

中高年者の体づくりのための基礎的研究

東京慈恵会医科大学 原 田 邦 彦

(共同研究者) 同 時 岡 醇

同 酒 井 敏 夫

はじめに

中高年者の体力で持久力は老化が早く起こる¹⁾ために、その体づくりに持久力を増大させるトレーニングがしばしば用いられている。一方、中高年者は、運動強度および時間を増大させると、循環血液需要の増大に対して、心拍数の増加ではなく血圧亢進によって応答する⁹⁾という。したがって、大なり小なりに動脈硬化が進行してきている中高年者にとって、比較的安全な運動強度を選ぶとすると、血圧を余り上げない中等度以下の運動になりがちである。しかし、一般に、十分なトレーニング効果が期待できるのは、最大能力の60～70%以上と、比較的运动強度が高いところで認められている。そのために、トレーニング効果への期待とトレーニング中の事故に対する不安とは、表裏一体の感さえいだかせる。

そこで、著者たちは、だれにでも実施し得る中等度運動のトレーニング効果を検討する目的で、中年までほとんど運動を実施したことの無いラットに運動を負荷し続け、高年齢時に走行能力、筋線維の減数、萎縮の防止と、運動による枯渴筋グリコーゲンの回復力でその影響を観察した。

研究 方 法

1. 実験動物と飼育条件

ウイスター系雄性ラット（今道ラット）を生後

4週齢（体重80g）から $23 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室で、午前7時から午後7時までの照射時間と固型飼料（粗蛋白：24%，粗脂肪：3.5%……他）による飼食条件で飼育した。ラットの成年（young adult）、中高年の分類は、図1に示すように短命のものもみられるが、2～3年の寿命とみなされる報告^{2,10)}が多く、3～4カ月齢を成年期、12ヶ

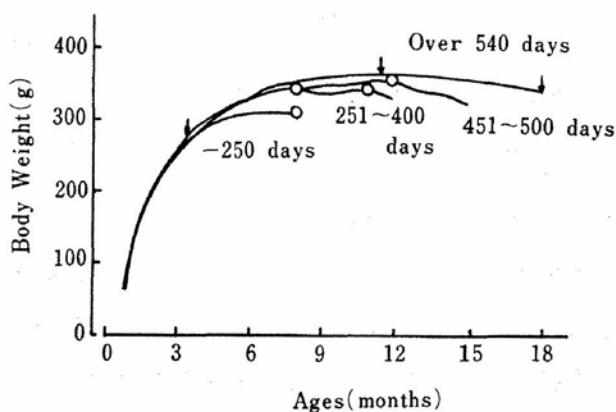


図1 Change in the mean body weight of 4 life duration group of rats with age. Open circles represent maximal body weights during each life-span.⁵⁾

月齢を中年とみなした。

2. 走行方法および運動強度

ラットは、走行練習なしでは直ちにトレッドミル走行を行えないので、あらかじめ低速度による9日間（1×10分/日，8日間）の走行練習を必要とする⁴⁾。これらのラットに、傾斜角度2度，10～40m/minの速度による exhaustion 走を実施す

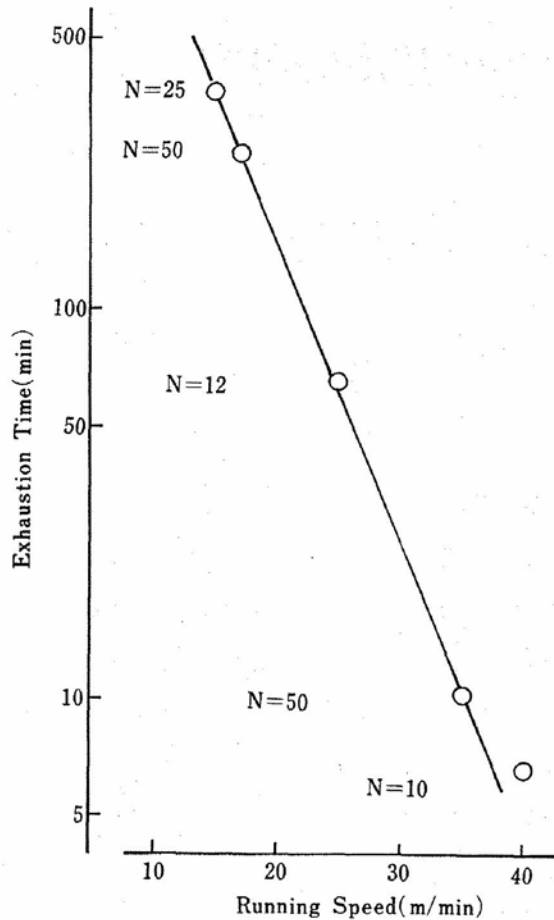


図2 Relationship between running speed and exhaustion time

ると、図2のようである。

成年ラットの場合、至適走行速度は 25m/min であるという報告¹⁵⁾もあるが、図2に示す走行能力曲線に従い、中等度の走行速度を 25m/min 以下とみなした。12ヶ月齢ラットの走行能力曲線は図2より左へシフトするため、15~17m/min の速度が中等度の運動強度と考えた。12ヶ月齢まで、前述のような条件で安静飼育したラットに、10分以内の低速度走行により12日間（3日に1度休憩日を与え、総走行回数を8回にする）練習を行わせ、十分走ることが出来る状態にしてから、以降は週に1度ずつ 15~17m/min の速度で10分間、18ヶ月齢まで続した。

3. 運動効果について

12ヶ月齢から運動を開始したラットは、18ヶ月

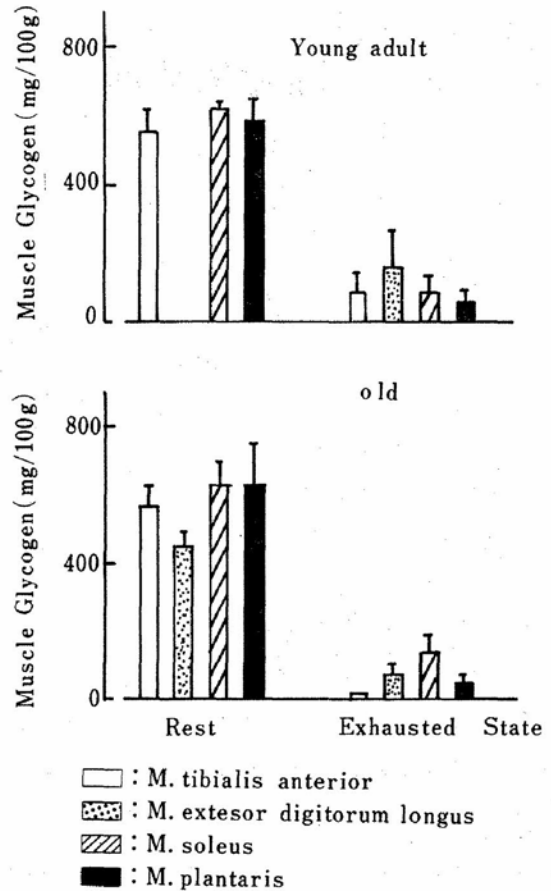


図3 Depletion of muscle glycogen by exhausted exercise

齢に達した時点で、12m/min で exhaustion 走を行わせた。exhaustion 走により、骨格筋のグリコーゲンは、老若を問わず、安静時の約90%を失う（図3）ので、この直後に0.5gのグルコースをカテーテルを通じ直接胃内へ注入した。

成年ラットでは、グルコース投与後1時間で、実施した運動強度の強弱を問わず、血中グルコースが 140mg/dl に回復し、筋肉のグリコーゲンも平均80%回復する⁶⁾（図4）。

また、図5に示すように、加齢によってこの回復力が低下する⁷⁾。

したがって、中年時（12ヶ月齢）から始めた運動が、この回復低下を防止し得るかを比較検討した。なお、用いた定量法は、グリコーゲンが Good, Kramer & Somogyi 法¹⁾ 血糖；Somogyi 法¹⁴⁾である。

ラットの老齢時における筋線維数の減少¹⁶⁾や、筋線維の萎縮と減数¹⁷⁾が報告されている。これを詳細に追究するには、組織化学的手法によらなければならない。しかし、筋肉重量と体重とは非常に高い相関関係がある³⁾ので、体重当りの比率による比較で、筋線維の萎縮あるいは減数が起きているかのおおよその目安が付けられると考え、これを実施した。

なお、運動能力に及ぼす影響は、それぞれの年齢に達するまで安静を保ち、あらかじめ走行練習（8回）を行った3-4ヶ月齢、12ヶ月齢および18ヶ月齢ラットの走行能力を示した成績（図6）を基準にして比較検討を行った。

実験結果および考察

ラットは、成年期に 17m/min の速度で 360 分走行出来るが、12ヶ月齢の中年期には45分、更に18ヶ月齢時に19分と、走行能力は低下の一途をたどる（図6）。

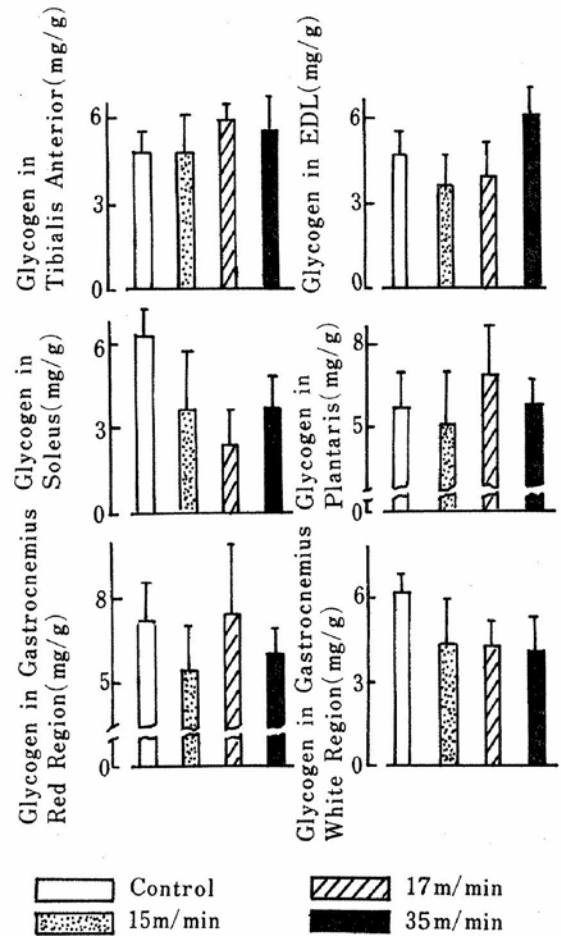


図4 Muscle glycogen concentrations at 1 hour after infused glucose.⁸⁾

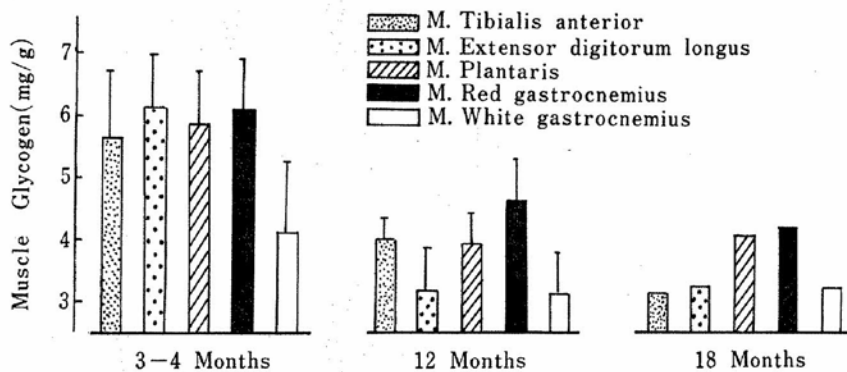


図5 Replenishments of muscle glycogen depleted by exhaustive exercise

18ヶ月齢ラットにとって、19分足らずで exhaustion に達してしまう走行では、相対的運動強度が高すぎると考え、12m/min の速度で exhaustion 走を行わせた。この年齢まで安静を保って生き長らえるラットは少なく、また、生き残

っても運動負荷に耐えられない場合が多いため、4例の平均であるが、60分間走行した。

これに対し、12ヶ月齢から週1度ずつ走らせてきた（総走行回数：33回）ラットに負荷すると、平均80分走ることが出来、明らかに運動の効果が

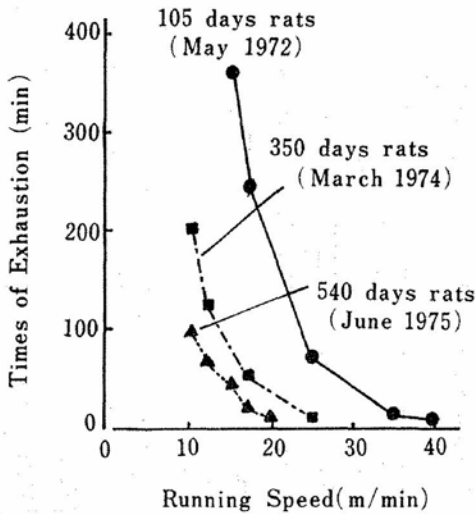


図6 Changes of physical capacity with aging in 105, 350 and 540 days rats. The exhaustion time obtained by treadmill running with various speeds was regarded as physical capacity of each animals.⁵⁾

認められた。

この運動効果の程度を示す指標として、生後4週から8週間にわたり、中等度の走行鍛練を行

い、運動能力を高めた状態(25m/minにおける平均 exhaustion time : 140分 v.s. 同一年齢未鍛練ラット : 54分)から、以降週に1度ずつ17~25 m/min の速度で10分間走行を繰り返してきた18ヶ月齢ラット(総走行回数では120回)に12m/min 走を負荷し比較してみた。

その exhaustion time は平均100分であり、中年まで何もトレーニングを実施しないラットでも、週に1度ずつ中等度の運動を続けられれば、かなりの走行能力の向上が認められた。

老年(24ヶ月齢)ラット骨格筋の萎縮と減数が起こる¹⁷⁾ことが知られているが、本研究における18ヶ月齢の安静対照ラットの筋重量は、加齢によってわずかに低下しているにすぎない(図7)。

12ヶ月齢から開始した運動により、この値が変化するか測定したが、ヒラメ筋および腓腹筋+足底筋の体重当りの重量比が、それぞれ 0.39 ± 0.05 , 4.42 ± 0.30 で、対照群との間に有意な差は

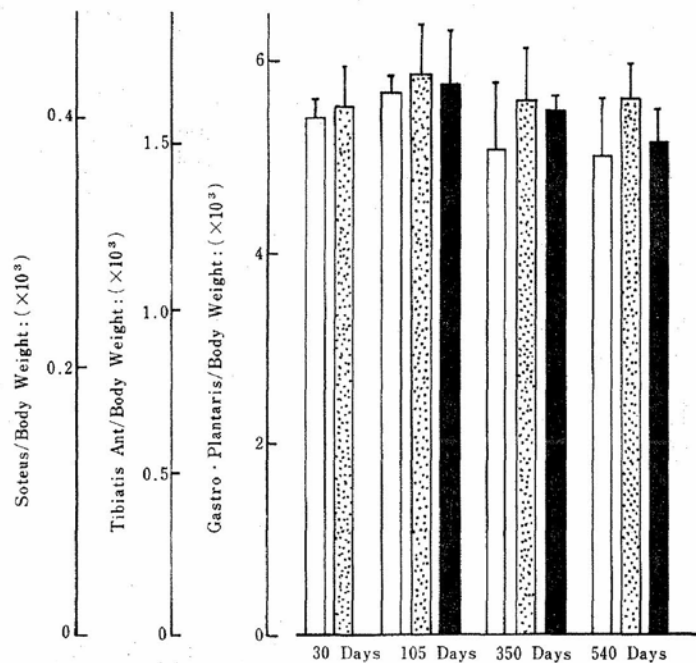


図7 Rates of skeletal muscle weight to body weight in 30, 105, 350 and 540 days rats. Open bars (□), stippled bars (▨) and shaded bars (■) represent soleus muscle, tibialis anterior muscle and gastrocnemius muscle+plantaris muscle, respectively. Vertical lines mean each standard deviations of each values.⁵⁾

みられなかった。

一方、安静ラットの心室筋重量は、18カ月齢まで加齢による変化が全くみられない(図8)が、運動群では対体重比が 2.90 ± 0.16 と、若年時から走行を続けてきたラット(2.92)と共に有意に高かった。

心筋重量の大きさを直ちに心臓機能と結びつけるわけではないが、1日30分、8週間の遊泳によるトレーニングで、心筋の肥大やSDH活性の増大が生じて、骨格筋にはそれらが認められないという報告⁸⁾もあるので、無関係というわけでは

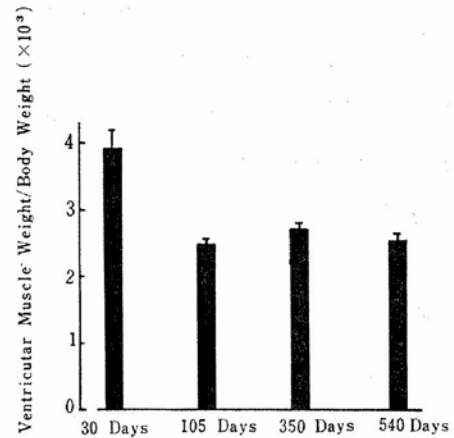


図8 Rate of ventricular muscle weight to body weight in 30, 105, 350 and 540 days rats.

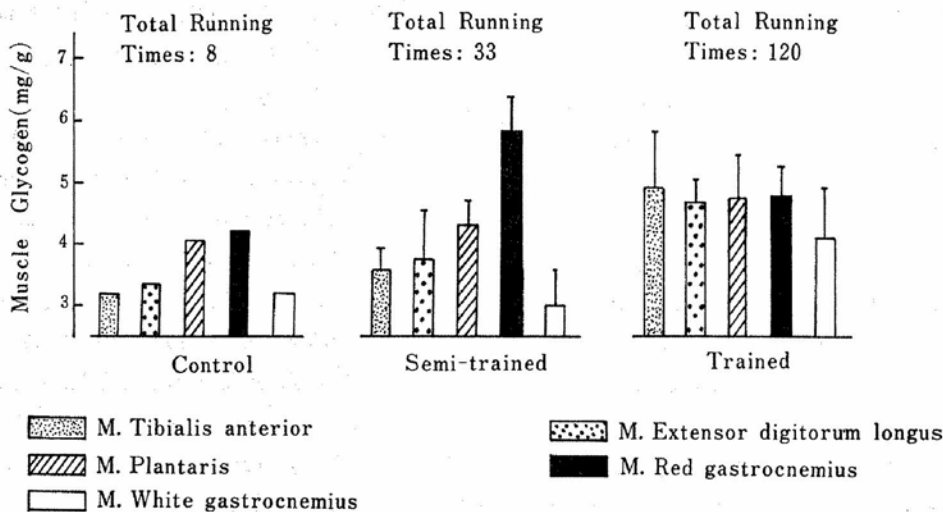


図9 Exercised muscle glycogen concentration at 1 hour after infused glucose.

ない。

exhaustion 走により、ラット骨格筋のグリコーゲンは老若を問わず枯渇し(図3)、また、回復の速さも年齢によって異なる(図5)。

図9は、18ヶ月間安静を保持したラット、12ヶ月齢から走行を始めたもの、および若年時に走行鍛練を行って以降継続走行を実施している同一年齢のラットの、exhaustion 後1時間の筋グリコーゲンの回復を示したものである。

12ヶ月齢から走行を開始したラットでは、鍛練群ほどではないが、対照群より、明らかに骨格筋

のグリコーゲンの回復がよいことがわかった。

この原因として、中等度あるいはそれ以下の運動が循環系、とくに末梢循環系の老化防止に役立ったか、最大酸素摂取量で示される全身持久力は高めなくとも末梢の骨格筋の酵素活性を有意に高める¹³⁾ことなどにより、末梢の代謝効率が改善されたことが考えられた。

成澤は、組織化学的研究により、ラットの骨格筋は18ヶ月齢まで萎縮や線維数の減少もみられない¹²⁾と報告しているが、著者たちの研究のように、その運動能力の減退は著しいものであり、活

動のエネルギー源の回復力も顕著に劣ることがわかった。そして、一般に非鍛練性の劣るといわれる中年時から開始した中等度以下の運動を、週に1度、10分間実施しただけでその効果が十分あがることがわかった。

文 献

- 1) Good, C.A., Kramer, H. and Somogyi, M. ; The determination of glycogen, *J. Biol. Chem.*, **100** : 485—495 (1933)
- 2) Grollman, S. and Costello, L. ; Effect of age and exercise on lipid content of various tissue of male albino rat. *J. Appl. Physiol.*, **32** : 761—765 (1972)
- 3) Harada, K., Iwagaki S., Sakai, R., Sato, T., Nakano, S. and Sakai, T. : The relationship between exercise ability and nutrition. (1) Intermediate metabolism under various condition of diet composition, *J. Physical Fitness Japan*, **32** : 132—140 (1973)
- 4) Harada, K., Iwagaki, S., Hashizume, K., Kobayashi, Y. and Kobayashi, K ; Carbohydrate and lipid metabolism in exhaustion of the albino-rat produced by running, *Jikeikai Med. J.*, **21** : 177—184 (1974)
- 5) 原田邦彦, 小林啓三, 小林康孝, 酒井敏夫, 岩垣承恒, 成澤三雄 ; 加齢に伴うラット骨格筋グリコーゲン量の消長, *体力科学*, 25巻 : 202—211 (1976)
- 6) 原田邦彦 ; Moderate exercise のラット骨格筋糖質代謝に与える影響, *体力科学*, 28巻 : 145—148 (1979)
- 7) 原田邦彦, 永井 猛, 碓井外幸, 酒井敏夫 ; 加齢ラットの基礎代謝量に及ぼす長期運動負荷の影響, 第34回日本体力医学会予稿集, P 151 (1979)
- 8) Hearn, G.R. and Wainio W.W. ; Succinic dehydrogenase activity of the heart and skeletal muscle of exercised rats, *Am. J. Physiol.*, **185** : 348—350 (1956)
- 9) 勝木新次, 増田 允, 芝山秀太郎, 江橋 博 ; 中高年者の運動至適量の検索, *体力科学*, **15** : 52 (1966)
- 10) Lesser, G.T., Stanley, D. and Jules, M ; Aging in the rat : longitudinal and cross-sectional studies of body composition, *Am. J. Physiol.*, **225** : 1472—1478 (1973)
- 11) 万井正人 ; 老化と運動機能, *医学のあゆみ*, **97** : 652—655 (1976)
- 12) 成澤三雄 ; 加齢にみる骨格筋線維タイプの組織学的研究, 第30回日本体力医学会総会報告書, P 37 (1975)
- 13) Örlander, J., K.H. Kiessling, J. Karlsson and B. Ekblom ; Low intensity training, inactivity and resumed training in sedentary men, *Acta Physiol. Scand.*, **101** : 351—362 (1977)
- 14) Somogyi, J.M. ; Notes of sugar determination, *J. Biol. Chem.*, **192** : 19—23 (1952)
- 15) Squibb, R.E., Collier, G.H. and Squibb, R.L. ; Effect of treadmill speeds and slopes on voluntary exercise in rats, *J. Nutr.*, **107** : 1981—1984 (1977)
- 16) Tauchi, J., Yoshioka T. and Kobayashi, H. ; Age changes of skeletal muscle of rats, *Gerontology*, **17** : 219—227 (1971)
- 17) 吉岡照樹 ; 筋組織の老性変化に関する微計測的研究, *日本老年医学会雑誌*, 7巻 : 351—363 (1970)