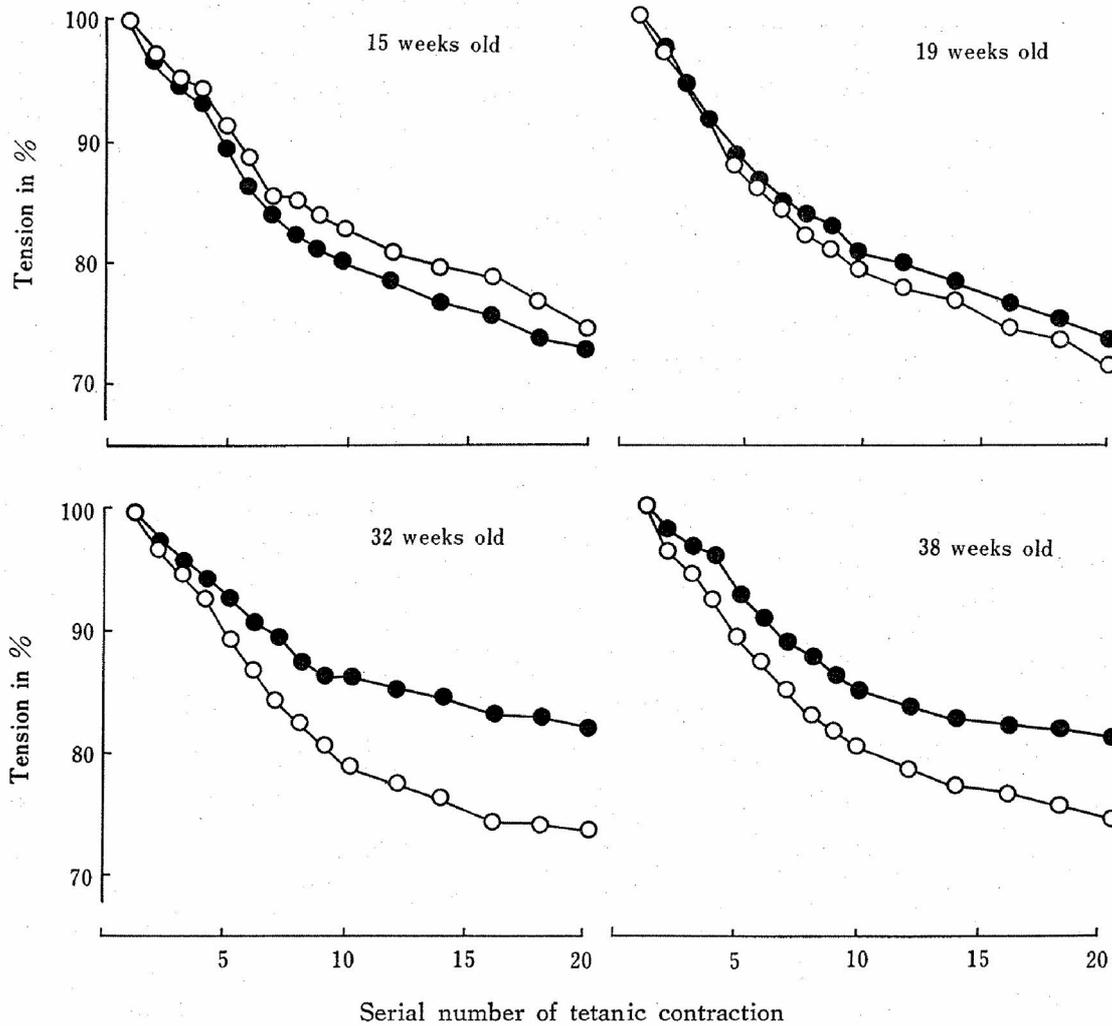


図2 Development of fatigue during a series of 20 stimulations in the tibialis anterior muscle of trained, ● and control, ○ mice. Peak tetanic tensions were measured by applying repeated stimulations of 200Hz for 1 sec with an interval of 3 sec to the nerve

おそいほど、張力の低下率が減少した。32T, 38Tの10回目以降の数値はコントロール群より有意に高い値であった ($p < 0.05$)。

図3は、強縮張力の発揮開始から最大張力の50%までの時間とその張力値より、立ち上り速度を求めたものである。比較は3, 7, 11, 20, 26週齢より32週齢まで、水泳トレーニングを行った各群とコントロール群間で行った。個々のマウスで、その値のばらつきが大きく、各群間に有意な差が得られたのは、29-Tあるいは25-T群と、コントロール群あるいは6-T群との間にのみであったが、早期にトレーニングを開始し、その結果トレーニング期間が長くなる群に張力の立ち上

り速度の減少がみられた。

図4には、15秒間の持続強縮張力曲線から得られた力-時間関係を面積として求め、各トレーニング群の平均値をコントロール群の平均値で除した値として示した。15秒間の強縮中の初期からの張力の減少率は、いずれのトレーニング群においてもコントロール群より少なく、この値は高値を示した。また、図4-aに示した、トレーニング期間を同じにした場合の比較では、開始時期が遅い32T, 38T群により高値がみられた。このことは、図4-bに示すように、トレーニングを行った期間が短い場合にも同様であった。

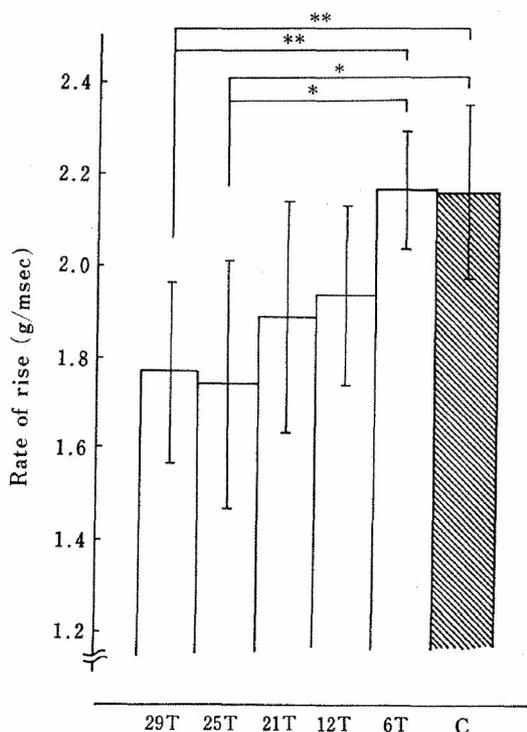


図3 Rate of tetanic tension development (dp/dt, from start of the contact to 50% of maximum tension) of the tibialis anterior muscle in trained and control groups. (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

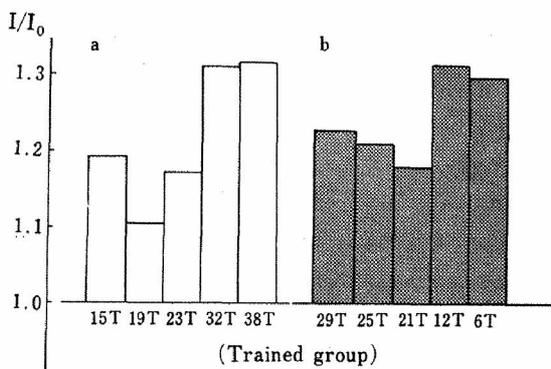


図4 The tension-time curve was recorded by giving 200Hz stimulation for 15sec to the nerve. The area represents the tension-time curve ratio of trained to control group.

考 察

マウスの離乳期にあたる、3週齢より15週齢までの12週間の水泳トレーニングが、筋の発達に対し効果をもつかに関し、筋内酵素活性から調べた結果、CK, PFK, SDH とも有意な増加は認められなかった。この15T群および23Tにおいては、筋重量/体重の増加も見られず、また図2に示

した筋持久力にも、増加が認められなかった。3, 7週齢という幼若期や成熟前期からのトレーニング開始では、持続的トレーニング効果が期待できないと考えられた。

一方、勝田ら⁶⁾は、ラットにトレッドミルを用いたパワートレーニングを行わせた結果、下肢筋の筋組成の変化から、成熟初期のトレーニング開始が、幼若期や成熟期以後の開始よりトレーニング効果があったと報告している。本実験とは、トレーニング方法、実験手法、期待される筋力特性の変化が異なるため、結果においても相違点はあるが、いずれにせよ幼若期からのトレーニングに効果が少ないという点で一致した。

張力特性の変化より、トレーニング効果の有無を検討する場合、等尺性収縮時の張力発揮の勾配、または短縮速度を調べる方法が行われている^{4,9)}。これは、筋の収縮速度が収縮蛋白のATPase活性に関係することによるものである¹⁾。異なる時期から32週齢まで、トレーニングを行った群間において、持続的トレーニング開始時期が早く、したがってトレーニング期間が長いほど、張力の立ち上り速度に低下がみられた。

このことは、筋組成の面から考えてトレーニングの延長に伴い、ATPaseの低い遅筋線維の占る割合が、増大したためであろうと考えられる。長時間の連続単収縮より得られた疲労曲線からも、トレーニング効果が調べられている⁸⁾。これは、持続的トレーニングにともなう筋内酸化酵素活性の変化を調べるための指標として、疲労曲線を見ているものである。

今回の実験の場合、トレーニング開始時期が成熟期以後であった方が、筋持久力の増加が有意に認められた。ラットやマウスの下肢の筋組成において、加齢にともない酸化酵素活性の高い筋線維の構成比が増大することが報告されている^{5,8)}。持久力の向上には、長期にわたるトレーニングが必要ではあるが、若年期からトレーニングを開始

した場合において、より早期に効果が表われることは期待できないことが示された。

その他、張力特性よりトレーニングの効果を検討するため、15秒の強縮張力の力-時間曲線の比較を行った。これは、15秒間に得られる曲線が、この短時間内のエネルギー産生系の指標になると考えられるためのものである。実験を行ったすべてのトレーニング群に、最大張力に達した以降の張力の低下率に減少が見られた。この低下率は、トレーニング期間に関係なく、開始時期が成熟期以後の群ほど少ないものであった。このことは、筋の酸化能に依存することの少ない、運動開始初期のエネルギー産生系においても、成熟以後にトレーニングを開始した方が良いことを示すものと思われる。

以上、トレーニングの開始時期、期間を変え、とくに筋の張力特性の面から持久的トレーニングの有効性を検討した結果、長期にわたるトレーニングの効果を期待するという点以外では、若年期からのトレーニングの必要性は感じられなかった。

結 語

若年期の持久的トレーニングが筋張力に及ぼす有効性を調べた。

生後3, 7, 11, 20, 26週齢のICR雄性マウスを各12週間、週6日、水泳トレーニングを行った。また、同週齢より32週齢まで継続した同トレーニングを行った。トレーニング終了後、麻酔下、血流維持の状態の前脛骨筋の張力特性を調べ、同週齢のコントロール群との比較を行った。

トレーニング期間が同じであり、トレーニング開始時期が異なる場合、成熟後から開始した群ほど、筋持久力が増加する傾向がみられた。トレーニング終了時期を同じにして、期間を変えた場合、持久的トレーニングの期間の延長にしたがい、強縮張力の立ち上り速度に低下が認められた。

一方、15秒間の強縮張力を発揮させた場合、トレーニングの期間に関係なく、トレーニングの開始時期がおそい群ほど、張力の初期からの低下率は小さかった。

文 献

- 1) Barany, M.; ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening, *J. gen. Physiol.*, **50**, suppl., part 2, 197—218 (1967)
- 2) Cooperstein, S.T., Lazorow, A. and Kurfess, N.J.; A microspectro-photometric method for determination of succinate dehydrogenase. *J. Biol. Chem.*, **186**, 129—139 (1950)
- 3) Fitts, R., Champion, D., Nagle, F. and Cassens, R.; Contractile properties of skeletal muscle from trained miniature pig. *Pflugers Arch.*, **343**, 133—144 (1973)
- 4) Fitts, H.R. and Holloszy, J.O.; Contractile properties of rat soleus muscle: effects of training and fatigue. *Am. J. Physiol.*, **233**, C86—91 (1977)
- 5) 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—133 (1984)
- 6) 勝田茂, 大森肇, 宮田浩文; 発育期におけるパワースプリント・トレーニングの適時性に関する研究, 体力科学, **34**, suppl. 39—48 (1985)
- 7) Lo, S., Russell, J.C. and Taylor, A.W.; Determination of glycogen in small tissue samples, *J. Appl. Physiol.*, **28**, 234—236 (1970)
- 8) 的場秀樹, 村上恵; 雄雌マウス・ヒラメ筋の生後発育に関する組織化学的研究, 日本生理学雑誌, **48**, 466—473 (1986)
- 9) Staudte, H.W., Exner, G.U. and Pette, D.; Effects of short-term, high intensity (sprint) training on some contractile and metabolic characteristics of fast and slow muscle of the rat, *Pflugers Arch.*, **344**, 154—168 (1973)
- 10) Suominen, H. and Heikknen, E.; Enzyme activities in muscle and connective tissue of m. vastus lateralis in habitually and sedentary 33 to 70 years old men, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **34**, 249—254 (1975)
- 11) 高沢清夫; スポーツ障害とスポーツ活動, 体育の科学, **36**, 783—786 (1986)