

肥満に挑戦する——トレーニングと減食

東京慈恵会医科大学 原田邦彦

On Measures against Obesity —with Reference to Physical Exercise and Dieting—

by

Kunihiko Harada

*Laboratory of Physical Education,
The Jikei University School of Medicine*

ABSTRACT

Effects of constitution and physical training for obesity were investigated. 17 nature-excessively fat and 9 non-obese Wistarstrain male rats were bred at the room temperature of $23.0 \pm 1^\circ\text{C}$ and humidity of 60% and fed ad libitum from 3 to 14 weeks after birth. At 4 weeks after birth, excessively fat rats were separated two groups. The former was loaded by motor driven treadmill for 8 weeks at a speed of 25 m/min for less than 15 min once daily and 6 times in a week. The latter was not loaded. Their running ability and basal metabolism were measured at 14 weeks after birth. Furthermore, weight of ventricle, liver and skeletal muscle (tibialis anterior, extensor digitorum longus, soleus, plantaris and gastrocnemius) on all groups were measured. Results are as follows.

1. Body weight of excessively fat rats were more heavy at rate of 10% than control rats. Rates of muscle weight to body weight were lower, especially tibialis anterior and soleus were lower significantly ($p < 0.007$, $p < 0.001$, respectively). On the contrary, the rate of liver weight to body weight was more heavy significantly ($p < 0.001$) than control, and its ratio are 1.5—1.7 fold.

2. It seems that basal metabolism of the excessively fat rats were lower than the control rats, according to their low rate of muscle weight to body weight.

3. Running ability of excessively fat rats showed 2.7 fold increase compared with those of non-loaded rats by physical training. It seems to increase basal metabolism on training rats as the result of the rised relative weight of ventricle and muscle to body weight.

要 旨

過食が肥満の最も大きな原因であるが、体質も大きな要素といわれる。成人病の危険因子である肥満の解消に減食が有効であっても、単に減食のみでは Lean Body Mass (脂肪なし体重) を減少させ活動力を低下させる。そこで、著者は生れつき肥満ぎみの、および通常ラットを用いて、同一条件下で飼育後、運動能力、心室筋、肝臓、骨格筋の重量、ならびに基礎代謝を測定してこの違いを検討した。また、例外なしに走行出来得る中等度運動負荷を肥満ぎみのラットに実施し、その効果を観察した。

1. 緒 言

体力低下の一因であり、かつ成人病発症の危険因子^{11,13)}である肥満は、近代文明の発展により減少した身体活動の活動量に伴わない過食が原因であるといわれている。したがって、体重の減量には減食と適度な身体活動が必要な条件と考えられてきた。肥満は単に過食のみではなく、体質が肥満をなす大きな要因であるとする研究者も多い^{12,14)}。こうした中で Miller¹⁰⁾ は、いくら減食しても体重の減らない女性29名の中で9名は基礎代謝率 (BMR) が平均16%低いことをつきとめた。

活性組織の代謝が低いことは、低エネルギーで生命を維持できるであろうが、より積極的に活動する上にはマイナス面もあると考えられる。また、BMR の低かった婦人たちは幼年期より低かったのか、あるいは、後天的にそうなったか不明

である。そこで、本研究は「肥満と減量」に対する基礎的研究として肥満傾向のラットおよび通常ラットを用い、基礎代謝の測定、活動能力 (走行能力) およびこれらのラットの臓器、組織重量の測定を行い、両者の特徴をみた。

2. 実験方法

実験に用いたラットは、肥満ぎみのラットとしてウイスター系・今道ラット (雄性) 17匹と通常ラット (日本生物材料センター生産、以降対照ラットと称する) 9匹 (雄性) を誕生後4週目より気温 $23.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度60%の環境で普通固形食、飽食条件にて飼育した。

誕生後5週目より、今道ラットを2群 (無作為) に分別し、一方を無負荷群とし他方を小動物用トレッドミルにて前報告⁵⁾の通り8週間、中等度運動負荷 (25m/min で1日10分) によるトレーニングを実施した。また、同時にこれらのラットの体重を毎日一時間帯 (午後 3:00~6:00頃) に測定した。

トレーニング終了後、生後86~115日の間に肥満ぎみラットおよび対照ラットの基礎代謝量の測定、並びに臓器、組織重量の測定を行った。また、同期間中に走行能力を傾斜角度 2° のトレッドミルで 25m/min の速度による exhaustion 走により観察した。なお、トレーニング群の基礎代謝の測定は、最終運動終了48時間後とし、対照群を含め実験前の絶食 (18~24時間) を行った。基礎代謝測定装置は、田中および藤井¹⁸⁾の装置を模倣したもの (図1) を用い、前報^{5,6)}の測定方法にしたがった。

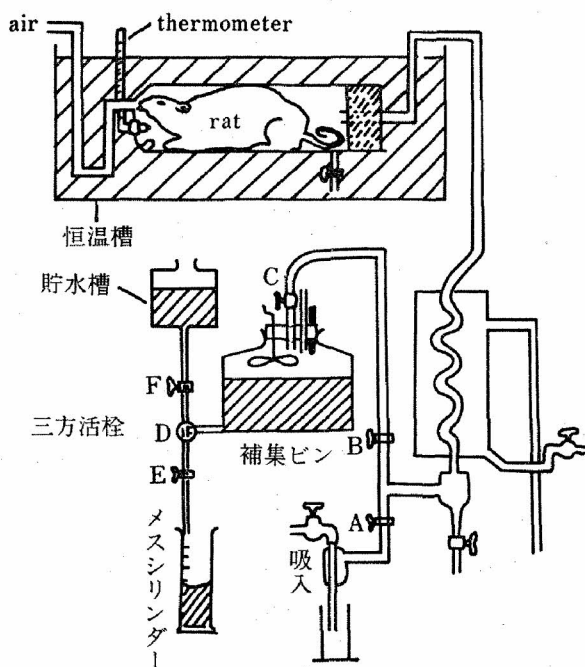


図1 The apparatus of basal metabolism.

各ラットの臓器，組織重量は，ペントバルビタール (4mg/kg 以下) の麻酔下において，心室筋，肝臓および右後肢の前脛骨筋，長指伸筋，ヒラメ筋および腓腹筋+足底筋 (両者は切り離し難いため敢えて切り離さなかった) を摘出した。これらをリングル中で十分に血液を洗浄した後，水分を掃き取り秤量した。

3. 結果および考察

図2は，生後4週以降のおおのの体重変化を示したものである。肥満ぎみの今道ラットの無負荷群の体重の伸びが最も大であり，つづいて対照群であった。トレーニング群は，はじめ低速度で負荷されるため 25m/min の速度に負荷が固定される (10分間) トレーニング開始後3週目頃から体重増加が抑制された。高糖食でも高蛋白高脂食によっても運動量の多いものほど食餌摂取量が多く，体重が軽い¹⁷⁾が，本研究のようなほとんど例外なしに走行出来得る中等度の運動強度²⁾においても体重の増加抑制効果がみられた (図2)。この現象は，ラットの加齢がすすんでからでも (走行させるための条件づけが難しいが) やはり起

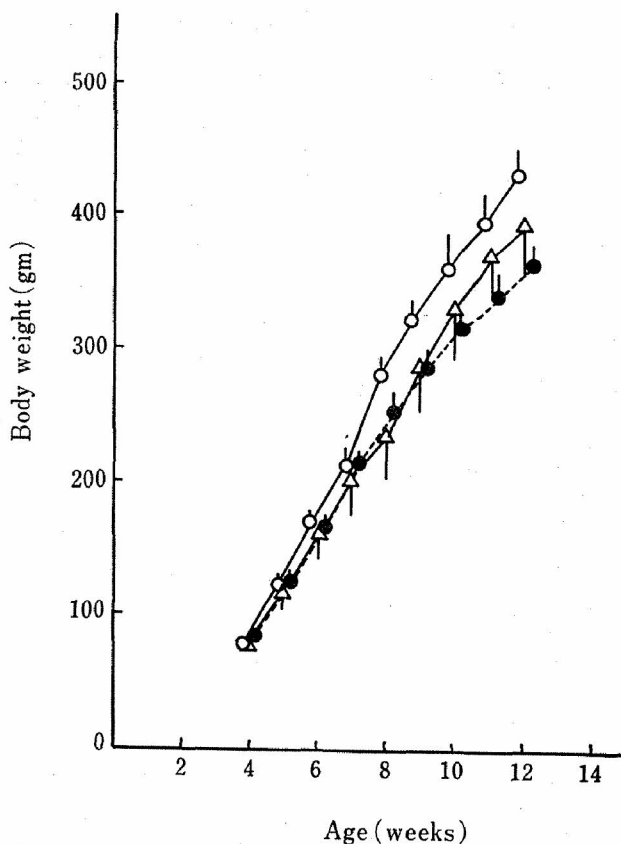


図2 Body weight curve of untrained and trained excessively fat and control rats.

る⁴⁾。しかし，この場合の走行能力などのトレーニング効果は若年時よりトレーニングを開始したものより劣る⁴⁾。本研究の肥満ぎみの無負荷今道ラットの走行能力は 25m/min の速度で平均44±5分 (mean±S.D.) で，対照群の 51±8分よりやや劣るが，トレーニングにより 117±17分と約 2.7 倍に走行能力の増大が認められた。

これらの基礎代謝量の結果を表1に示した。無負荷今道ラットの酸素消費量は，対照群よりやや低い，有意な差ではなかった。また，前述の走行能力が高まったトレーニング群では，わずかに代謝量が高い傾向にあるだけで有意な差を示さなかった。肥満ぎみの今道ラットの無負荷群の基礎代謝量を計算しなかったのは RQ が 0.7 以下の成績が多くあったためである (他は Zantz & Schrumberg の熱量表より算出記入，表1)。

表1 Basal metabolism on untrained excessively fat, trained excessively fat and control rats.

	No.	Weight (gm)	O ₂ -intake (ml/100g/min)	RQ	Basal metabolism (cal/100g/hr)
excessively fat (untrained)	10	380±63	1.86±0.33	0.68	—
excessively fat (trained)	7	339±33	1.92±0.20	0.72	539±55
control (untrained)	9	342±6.9	1.91±0.31	0.71	536±82

測定前18~24時間の絶食といってもラットが最終的にいつ食餌を摂取したかはあいまいであり、実際にはもっと絶食時間が長いのかも知れない。ラットは食餌摂取後12時間で肝臓グリコーゲン量がほとんど空になる³⁾ので、絶食に弱く体構成蛋白質の異化作業が生じているとも考えられたが、蛋白質の酸化は RQ が0.82 前後になるといわれているため、この原因がつかめなかった。

測定装置そのものについても考慮してみたが、いずれも同一方法、同一時間、同一時間帯(最も代謝が低いといわれる¹⁸⁾午後3~5時30分の間に大部分は測定している)に測定したものであるため、さらに今後の検討が余儀なくされた。

また、基礎代謝量の測定値も Gemill¹⁾, Heming & Holtkamp⁷⁾, あるいは山岡たち¹⁹⁾の報告より低かった。山岡たちの成績はラットの安静値のため1.25で除し、さらに体重100gあたりに換算すると1.9ml/分の酸素消費量となり、加えてラットの日齢が75日齢であることを考えれば、本研究の値と余り変わりがないと考えられた。

また、Gemill や Heming & Holtkamp の酸素消費量測定装置は閉鎖式呼吸計に酸素を充満、循環させ測定していて、本研究のような開放式の測定法より毎時 kcal 値にして8.5%高く出る¹⁶⁾し、とくに Heming & Holtkamp の測定しているラットの体重が125~175gであることを考えればラットの日齢が低いために、高い代謝量が出たものと考えられた。

いずれにしても、肥満ぎみの無負荷ラットの基礎代謝量がやや低く出たため、今後、同一系統のラットにおいてもよく体重増のあるものとそうでないものとの体重増加の経緯をしらべながら代謝量を観察する必要性が考えられた。

さらに、ラットでは食餌制限を行って成長を遅らせると、寿命の延長が観察できる^{8,9)}が、減食して体重を下げたヒトの実験では小野は、皮脂厚が減少しないヒトでは、体重減によってむしろ基礎代謝が低下することを報告している¹²⁾のでこれらの点についてさらにきめ細かい追加実験を行う必要性が考えられた。

表2は、今道ラット無負荷群と対照群の臓器、組織重量を示したものである。両者の体重が異なるため、各組織重量を体重で除して10³を乗じてある。その結果、心室筋でとくに変化はみられないが、体重が重くて、基礎代謝量の低い今道ラット無負荷群の筋重量が前径骨筋やヒラメ筋で有意に低く(それぞれ p<0.007, p<0.001)、他の筋肉についても低い傾向にあった。しかし、肝臓では圧倒的に対照群より今道ラットで高かった(P<0.001)。安静時における筋の代謝量は生体全体の60%ともいわれる¹⁵⁾が、生体の全筋肉量が35~40%を占めれば、基礎代謝測定時においてもやはり筋量の多少を無視することはできない。

絶食時の肝臓の組織呼吸(但し、in vitro)は、長指伸筋やヒラメ筋の3~3.5倍⁶⁾であることを考慮すると、たとえ今道無負荷ラットの肝重量が

表2 Body weight and rats of the ventricle, liver and skeletal muscle weight to body weight.

	Age (days)	Ventricle ($\times 10^3$)	liver ($\times 10^3$)	Tibialis anterior ($\times 10^3$)	Extensor digitorum longus ($\times 10^3$)	Soleus ($\times 10^3$)	Gastro- cnemius & plantaris ($\times 10^3$)
excessively fat (N=5)	103	2.64 ± 0.13	40.98* ± 0.61	1.43** ± 0.07	0.42 ± 0.03	0.32* ± 0.02	5.23 ± 0.11
control (N=5)	105	2.55 ± 0.22	24.66* ± 1.35	1.76** ± 0.13	0.45 ± 0.02	0.42* ± 0.02	5.73 ± 0.46

*p<0.001, **p<0.007

重く対照群ラットの1.5~1.7倍あっても肝臓重量が体重の4%弱であるため、この群の基礎代謝量の低さは筋量の差によると考えられた。

今道ラットのトレーニング群の成績は測定例が少なく表に載せなかったが、心室筋、前径骨筋、長指伸筋、ヒラメ筋および腓腹筋+足底筋の体重に対する比($\pm 10^3$)は平均値(3例)で順に2.85, 1.73, 0.50, 0.41および5.71と酸素摂取量がほぼ等しかった対照群と同様のものが得られた。

4. 摘 要

本研究の目的は、肥満について体質やトレーニングの影響をみることである。生後4週目より、肥満ぎみのウイスター系雄性ラットおよび通常ラットを普通固形食で13~14週齢になるまで飼育した。前者の半分は、中等度な負荷による運動を8週間負荷し、残りを無負荷群とした。トレーニング終了後、これらの群および通常ラット群の走行能力並びに基礎代謝量を測定した。また、全ての群の心室筋、肝臓および骨格筋(前径骨筋、長指伸筋、ヒラメ筋、腓腹筋+足底筋)の重量を秤量した。結果はつぎの通りである。

1. 飽食条件で肥満ぎみのラットの体重は対照ラットの体重より平均して10%重い、筋重量のしめる割合は低く、とくに前径骨筋およびヒラメ筋で有意に低かった(それぞれ $p < 0.007$, $p < 0.001$)。これに反して、肝臓重量が有意に重く($p < 0.001$)対照群の1.5~1.7倍であった。

2. 肥満ぎみのラットの基礎代謝は、体重当りに対する少ない筋肉量によると考えられる低下傾向がみられた。

3. 8週間の中程度運動負荷は、肥満ぎみラットの走行能力を2.7倍に増加させた。また、体重に対する相対的心室筋および骨格筋重量の増加したことによると考えられる基礎代謝の増加傾向がみられた。

文 献

- 1) Gemmill, C.L.; Metabolic effects of thgoroxine, 3,3',5-triiodothyronine, 3,3'-diiodo-5-bromothyronine and 3,3'-diiodothyronine administered orally to rats., *Am. J. Physiol.*, **187** : 323—327 (1956)
- 2) Harada, K., Iwagaki, S., Hashizume, K., Kobayashi, K. and Kobayashi, Y.; Carbohydrate and lipid metabolism in exhaustion of albino-rat produced by running., *Jikeikai Med. J.*, **21** : 177—184 (1974)
- 3) 原田邦彦, 小林啓三, 小林康孝, 酒井敏夫, 岩垣丞恒, 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** : 202—211 (1974)
- 4) 原田邦彦, 小林康孝, 酒井敏夫; 中程度運動のラット骨格筋に与える影響, *体力科学* **29** : 282—283 (1980)
- 5) 原田邦彦, 酒井敏夫; 基礎代謝に及ぼす反復運動負荷の影響—(1)ラットの加齢と生涯に亘る長期中程度運動負荷について—*日本生理学雑誌*, **47** : 207—212 (1985)
- 6) 原田邦彦, 酒井敏夫; ラットの基礎代謝に及ぼす中程度な強度による持続的反復運動負荷の影響,

- 日本生理学雑誌, 47 : 213—218 (1985)
- 7) Heming, A.E. & Holtkamp, D.E.; Calorigenic and antigoirogenic actions of L-triiodothyronine and L-thyroxine in thyroidectomized and intact rats. *Proc. Soc. Exp. Biol.*, 83 : 875—879 (1953)
 - 8) McCay, C.M., Crowel, M.F. and Maynard, L.A.; The effect of related growth upon the long the life-span and upon the ultimate body size. *J. Nutri.*, 10 : 63—79 (1935)
 - 9) McCay, C.M., Maynard, L.A., Sperling, G. and Barnes, L.L.; Related growth, life span, ultimate body size and change in the albino rat after feeding diet restricted in calories. *J. Nutri.*, 18 : 1—13 (1939)
 - 10) Miller, D.S.; Resistance to slimming. *Lancet*, 1 : 773—775 (1975)
 - 11) 村田光範; 小児肥満, 公衆衛生, 46, 549—558 (1982)
 - 12) 小野三嗣; 肥満を考え直そう, 不昧堂, 東京 (1981)
 - 13) 塩田康夫, 松浦洋子, 伊谷昭幸, 稲葉美佐子, 村田光範, 早川三治, 内田邦昭; 小児の高血圧スクリーニング, 管理システムについて, 小児保健研究, 42 : 82 (1983)
 - 14) Stefanik, P.A. et al.; Caloric intake in relation to energy output of obese and non-obese adolescent boys. *Am. J. Clin. Nutri.*, 7 : 55—62 (1959)
 - 15) 白井伊三郎; エネルギー代謝 Jn. 生物化学ハンドブック, 児玉桂三, 技報堂, 東京 p. 474—496 (1967)
 - 16) 杉本良一, 小川新吉, 坪井実, 河村守男; 基礎代謝測定に関する基礎的実験 (純酸素吸入時の基礎代謝の変動について), 日本生理学雑誌, 第30回日本生理学会総会号, 15 : 17—18 (1953)
 - 17) 鈴木慎次郎; 成長促進と体力 (栄養の効果), 栄養学雑誌, 29 : 115—122 (1971)
 - 18) 田中振爾, 藤井儔子, ラットのガス代謝に及ぼす甲状腺の影響, 東京女子医科大学雑誌, 29, 635—650 (1959)
 - 19) 山岡誠一, 蜂須賀弘久, 細野吉治, 森脇泰子, 能勢令子, ラットに対する負荷運動の質と発育に関する研究, 京都学芸大学紀要, 23 : 57—65 (1964)