

人生 80 年時代の体力に関する基礎的研究

—活動的な老ラットにするための

運動と食餌制限—

東京慈恵会医科大学 原田 邦彦

A Basic Study on the Physical Fitness in the Age of Longevity (80 years)

—Exercise and Food Restriction to Make Old Rats Physically Active—

by

Kunihiko Harada

Laboratory of Physical Education, The Jikeikai University School of Medicine

ABSTRACT

Basal metabolism was determined by measuring O₂ consumption in 5 groups of 24 month-old male rats. Group 1 ate their fill, group 2 and 3 were maintained on food restrictively. Group 4 and 5 were under food restriction and exercise started at 1st month and 12th month respectively. The rats of group 4 could run longer 3.5 fold time than group 1, and their basal metabolism was 1.2 fold.

Furthermore, food restriction and exercise started at 1st month prevented an accumulation of fat in the group 4. In cases of food restriction only began at 1st month or 12th month, their basal metabolism kept up constantly, however their body fat accumulation was not prevented. Food restriction and exercise began at middle age induced same ability to run in 3~4 month-old rats, but did not cause decreasing body fat significantly, in cases with two fold duration and a half frequency of exercise though total amount of exercise prevented an accumulation of fat significantly with increase basal metabolism.

要 旨

中高年者の活動度をいかに増進，維持していくかをライフサイエンスの短かいラットを用いて行った。雄性ラットに若年時（4週齢）および中年時（12ヵ月齢）に飽食対照群の75%に食餌を制限し，中等度な運動を24ヵ月齢まで負荷して体脂肪量，基礎代謝量を測定した。若年時からの食餌制限・運動負荷群は，12週間で飽食対照群の3.5倍の走行能力を有し，その体脂肪の蓄積を有意に抑え（ $P < 0.001$ ），また，基礎代謝量を20%増加させた（ $P < 0.02$ ）。しかし，4ヵ月齢以降の運動頻度を2回/週に落とすと15ヵ月齢以降の代謝量に減少の傾向があった。

若年時より始めた食餌制限は体重を一定に維持することはできるが，体脂肪の蓄積を有意に抑えることはできず，基礎代謝量の有意な増加も認められなかった。しかし，食餌制限のみで加齢による代謝量の低下は抑えることができた。中年以降の食餌制限は，基礎代謝の加齢による低下を防ぐことができた。中年時より始めた食餌制限・運動負荷は，12週間で飽食対照群の3～4ヵ月齢時の走行能力を上まわり，基礎代謝量を有意に増加させたが，体脂肪量を有意に減らすことはできなかった。しかし，中年時の運動頻度（6回/週，10分/日）を半分に減らし，1回の運動時間を倍にすると基礎代謝量を12ヵ月齢時より11%増加させるばかりか体脂肪量の有意な低下を生じさせた。また，15ヵ月齢以降も同一運動を継続してゆけば24ヵ月齢まで基礎代謝量の低下を抑制できた。

緒 言

昭和61年の国民衛生の動向によれば，80歳を迎えることのできる人々の割合が男性約43%，女性約63%となり，人生80年時代の到来を述べている。また，同時に70～89歳までの人で半年以

デサントスポーツ科学 Vol.13

上寝たきりの老人が4.4～7.8%もいる（昭和61年国民生活調査）。本研究は，この高齢化した人口構造を考え，中高年者の活動度をいかに増進，維持していくかをライフサイクルの短かい実験動物を用いて行おうとするものである。

食餌を制限し，体重を抑えることにより実験動物の寿命を延長させることが知られている^{11,12,13}。食餌制限は体重当たりの代謝率を低下させ，カロリー制限によって生存期間の延長を起す^{2,12}と考えられてきた。しかし，食餌制限による延命は除脂肪体重当たりの代謝率の低下によらないという研究¹⁰もある。アメリカのHammond⁴は，疫学的研究により45歳以上の中高年者ではより活発に運動を実施している者ほど一年後に死亡する率が低いと報告している。また，成人病発症の危険因子¹⁰である肥満は，近代文明の発展により身体の活動量にともない過食が原因であるといわれている。

そこで，著者は中年時まで安静がちの状態の肥満ぎみのラット（12ヵ月齢）に食餌制限（飽食条件の約 $\frac{3}{4}$ 量）と例外なくできうる中等度運動を長期間負荷し，老齢期（24ヵ月齢）における持久性能力，体脂肪量，基礎代謝量を測定して活動度と代謝水準の相関を追究した。

1. 実験方法

4週齢の雄性ウィスター系今道ラット（動物繁殖研究所生産）を用い，飽食安静群，食餌制限対照群および食餌制限・運動群に分別した。これら3群はいずれも $22.0 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ の室温と7:00～20:00照射，20:00～7:00暗くするサイクルでオリエンタル普通固形食にて飼育した。運動には小動物用トレッドミルを使用し，始めは低速（8～12 m/min， 2° の登り傾斜）で運動開始3週目より25 m/minの速度に固定して一日一回の10分間（6回/週），合計12週間強制負荷した。

運動群の食餌はこの間飽食とし，食餌制限対照

群の食餌量を運動群の体重の増加に一致する量とした。12週間のトレーニング終了後（誕生後約4ヵ月後）、走行能力、基礎代謝量およびこの時の結腸温ならびに体脂肪量を測定した。基礎代謝の測定は運動終了48時間後とし、飽食安静群、食餌制限対照群および運動群のいずれも測定前に18～24時間の絶食を行って実施した。基礎代謝測定法は前報⁷⁾とほぼ同一であるが、空気の吸引には異なる抵抗に対し常に一定（600 ml/分：チャンパー容量の約 $\frac{1}{3}$ ）に吸引できるモータを使用した。体脂肪の測定には、あらかじめラットの体表の皮脂を洗剤で落とし、動物を水中に沈め体積を求めた（機能的残気量を6 mlとした）。

ラットの体積と体重から体密度（D）を算出し、 $\{(4.570 / D) - 4.142\} \times 100$ （Brozek, 1963）で体脂肪率を算出した。4ヵ月以降、週に6回のトレーニングは、週2回に減少し（運動強度、時間はこれまでと同一）、12ヵ月齢、15ヵ月齢、18ヵ月齢および24ヵ月齢時に他の2群とともに測定をくり返した。

つぎに、12ヵ月齢時に飽食対照群を食餌制限群（飽食安静の75%の食餌量）、食餌制限（75%）・運動負荷群および飽食対照群の3群に分けた。運動負荷は、12ヵ月齢まで飽食安静飼育であるため、はじめの低速鍛練期を延長し、トレーニング開始後4～5週目より25 m/minの速度（傾斜角度2°）に固定して、1日15分以内の週6回の頻度でトレーニングを負荷し、合計12週間実施した。トレーニング終了の15ヵ月齢時に前述の測定を行った。その後、若年時の場合と同様に運動強度および時間を同一にして週2回の頻度で24ヵ月齢時まで継続した。食餌摂取量、体重、運動能力、基礎代謝量、体温および体脂肪量は、18ヵ月および24ヵ月齢時に測定した。

2. 結 果

図1に幼若時より食餌制限と運動鍛練を行った

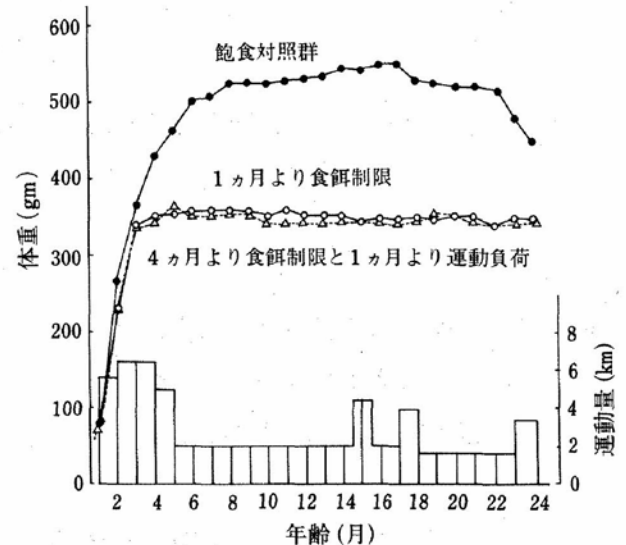


図1 食餌制限と運動負荷による体重変化

場合の体重および運動量の経時的变化を示した。4～5ヵ月、15ヵ月、17～18ヵ月および23～24ヵ月齢時に運動量が大きなのは、この時期に走行能力を測定したことが総運動量の増大に反映したものである。4ヵ月齢以降の食餌制限・運動負荷群の体重は、飽食群の75%の食餌量で完全に維持され、食餌制限安静群とほとんど同一体重であることから週2回の運動によるエネルギーの損失はわずかであると考えられる。

飽食対照群は、17～18ヵ月齢まで体重が増加するが、この頃から急激な体重減少をともなって死亡するケースが多く、短命である³⁾。したがって、24ヵ月齢まで生存した場合に限定すると少数になり過ぎるために、他の測定が円滑に行なわれ、急激な体重減少のあるものを含まないという条件での描記になった。12ヵ月齢より食餌制限および運動負荷を開始した場合の体重の変化と総運動量を図2に示した。

15～16ヵ月および18～19ヵ月齢時に走行能力を測定した。19ヵ月齢を経ると週2回の運動（25 m/min, 10～15分間）が困難になり走行速度を減じざるをえなかった。また、24ヵ月齢時には走行能力テストの実施が困難であった。体重は、食餌制限開始の12ヵ月齢時から15ヵ月齢時

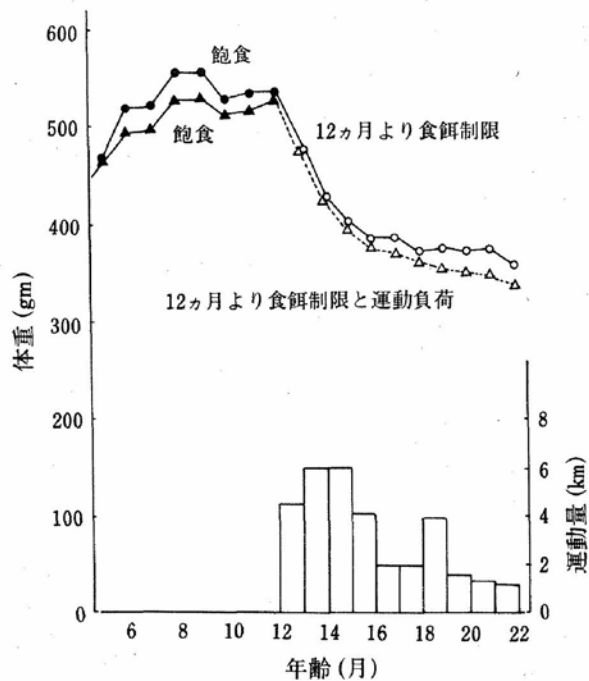
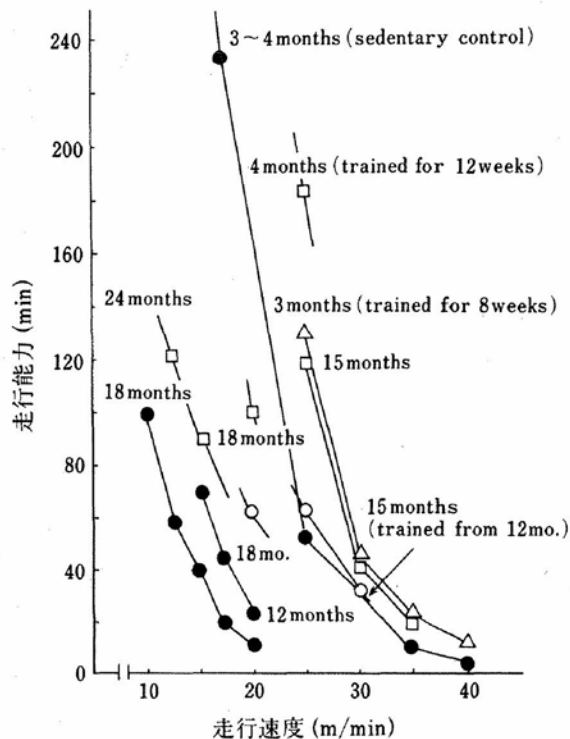
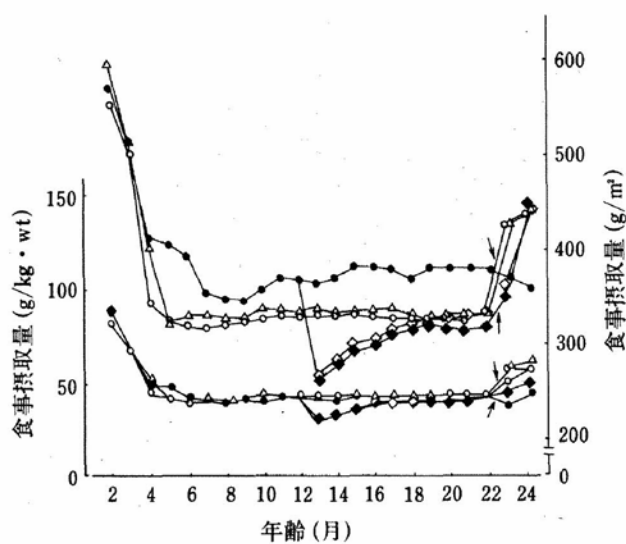


図2 食餌制限と運動負荷による体重変化



- 飽食対照群
- 12ヶ月まで飽食状態で12ヶ月より運動負荷群
- 1ヶ月より運動負荷と4ヶ月から食餌制限群

図4 運動能力



- △—△ 1ヶ月目より運動負荷および4ヶ月より食餌制限群
- 1ヶ月より食餌制限群
- 飽食対照群
- ◇—◇ 12ヶ月より食餌制限と運動負荷群
- ◆—◆ 12ヶ月より食餌制限群

図3 食餌摂取量

の3ヶ月間に急速に、以降は徐々に減少して19~20ヶ月齢時に1ヶ月齢より食餌制限群の水準に達した。

食餌摂取量はそれぞれの群で毎日摂取した総量

を体重、あるいは体表面積の総和で除し、1ヶ月の平均を出して求めた(図3)。12ヶ月齢まで体重当りの食餌摂取量は飽食、食餌制限および運動負荷による差はみられない、しかし、体表面積当りで示すと飽食対照群は食餌制限群に比べ、明らかに多量摂取している。図3の矢印が示す22ヶ月齢を越えると食餌制限群の食餌量が不足するためか、20%程度食餌量を増加してそれぞれの体重維持を図った。

図4は運動能力テストの結果である。飽食の12ヶ月齢のラットに食餌制限・運動負荷を行うと15ヶ月齢でも3~4ヶ月齢の安静対照群よりやや高い走行能力が得られ、その後週2回に頻度を下げた運動の継続によって18ヶ月齢時に20 m/minの速度を69 ± 3.2 (S.D.)分走るが、若年時

表1 食餌制限と運動負荷による体重, 基礎代謝, 呼吸商, 体温および体脂肪の経年変化

Age (months)	No	Weight (gm)	Oxygen Intake (ml/kg/min)	Oxygen Intake (ml/m ² /min)	RQ	Body Temperature (Colon Tem., °C)	Body Fat (%)
飽食対照群							
3~4	6	446±29	20.5±2.3***	169±17**	0.69±0.02	37.42±0.15
12	5	466±67	20.5±1.5*****	174±8.0*****	0.70±0.02	37.41±0.21	40.88±3.5*****
15	4	493±96	18.8±1.3****	162±16**	0.71±0.03	37.23±0.12	46.79±9.3*****
18	2	523	14.0	124	0.71	37.22	42.55
24	1	555	17.4	157	0.71	37.43	40.47
12ヵ月より食餌制限群							
12	5	498±32	20.0±1.2	173±8.8	0.71±0.01	37.28±0.14	40.28±5.8
15	5	389±30	22.2±1.8	178±11	0.70±0.07	37.11±0.15	36.91±4.8
18	4	357±23	37.10±0.18	37.18±2.8
24	3	318±42	22.9±2.2	170±21	0.71±0.02	37.11±0.21	25.04±4.0
12ヵ月より食餌制限および運動負荷群							
12	5	531±43	20.0±1.2	177±8.6	0.71±0.02	37.36±0.16	41.67±5.3
15	4	361±32	24.7±1.3	193±9.2*	0.70±0.02	37.15±0.30	36.54±1.0
18	3	364±20	23.1±1.9	181±11	0.74±0.06	37.39±0.08	29.07±5.0
24	3	324±31	22.9±5.7	171±36	0.72±0.04	37.34±0.02	30.47±0.1
1ヵ月より食餌制限群							
4	9	360±22	23.5±2.6	186±26	0.67±0.02	37.48±0.22
12	6	345±16	24.8±1.2****	192±5.7****	0.69±0.01	37.20±0.22	36.48±6.7*
15	5	356±11	24.0±1.5***	187±12*	0.68±0.02	37.16±0.19	37.13±1.4*
18	5	338±26	20.8±2.1	159±17	0.75±0.05	37.21±0.20	33.86±4.4
24	4	345±15	19.9±2.8	164±20	0.76±0.06	37.36±0.06	31.72±5.2
1ヵ月より運動負荷および4ヵ月より食餌制限群							
4	11	356±20	26.1±3.8***	203±28**	0.69±0.03	37.62±0.20
12	6	335±14	28.6±1.6*****	218±12*****	0.72±0.04	37.42±0.20	24.78±8.7*****
15	6	332±16	26.3±2.4****	200±16**	0.71±0.04	37.34±0.24	28.13±6.7*****
18	5	336±18	25.4±6.6	179±17	0.75±0.08	37.26±0.17	25.46±7.0
24	4	332±26	24.1±2.7	183±17	0.77±0.03	37.38±0.17	25.64±4.3

*P<0.05, **P<0.02, ***P<0.008, ****P<0.005, *****P<0.002, *****P<0.001

よりトレーニングしている鍛練群には及ばなかった。

体脂肪量, 基礎代謝量およびその測定時における呼吸商, 結腸温(肛門より38mm)の成績を表1に示した。飽食対照群の体脂肪は各年代とも40数%であり変化がみられない。12ヵ月齢時より開始した食餌制限群の体脂肪は各個別にはやや減少したが, 統計学的には有意差が認められなかった。食餌制限に週6回の中等度運動を12週間負荷しても有意な体脂肪の低下は認められず, さら

に週2回同様の運動を3ヵ月以上継続して有意な減少(P<0.05)がみられた(表1), また, 若年時より食餌制限をしている群も体脂肪量がやや少ないだけで著明な差異は認められなかった。しかし, 若年時からの食餌制限と運動負荷を併用すれば飽食対照群(P<0.001)とはもちろん, 食餌制限のみの場合よりも有意(P<0.05)に体脂肪量が低いことが認められた。

体温は各群とも若いほど高く, 加齢とともに低下の傾向があるが有意な差ではなかった。

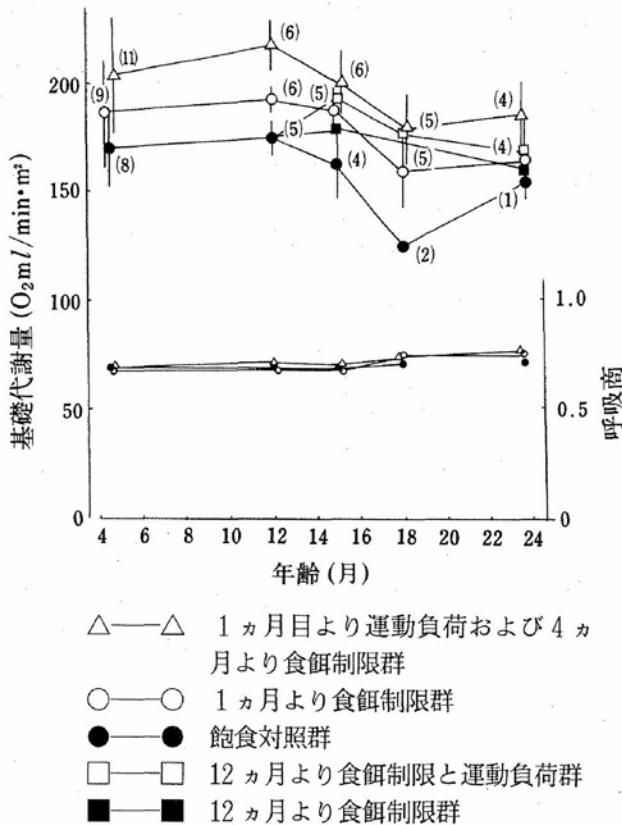


図5 食餌制限と運動負荷の基礎代謝に与える効果

表1の基礎代謝量を図示したのが図5である。4ヵ月齢から12ヵ月齢の間で最も代謝が高いのは運動群であり、食餌制限のみの群より10%、飽食安静群との間では20%の違いを示し、全過程で同じような関係にあった。また、運動群と飽食安静群の基礎代謝量の間には3~4ヵ月、12および15ヵ月齢でそれぞれ $P < 0.02$, $P < 0.002$, $P < 0.02$ で有意な差がみられた(表1)。12ヵ月齢からの食餌制限と運動負荷は、12週間で基礎代謝を9%増加させ、若年時における代謝への効果とほぼ同一な効果を与えたと考えられる結果であった。しかし、15ヵ月齢安静対照群の代謝が12ヵ月齢時より7.1%低下しているので計16%増加させたこととなった。

このようにすると12ヵ月齢時からの食餌制限のみで12週間に基礎代謝を合計9.9%増加させたことになるが、実際には24ヵ月齢まで代謝をほとんど維持していた。若年時からの食餌制限・運動群は、他群に比べ24ヵ月齢になっても高い

基礎代謝をもち、15 m/minの速度を95分間走る能力があっても若年時の代謝水準は維持できなかった。

3. 考 察

雄性ウイスター系今道(動物繁殖研究所産)ラットは、ウイスター系であっても、石川実験動物研産⁵⁾、日生材産⁸⁾あるいはチャルズリバー研産¹¹⁾飽食条件では、いずれの生産ラットより体重の増加が多く⁷⁾、40%を越える過重な体脂肪をもっているため肥満ラットと呼んでよいと考えられる。食餌制限の条件には飽食時の67%とか54%^{1,2)}、あるいはその中間の60%¹¹⁾などがある。本研究では、中等度運動ではあるが、5週齢目より運動を負荷するために成長期の運動群は飽食としたが、結果的には飽食群の75~79%を占め、体表面積当りでは単なる制限食群より少し多く摂ることとなった(図3)。

飽食群の54%にしている報告¹⁾では、飽食群が常に一定量を摂取しているのではなく変化している。そのため制限食群の体重が少しずつ増加しているが、本研究では体重を一定にさせた場合には飽食群の約75%に当ることとなった。McCarterたち¹¹⁾のように6週齢で60%にして飼育してみると、やはり徐々に体重が増加し、20ヵ月齢で260~270 gに達するがその後体重が減少することを著者は(未発表)観察している。

中年時(12ヵ月齢)より始めた食餌制限および運動負荷は、最初の3ヵ月間に急激に体重を減少させたが、幼若時から行っている食餌制限群の水準に達するにはほぼ体重増加に要した期間が必要であるという結果が得られた(図1, 2)。

飽食状態で飼育された12ヵ月齢ラットに食餌制限と中等度運動を6回/週の頻度で12週間負荷すると、3~4ヵ月齢安静主体のラット並の運動能力を有し、基礎代謝を16%増加させる。しかし、運動能力維持のために同一強度の運動を週に

2回に実施頻度を落として継続しても19～20ヵ月齢頃から能力が落ち、23～24ヵ月齢では走行が困難となる。

中年期に連日、鍛練することをヒトに応用することは困難であると考えられるので、次の2点を検討するため、すなわち19～20ヵ月齢時の能力の減退は、運動刺激頻度の不足ではないことの説明²⁾、中年時の鍛練期の頻度を少なくし総量で補うことの可能性、この2点についてつぎの実験を行った。すなわち、12ヵ月齢時より安静がちなラットに、運動強度その他の条件を全く等しくし、隔日の走行と実施時間を倍増し総運動量を等しくして12週間実施した。また、さらにそれ以降は週に3回で走行を続けた。

図6はこの場合の体重変化であるが、図2に示した変化とほとんど相違なかった。運動能力では、15ヵ月齢でやや週3回の群で劣ったが、18ヵ月齢時では逆転し、能力維持に運動実施頻度の重

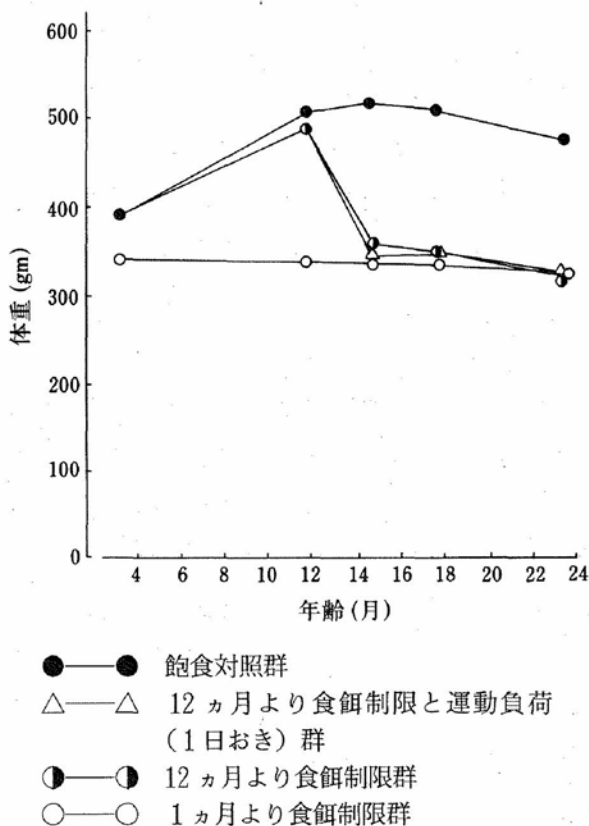


図6 体重変化

要性が示唆された。12ヵ月齢から開始した食餌制限および週に3回の頻度の運動負荷群の基礎代謝量は、12週間で12ヵ月齢時に対し11%代謝量を増加させ、以降これを維持した(図7)。

食餌制限のみの群もそのままの代謝量を24ヵ月齢まで維持し、図5(あるいは表1)の結果とほぼ一致する成績であった(図7)。1969年に厚生省で示している日本人の基礎代謝基準値をみるまでもなくヒトはもちろん、ラット⁶⁾でも飽食条件であると基礎代謝量は加齢により減少する。しかし、若年時からもちろん、中年時からでも食餌制限を行ない若年成熟時の体重を一定に維持できれば基礎代謝は一定であると考えられた。

運動の実施は、若年時ほど基礎代謝量の増加に対して貢献度が高く、また、運動頻度を多くすることで高めた代謝量を低下させなくて済むことが本研究の結果から考えられた。すなわち、体脂肪量を減少させるには食餌制限のみの場合よりも運

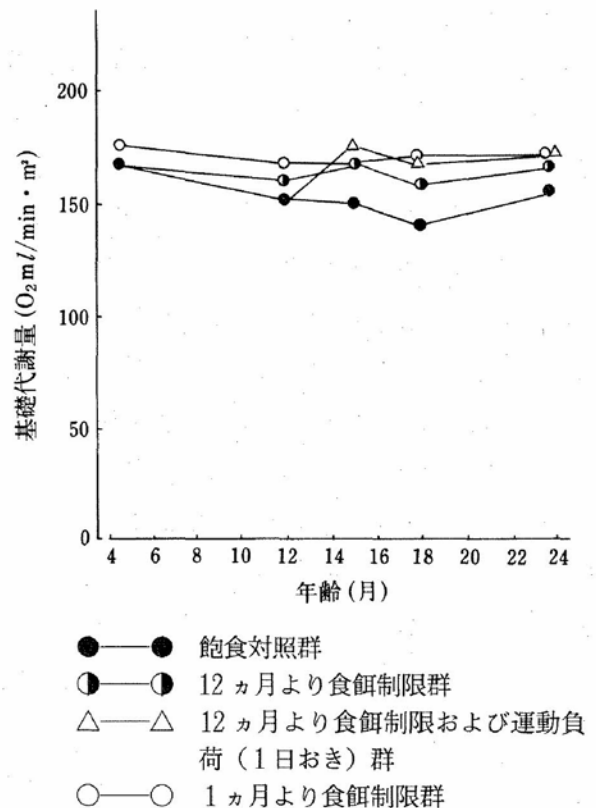


図7 12ヵ月より食餌制限および運動負荷した場合の基礎代謝の変化

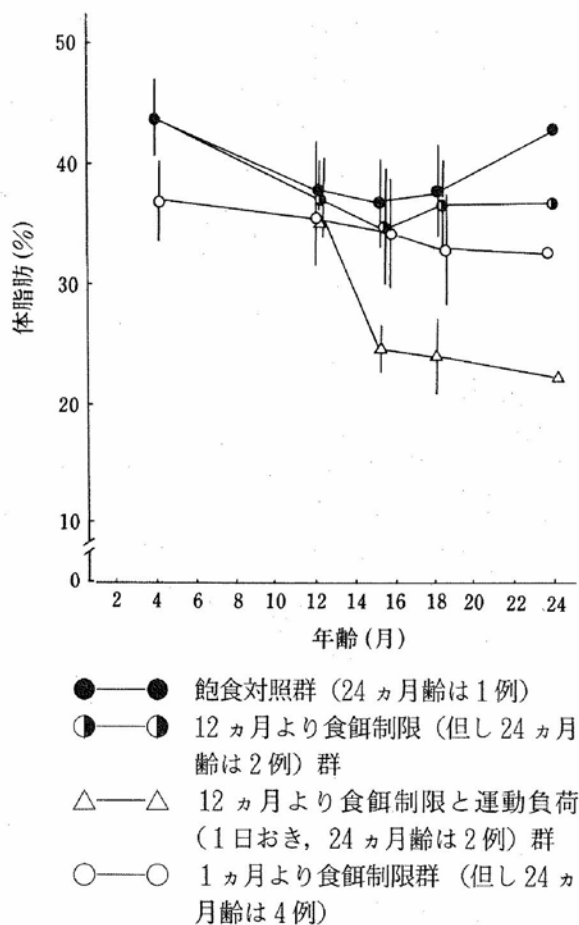


図8 12ヵ月より食餌制限と運動負荷した場合の体脂肪量の変化

動を実施した場合の方がはるかに優れると考えられる(表1, 図8). 12ヵ月齢より始めた週3回の運動・食餌制限群の体脂肪量(図8)は, 表1の12ヵ月齢時からの6回/週の運動負荷・食餌制限群と比べると, 少なくとも15ヵ月齢時までは総運動量が同一であるにもかかわらず有意に低下している. このことは, 中等度な強度の運動でも体脂肪を運動によって落とすには運動時間の要素を考慮しなければならない重要性を示唆している.

まとめ

本研究は中高年者の活動度をいかに増進, 維持していくかを寿命の短い実験動物を用いて調査しようとするものである. すなわち, ラットに若

年時(4週齢)および中年時(12ヵ月齢)に食餌を飽食状態の75%に制限させながら中等度な運動を継続的に24ヵ月齢時まで負荷させ基礎代謝量を測定した. 若年時より食餌制限・運動を行った群は, 12週間で飽食対照群のような体脂肪の蓄積を有意に抑制し($P < 0.001$), 基礎代謝量を20%増加させた($P < 0.02$). しかし, 4ヵ月齢以降に運動頻度を2回/週に減少すると15ヵ月齢以降の代謝量が減少する傾向にあった. 食餌制限のみで体重を一定に保持できるが, 体脂肪の蓄積は否めず飽食対照群に比べ基礎代謝量の有意な増加は認められなかった. しかし, 加齢による代謝量の低下は抑えることが出来た.

12ヵ月齢以降の食餌制限は, 基礎代謝量の加齢による低下を防ぐことができた. 中年以降に食餌制限にあわせて運動を負荷すると飽食安静群に比し基礎代謝量を有意に増加させるが, 6回/週(10分/日)の頻度での12週間では, 体脂肪量の有意な減少はみられなかった. しかし, 12ヵ月齢時の運動の頻度を半分に減らし1回の運動時間を倍に増加すると, 12ヵ月齢時の基礎代謝量を11%増加させるばかりか体脂肪量の有意な低下がみられた. また, 15ヵ月齢以降も同じ運動を継続すれば, 24ヵ月齢まで基礎代謝の低下を抑制できた.

文 献

- 1) Berg, B. N.; Nutrition and longevity in the rat. I. Food intake in relation to size, health and fertility, *J. Nutri.*, 71, 242-254 (1960)
- 2) Berg, B. N., Simms, H. S.; Nutrition and longevity in the rat. II. Longevity and onset of disease with different levels of food intake, *J. Nutri.*, 71, 255-263 (1960)
- 3) Goodrick, C. L.; Effects of long-term voluntary wheel exercise on male and female Wistar rats. I. Longevity, body weight and metabolic rate, *Gerontology*, 26, 22-33 (1980)
- 4) Hammond, E. C.; Some preliminary findings of physical complaints from a prospective

- study of 1,064,004 men and women, *Am. J. Publ. Hlth.*, **54**, 11-23 (1964)
- 5) 原田邦彦, 小林啓三, 小林康孝, 酒井敏夫, 岩垣丞恒, 成沢三雄; 加齢にともなうラット骨格筋グリコーゲンの消長, *体力科学*, **25**, 4, 202-211 (1976)
 - 6) 原田邦彦, 酒井敏夫; 基礎代謝におよ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等度運動負荷について, *日本生理学雑誌*, 47巻5号, 207-212 (1985)
 - 7) 原田邦彦; 肥満に挑戦する—トレーニングと減食, *デサントスポーツ科学*, **7**, 299-304 (1986)
 - 8) 原田邦彦, 米本恭三; ラットの基礎代謝におよぼす連続運動負荷の影響, (3)食餌制限時における長期中等度運動負荷について, *体力科学*, **36**, 211 (1987)
 - 9) Holloszy, J. O., Smith, E. K., Vining, M., Adams, S. ; Effect of voluntary exercise on longevity of rats, *J. Appl. Physiol.*, **59** (3), 826-831 (1985)
 - 10) 石河利寛; スポーツと健康, 東京 岩波書店 (1978)
 - 11) McCarter, R., Masoro, E. J., Yu, B. P. ; Does food restriction retard aging by reducing the metabolic rate? *Am. J. Physiol.*, **248**, E 488-E 490 (1985)
 - 12) McCay, C. M., Crowel, M. F., 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)
 - 13) McCay, C. M. Maynard, L. A., Sperling, G., 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)