

摂食方法および運動のタイミングが成長期ラットの体脂肪と 血清脂質に及ぼす影響（第3報）

— トレッドミルによる強制運動の強度および頻度との関係 —

笠原 利英^{※1}

キーワード： トレッドミル，強制運動，成長期ラット，体脂肪，
血清脂質

はじめに

現在，肥満は，心臓病，脳卒中，糖尿病などの生活習慣病のリスク要因とされている。肥満は体脂肪の過剰な蓄積であり，摂取エネルギーと消費エネルギーの不適切なバランスによってもたらされる。さらに，体脂肪の蓄積は，食事の量（摂食量）と質（栄養素バランス）だけでなく，食事の取り方および食事と運動のタイミング等によっても大きく影響を受けることが指摘されている。

筆者らは，前報^{1, 2)}において，種々の摂食方法および摂食と運動のタイミングが，体脂肪量および血清脂質濃度にどのような影響をもたらすかを明らかにする目的で，成長中ラットを用いた実験を行い，次のような結果を得た。

自由摂食 (ad libitum) 実験において，暗期の始め（朝に相当）あるいは暗期の終わり（夕に相当）に自由回転運動を負荷することによって，ラットの体脂肪蓄積および血清中性脂肪濃度が有意に低下すること，また摂食時間制限 (meal-feeding) 実験において，摂食の直前あるいは直後に運動を負荷することによって，体脂肪蓄積は有意に減少することが示された。特にいずれの実験においても，摂食直後の運動負荷がより効果が大きいことが分かった¹⁾。

また，暗期の始めの給餌（朝食）後あるいは暗期の終わりの給餌（夕食）前に自由回転運動負荷をした場合，腎周囲脂肪重量および血清中性脂肪濃度は有意な低下が認められた。朝食あるいは夕食の1回食に対して，同量の飼料を朝夕の2回に分けて給餌した場合，非運動群においては腎周囲脂肪重量および血清中性脂肪濃度は若干高値を示す傾向にあったが，運動負荷による体脂肪蓄積および血清中性脂肪濃度に及ぼす影響は運動時刻によって異なっていた²⁾。

前報における運動負荷は回転ケージを用いた自由回転運動であり，被験動物に与えるストレスが少ない運動適応の実験モデル³⁾として行われたが，運動強度の制御が困難であり，

※1 桜美林大学総合科学系

運動量の把握が定量的ではないことが考えられる。また、自由随意運動と強制運動ではその効果に違いがあることも指摘されている^{4, 5)}。

トレッドミルを用いた強制運動が体脂肪の蓄積に及ぼす影響については、数多くの先行研究⁶⁻⁹⁾があるが、運動の強度を比較したもの、運動の頻度の影響等について調べたものはほとんど見当たらない。そこで、今回は、ラット用トレッドミルを用いて、種々の運動の強度（走行速度と走行時間）および頻度（1日の回数と日数）を設定し、体脂肪蓄積および血清脂質濃度に及ぼす影響を調べた。

実験方法

1. 実験動物および飼育方法・飼料

すべての実験において前報^{1, 2)}と同様である。すなわち、5週齢のWistar系雄ラット（日本クレア（株））を用い、ステンレス製金網五連ケージで飼育した。飼育室は、温度 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $55\pm 5\%$ に設定し、また、明暗周期を昼夜逆転の12時間周期（暗期 8:00～20:00、明期 20:00～8:00）とした。飼料は、予備飼育期間および実験期間を通じて、市販固形飼料（飼育繁殖用 CE-2、日本クレア（株））を用いて飼育した。飼料の栄養成分含量は、粗たんぱく質 25.2%、粗脂肪 4.6%、炭水化物 50.7%、粗繊維 4.4%で、エネルギー含有量は 345kcal/100g であり、その他各種ミネラル、ビタミンを必要量含んでいる（日本クレア（株）分析値）。

2. 運動方法

本実験では、運動の強度（走行速度と走行時間）あるいは頻度（1日の回数と日数）を異にする2回の実験が行われた。ラットへの運動負荷は、ラット用トレッドミル MK-

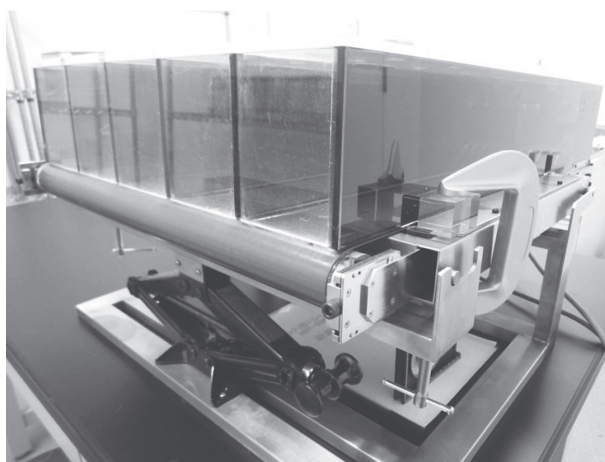


写真1 ラット用トレッドミル

680R5 (5 走路) (室町産業 (株), 写真 1) を用いて強制運動させた。トレッドミルの傾斜角度は 5 度とした。なお、運動中の給水は行わなかった。

(1) 実験 1：運動強度および頻度との関係

ラットを 5 日間、予備飼育した後、1 群 5 匹ずつ、次のように 6 群に分け、引き続き同じ飼料を 26 日間給与した。すなわち、何も運動させない非運動群 (C 群) を対照として、トレッドミルによる運動の強度 (走行速度と走行時間) および頻度 (1 日の回数と日数) を異にする運動群を 5 群設けた。

運動群 : 走行速度, 走行時間, 1 日の回数 (運動時刻), 運動日数 : 3 日間の走行距離

10EX 群 : 10m / 分, 30 分間, 1 回 (9:45 ~ 10:15), 3 日に 2 日 : 600m

15EX 群 : 15m / 分, 30 分間, 1 回 (9:15 ~ 9:45), 3 日に 2 日 : 900m

20EX 群 : 20m / 分, 15 分間, 1 回 (10:15 ~ 10:30), 3 日に 2 日 : 600m

15EXI 群 : 15m / 分, 60 分間, 1 回 (9:15 ~ 10:15), 3 日に 1 日 : 900m

15EX2 群 : 15m / 分, 15 分間, 2 回 (9:00 ~ 9:15, 18:15 ~ 18:30), 3 日に 2 日 : 900m

実験期間の 26 日間で、15EXI 群以外の 4 群については 3 日に 2 日の割合で運動を実施し、15EXI 群については、3 日に 1 日の割合で他の 4 群の運動休止日に運動を実施した。

実験期間中、毎日、運動前に体重測定および残餌を測定した。また、運動後に新たな給餌をし、その後自由摂食させた。水は自由摂取とした。

(2) 実験 2：運動強度あるいは食餌制限との関係

ラットを 7 日間、予備飼育した後、1 群 4 匹ずつ、次のように 6 群に分け、引き続き同じ飼料を 35 日間給与した。うち 4 群は自由摂食させた (C 群) が、残り 2 群は C 群の摂食量の 80% 制限食とする pair-feeding を行った (R 群)。それぞれ何も運動させない非運動群 (C-0 群, R-0 群) とトレッドミルによる運動の強度 (走行速度と走行時間) を異にする次の運動群 (毎日 1 回運動) とに分けた。

運動群 : 走行速度, 走行時間 (走行時刻) : 1 日の走行距離

C-9 群 : 9m / 分, 25 分間 (9:30 ~ 9:55) : 225m

C-15 群 : 15m / 分, 30 分間 (9:55 ~ 10:25) : 450m

C-25 群 : 25m / 分, 9 分間 (10:25 ~ 10:34) : 225m

R-9 群 : 9m / 分, 25 分間 (10:34 ~ 10:59) : 225m

実験期間の 35 日間で、運動を実施した期間は 33 日間であり、間に 2 日 (3,4 週目) の運動休止日を設けた。

実験期間中、毎日、運動前に体重測定および残餌を測定した。また、当初、R-0 群および R-9 群は C-0 群の摂食量の 80% 制限食として pair-feeding を行ったが、運動開始後 1 週目から C-15 群の摂食量がわずかに低下し始めたので、以後、C-15 群の摂食量を基準とした pair-feeding に変更した。水は自由摂取とした。

3. 動物の解剖

すべての実験において、飼育期間終了後、ラットを1夜絶食した後、ネムブタール麻酔下で開腹、下大静脈より採血した後に、肝臓、腎臓、脾臓、精巣および脂肪組織（腎周囲、精巣周囲）を摘出し、重量を測定した。採血した血液は直ちに遠心分離（3000回転×15分間）を行い、血清を分離し、分析まで-80℃で凍結保存した。

4. 血清脂質の分析方法

血清脂質（中性脂肪、総コレステロール）および血清グルコースの測定は、市販の試薬キット（和光純薬工業（株））を用いて、すべて酵素法で行った。

5. 統計処理の方法

実験データはすべて平均値±標準偏差で表し、統計解析には、「エクセル統計 2010」（（株）社会情報サービス）を用い、一元配置分散分析により行い、Fisherの最小有意差法（LSD）で群間の有意差を判定した。

実験結果

1. 実験1：運動強度および頻度との関係

(1) 体重増加量および摂食量

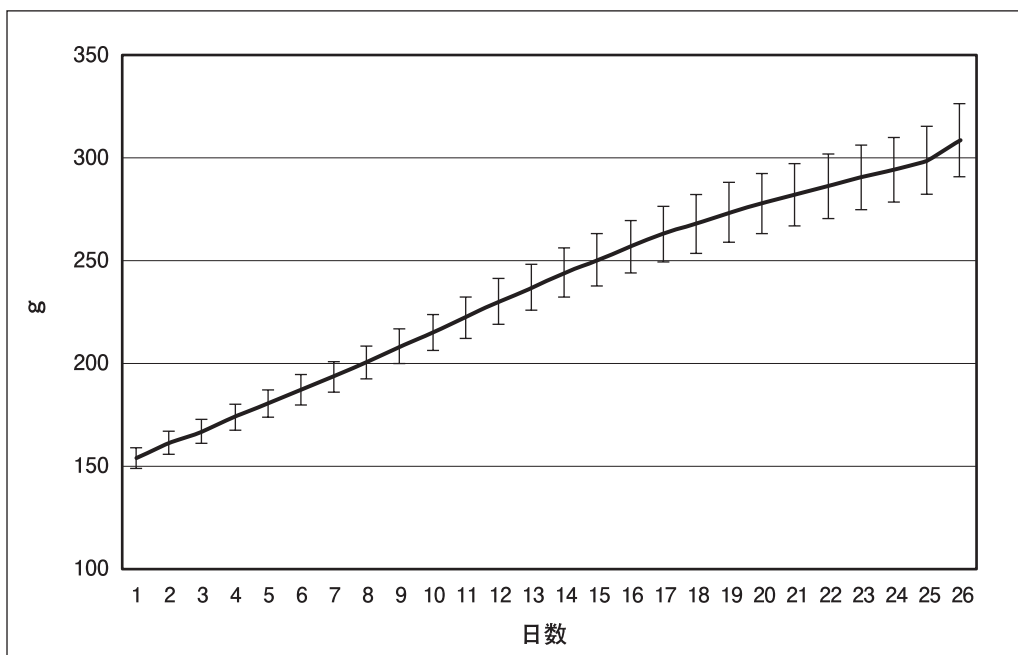
実験期間におけるラットの体重変化（全ラットの平均値）および体重増加量（群毎の平均値）を図1および図2に示した。体重増加量は、C群 142.9 ± 10.3 g, 10EX群 133.4 ± 8.7 g, 15EX群 126.4 ± 16.2 g, 20EX群 133.6 ± 17.3 g, 15EXI群 133.2 ± 9.3 g および 15EX2群 139.2 ± 15.2 g であり、15EX群で小さい傾向にあった（C群対して $p < 0.05$ ）。

また、実験期間における1日平均の摂食量は、それぞれ 23.8 ± 1.5 g, 23.2 ± 1.2 g, 22.9 ± 1.6 g, 22.8 ± 1.5 g, 22.9 ± 0.7 g および 23.6 ± 1.1 g であり、群間に有意差はなかった。9:00からの運動後に給餌をして、その後自由摂食としたが、18:00頃までに1日の摂食量の $57.1 \pm 2.2\%$ （15EX2群）を摂取していた。

(2) 臓器重量および脂肪組織重量

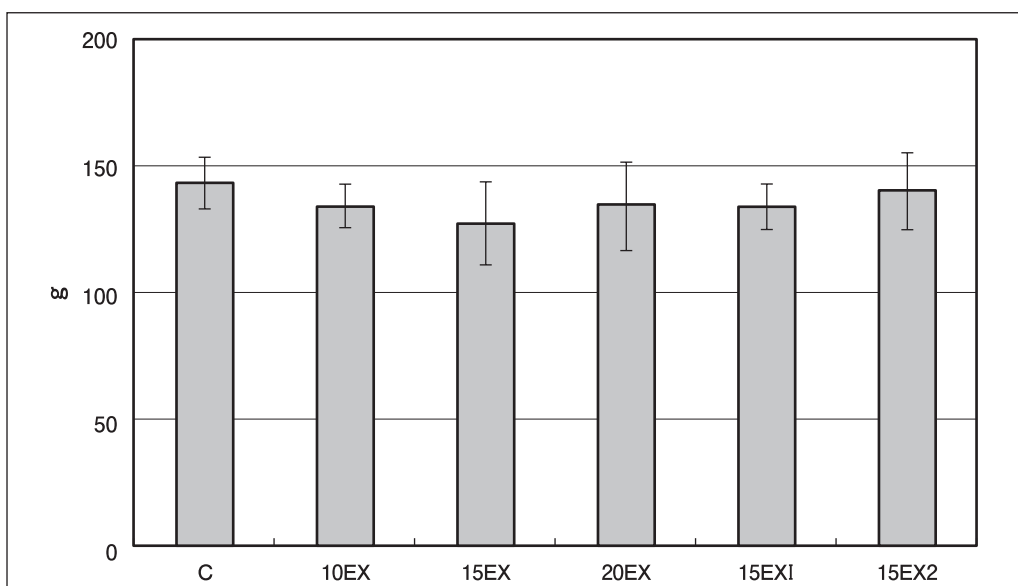
解剖時の体重100gあたりの各臓器重量および脂肪組織重量を表1および図3に示した。腎周囲脂肪重量については、すべての運動群において低下傾向にあったが、有意に低下したのは、15EX群のみであった（C群 1.41 g に対して 15EX群 0.88 g, $p < 0.05$ ）。3日間の走行距離が600mに相当する運動負荷（10EX群, 20EX群）では有意な差ではなかった（それぞれ 1.23 g, 1.03 g）。

また、3日間の相当走行距離が15EX群と同じ900mであるが、運動負荷の頻度が異なる群（15EXI群, 15EX2群）では、有意な低下が見られなかった（それぞれ 1.01 g, 1.03 g）。



平均值±標準偏差

図1 体重変化（実験1）



平均值±標準偏差

有意差 $p < 0.05$, C:15EX

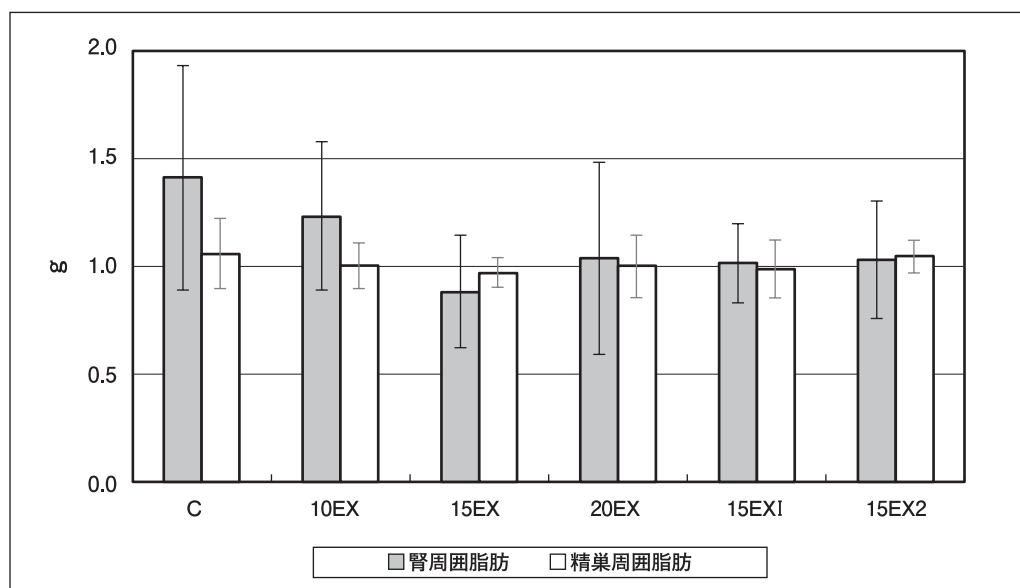
図2 体重増加量（実験1）

表 1 体重 100g あたりの各臓器・脂肪組織重量（実験 1）

群	終体重	肝臓	腎臓	脾臓	精巣	腎周囲脂肪	精巣周囲脂肪
C	269.1 ± 16.1	3.62 ± 0.33	0.78 ± 0.05	0.26 ± 0.03	1.00 ± 0.05	1.41 ± 0.52	1.05 ± 0.16
有意差		a,b		A,B		a	
10EX	287.2 ± 13.1	3.54 ± 0.15	0.83 ± 0.07	0.25 ± 0.01	1.02 ± 0.04	1.23 ± 0.34	1.00 ± 0.11
有意差				a			
15EX	280.2 ± 20.4	3.44 ± 0.10	0.83 ± 0.02	0.25 ± 0.01	1.03 ± 0.08	0.88 ± 0.26	0.97 ± 0.07
有意差				b		a	
20EX	287.2 ± 20.1	3.34 ± 0.19	0.82 ± 0.08	0.25 ± 0.02	1.01 ± 0.06	1.03 ± 0.45	1.00 ± 0.14
有意差		a		c			
15EX1	286.4 ± 9.3	3.42 ± 0.16	0.85 ± 0.03	0.23 ± 0.01	1.03 ± 0.06	1.01 ± 0.18	0.99 ± 0.13
有意差				A			
15EX2	293.8 ± 15.3	3.34 ± 0.18	0.84 ± 0.08	0.22 ± 0.02	1.05 ± 0.06	1.03 ± 0.27	1.04 ± 0.08
有意差		b		B,a,b,c			

数値：平均値±標準偏差（g）

有意差：同じアルファベット間に有意差がある（大文字 $p < 0.01$ ，小文字 $p < 0.05$ ）



平均値±標準偏差

有意差 表 1 参照

図 3 体重 100g あたりの脂肪組織重量（実験 1）

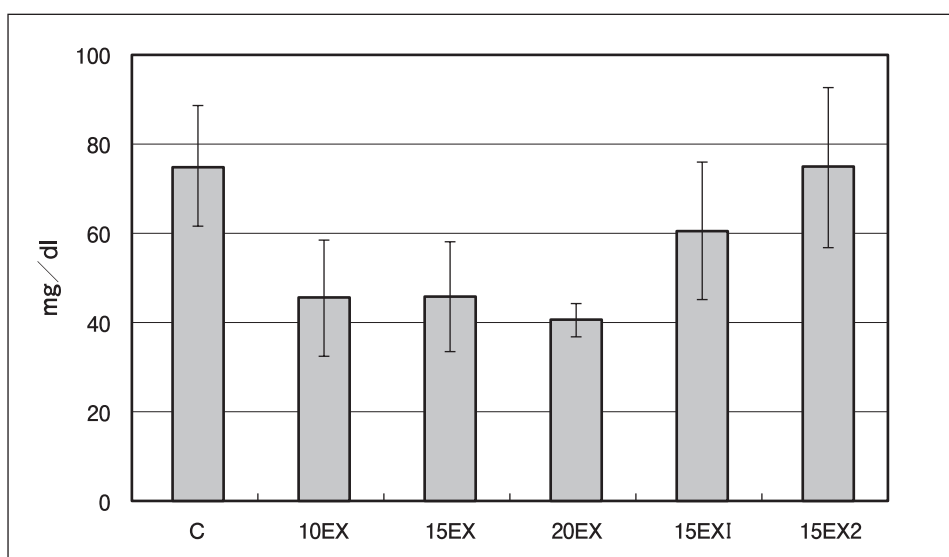
一方、精巣周囲脂肪重量については、すべての運動負荷群においてC群と有意な差はなかった（表1、図3）。

また、その他の臓器については、肝臓および脾臓において、運動負荷によって低下するものがあった（肝臓：C群に対して20EX群、15EX2群で $p < 0.05$ ，脾臓：C群に対して15EX1群、15EX2群で $p < 0.01$ ）。さらに15EX2群の脾臓については他の運動群（10EX群、15EX群、20EX群）に対しても有意な差（ $p < 0.05$ ）があった（表1）。

(3) 血清中性脂肪濃度等

血清中性脂肪濃度および血清グルコース濃度を図4および図5に示した。血清中性脂肪濃度については、3日に2日、1日1回の運動を負荷する群（10EX群、15EX群、20EX群）において、他の群に対して有意に（C群、15EX1群、15EX2群に対して $p < 0.01$ ）低い値を示したが、15EX1群および15EX2群、すなわち運動負荷が3日に1日の場合および運動が1日2回に分けられて負荷される場合ではC群に対して有意な差が認められなかった（図4）。

また、血清グルコース濃度については、運動負荷により20EX群、15EX1群および15EX2群でC群に対して有意に（ $p < 0.01$ ）低い値を示し、10EX群、15EX群に対しては低下傾向（ $p < 0.05$ ）であった（図5）。一方、血清総コレステロール濃度については、群間で若干の差が認められたが一定の傾向にはなかった。

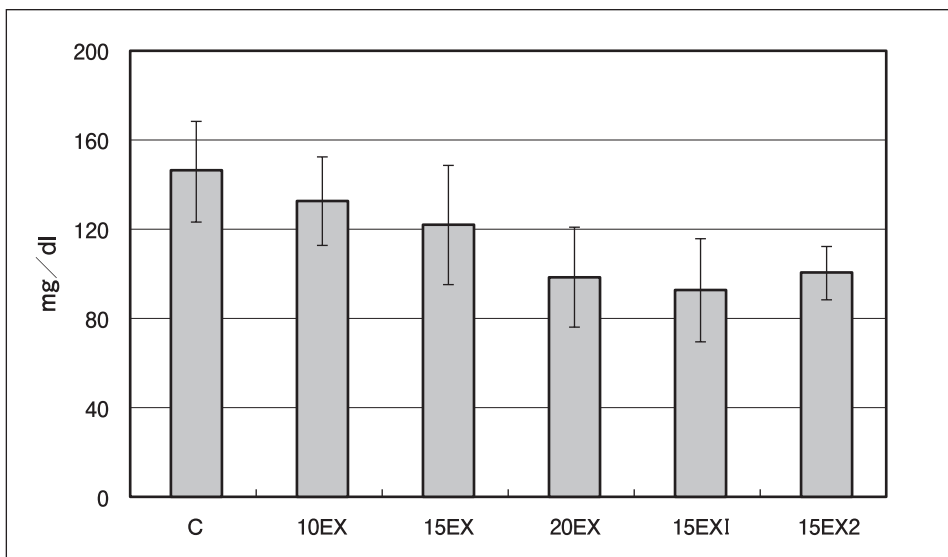


平均値±標準偏差

有意差 $p < 0.01$, C:10EX, C:15EX, C:20EX, 10EX:15EX2, 15EX:15EX2, 20EX:15EX2

$p < 0.05$, 20EX:15EX1

図4 血清中性脂肪濃度（実験1）



平均値±標準偏差

有意差 $p < 0.01$, C:20EX, C:15EXI, C:15EX2, 10EX:15EXI

$p < 0.05$, 10EX:20EX, 10EX:15EX2, 15EX:15EXI

図5 血清グルコース濃度 (実験1)

2. 実験2：運動強度あるいは食餌制限との関係

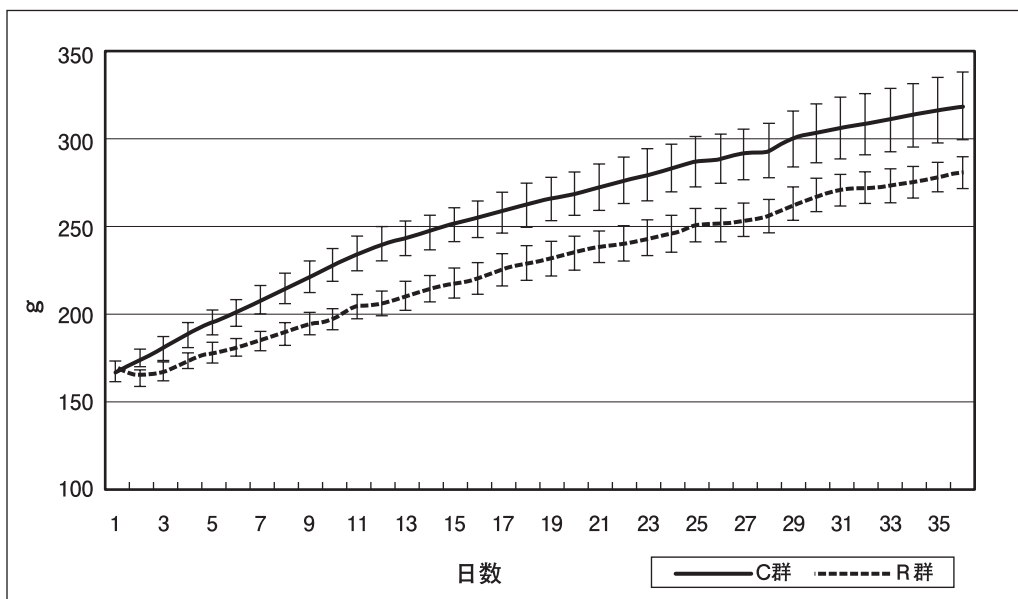
(1) 体重増加量および摂食量

実験期間におけるラットの体重変化 (C 群と R 群毎の平均値) および体重増加量 (群毎の平均値) を図6 よび図7 に示した。体重増加量は, C-0 群 $146.2 \pm 11.9\text{g}$, C-9 群 $146.0 \pm 16.1\text{g}$, C-15 群 $156.3 \pm 11.8\text{g}$, C-25 群 $148.3 \pm 3.1\text{g}$ および R-0 群 $118.2 \pm 8.6\text{g}$, R-9 群 $111.8 \pm 9.0\text{g}$ であり, R-0 群および R-9 群がすべての C 群に対して有意に ($p < 0.01$) 低い値を示した。なお, C 群の間および R 群の間には有意な差は認められなかった (図7)。

また, 実験期間における1日平均の摂食量は, それぞれ $23.2 \pm 0.5\text{g}$, $23.5 \pm 0.6\text{g}$, $23.1 \pm 1.4\text{g}$, $22.4 \pm 1.2\text{g}$ および $18.9 \pm 0.1\text{g}$, $18.8 \pm 0.1\text{g}$ であった。因みに, R-0 群および R-9 群は C-0 群あるいは C-15 群に対して 80% 制限食とする pair-feeding ($p < 0.01$) である。

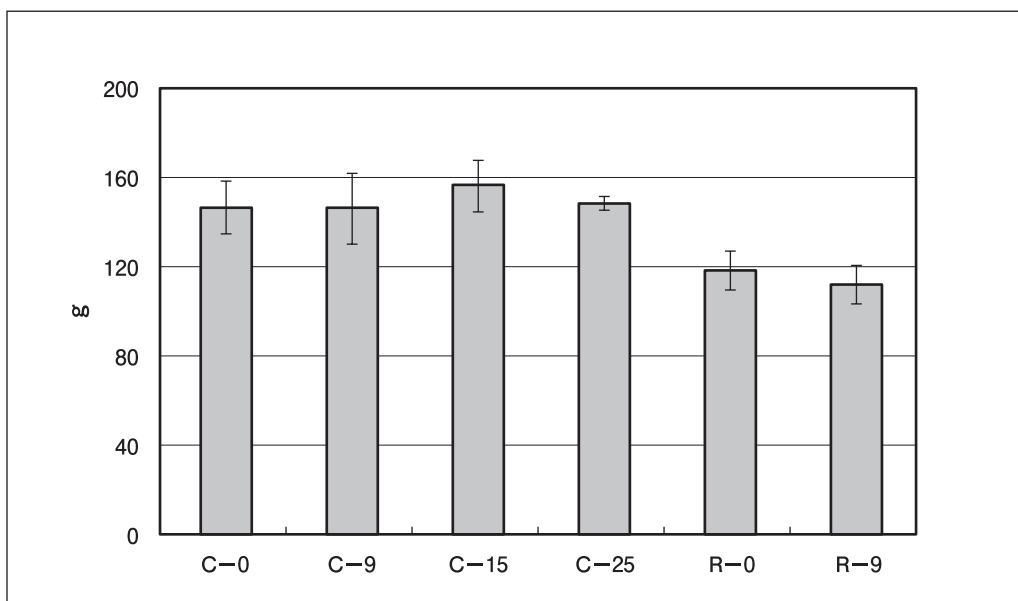
(2) 臓器重量および脂肪組織重量

解剖時の体重100gあたりの各臓器重量および脂肪組織重量を表2 および図8 に示した。腎周囲脂肪重量については, C-0 群 $2.12 \pm 0.24\text{g}$, C-9 群 $2.12 \pm 0.18\text{g}$, C-15 群 $1.62 \pm 0.29\text{g}$, C-25 群 $1.56 \pm 0.29\text{g}$ および R-0 群 $1.73 \pm 0.30\text{g}$, R-9 群 $1.57 \pm 0.39\text{g}$ であり, C-25 群および R-9 群が C-0 群に対して有意に ($p < 0.01$) 低い値を示し, C-15 群および R-0 群が C-0 群に対して低い傾向 ($p < 0.05$) を示した。また, C-9 群に対して C-15 群, C-25 群および R-9 群が低値の傾向にあった ($p < 0.05$)。一方, 精巣周囲脂肪重量については,



平均值±標準偏差

図 6 体重変化 (実験 2)



平均值±標準偏差

有意差 $p < 0.01$, C-0:R-0, C-0:R-9, C-9:R-0, C-9:R-9, C-15:R-0, C-15:R-9, C-25:R-0, C-25:R-9

図 7 体重増加量 (実験 2)

ほとんど群間で有意な差が認められなかった（表 2，図 8）。

また，その他の臓器については，肝臓，腎臓および精巣において，各群間に有意な差が見られた（肝臓：C-0 群に対して C-15 群，R-0 群，R-9 群で $p < 0.01$ ，腎臓：C-0 群に対して R-0 群，R-9 群で $p < 0.01$ ，精巣：R-9 群で C-0 群，C-9 群，C-15 群，C-25 群に対して $p < 0.01$ ）。肝臓および腎臓については，R-0 群および R-9 群で他の運動群に対して低値傾向を示すものがあった（表 2）。

表 2 体重 100g あたりの各臓器・脂肪組織重量（実験 2）

群	終体重	肝臓	腎臓	脾臓	精巣	腎周囲脂肪	精巣周囲脂肪
C-0	313.2 ± 13.4	3.42 ± 0.11	0.78 ± 0.03	0.22 ± 0.02	1.00 ± 0.03	2.12 ± 0.24	0.79 ± 0.17
有意差		A,B,C	A,B		A	A,,B,a,b	
C-9	313.5 ± 23.1	3.36 ± 0.17	0.74 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.99 ± 0.07	2.12 ± 0.18	0.73 ± 0.12
有意差		D,E,a	a		B	c,d,e	
C-15	324.3 ± 19.3	3.11 ± 0.11	0.78 ± 0.03	0.22 ± 0.04	0.98 ± 0.03	1.62 ± 0.29	0.77 ± 0.12
有意差		A,a	C,D		C	a,c	
C-25	313.0 ± 4.6	3.25 ± 0.12	0.73 ± 0.03	0.23 ± 0.02	0.93 ± 0.01	1.56 ± 0.29	0.83 ± 0.05
有意差		b,c	E,b		D	A,d	
R-0	284.4 ± 9.8	2.97 ± 0.16	0.71 ± 0.02	0.22 ± 0.01	1.07 ± 0.08	1.73 ± 0.30	0.86 ± 0.04
有意差		B,D,b	A,C,b			b	
R-9	280.8 ± 9.6	2.96 ± 0.12	0.69 ± 0.03	0.22 ± 0.01	1.17 ± 0.07	1.57 ± 0.39	0.76 ± 0.10
有意差		C,E,c	B,D,E,a		A,B,C,D	B,e	

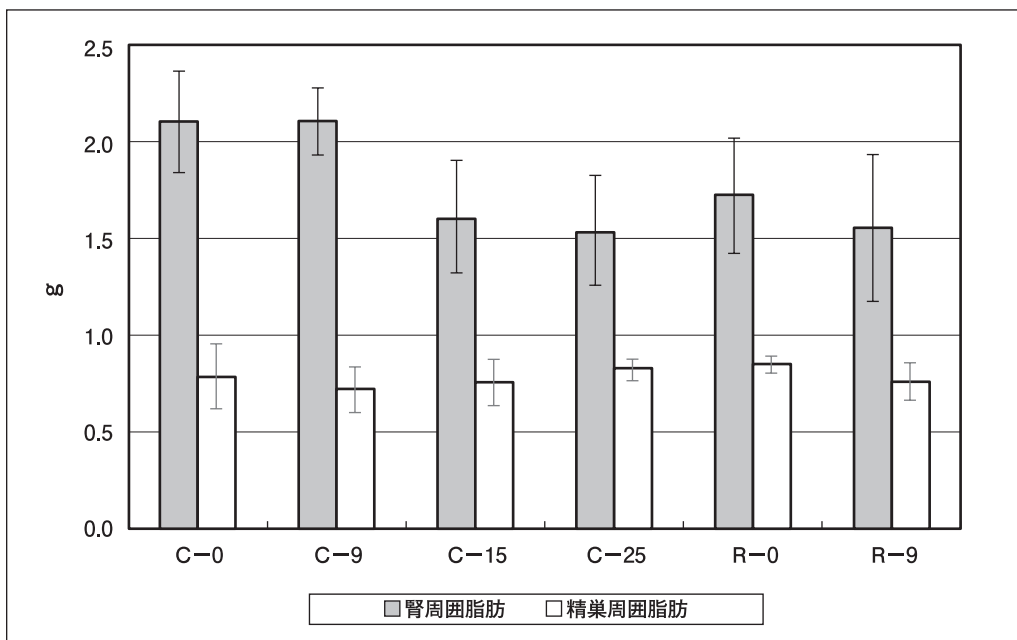
数値：平均値 ± 標準偏差（g）

有意差：同じアルファベット間に有意差がある（大文字 $p < 0.01$ ，小文字 $p < 0.05$ ）

（3）血清中性脂肪濃度等

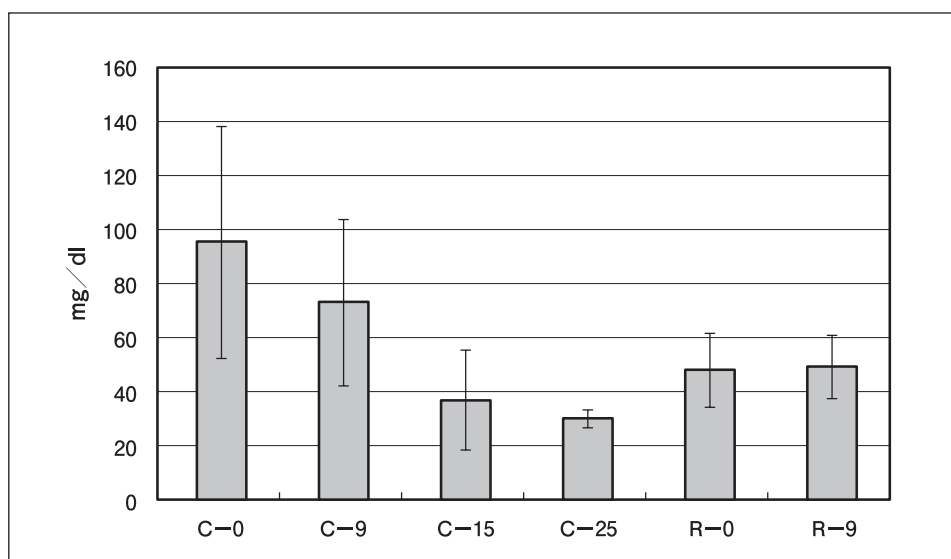
血清中性脂肪濃度および血清グルコース濃度を図 9 および図 10 に示した。血清中性脂肪濃度については，C-15 群，C-25 群および R-0 群で C-0 群に対して有意に（ $p < 0.01$ ）低い値を示し，また，R-9 群は C-0 群に対して低い傾向（ $p < 0.05$ ）を示した。さらに，C-25 群は C-9 群に対して低い傾向（ $p < 0.05$ ）を示した（図 9）。

また，血清グルコース濃度については，R-0 群および R-9 群は C-25 群に対して有意に（ $p < 0.01$ ）高い値を示し，C-15 群に対しては高い傾向（ $p < 0.05$ ）を示した。また，R-0 群は C-9 群に対して高い傾向（ $p < 0.05$ ）を示した（図 10）。一方，血清コレステロール濃度においては，群間で有意な差はなかった。



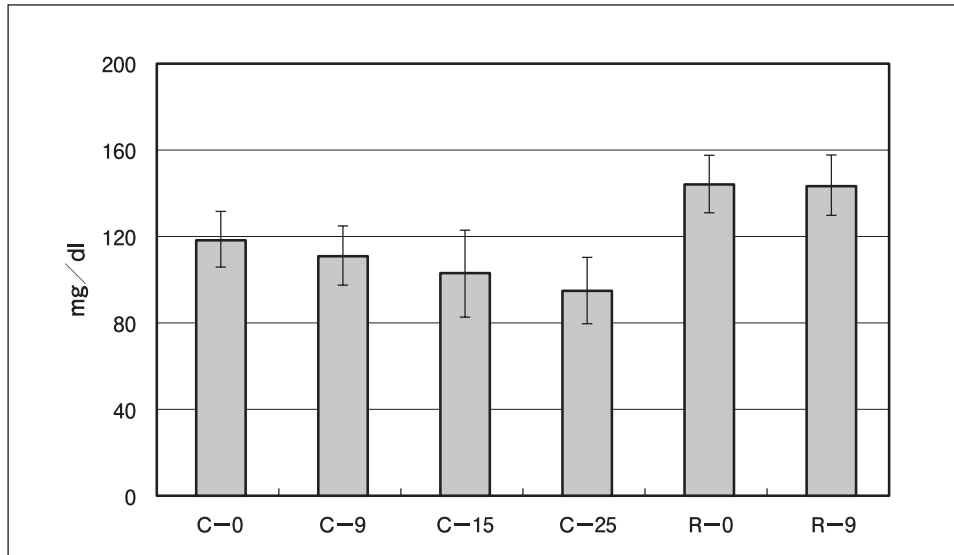
平均値±標準偏差
有意差 表2参照

図8 体重100gあたりの脂肪組織重量(実験2)



平均値±標準偏差
有意差 $p < 0.01$, C-0:C-15, C-0:C-25, C-0:R-0
 $p < 0.05$, C-0:R-9, C-9:C-25

図9 血清中性脂肪濃度(実験2)



平均値±標準偏差

有意差 $p < 0.01$, C-25:R-0, C-25:R-9

$p < 0.05$, C-9:R-0, C-15:R-0, C-15:R-9

図 10 血清グルコース濃度 (実験 2)

考察

筆者らは、前報^{1, 2)}において、種々の摂食方法および摂食と運動のタイミングが、体脂肪量および血清脂質濃度にどのような影響をもたらすかを明らかにする目的で、成長中ラットを用いた実験を行ったが、運動負荷の方法は回転ケージを用いた自由回転運動であり、被験動物に与えるストレスが少ない運動適応の実験モデル³⁾として行われたが、運動強度の制御が困難であり、運動量の把握が定量的ではないことが考えられた。また、自由随意運動と強制運動ではその効果に違いがあることも指摘されている^{4, 5)}。Arao, T. ら⁴⁾はラット精巣上体脂肪組織中のグリセロール濃度に及ぼす運動負荷の実験において、トレッドミル強制運動負荷（走行速度 26m / 分、走行時間 90 分間、運動頻度週 5 回、実験期間 13 週間）ラットでは、対照ラットに比べ低下していたが、回転ケージによる随意運動負荷ラットでは低下しなかったことを認めている。

そこで、今回は、ラット用トレッドミルを用いて、種々の運動の強度（走行速度と走行時間）および頻度（1 日の回数と日数）を設定し、体脂肪蓄積および血清中性脂肪濃度に及ぼす影響を調べた。

まず、実験 1 において、3 日間の走行距離を 600m と 900m の 2 段階に設定し、600m 走行においては、3 日に 2 日の頻度で 10m / 分の速度で 30 分間の運動負荷をした群 (10EX 群) と 20m / 分の速度で 15 分間の運動負荷をした群 (20EX 群) を比較した。また、

900m 走行においては、3 日に 2 日の頻度で 15m / 分で 30 分間の運動負荷した群 (15EX 群) と朝夕の 2 回に分けて 15m / 分の速度で 15 分間ずつ運動負荷をした群 (15EX2 群) および 3 日に 1 日のみ 15m / 分の速度で 60 分間の運動負荷をした群 (15EXI 群) を比較した。その結果、非運動群 (C 群) に対して腎周囲脂肪重量が低下傾向 ($p < 0.05$) を示したのは 15EX 群すなわち 15m / 分の速度で 30 分間の運動をした場合のみであったが、他の運動群においても小さな値を示した (表 1, 図 3)。その中でも、600m 走行距離の場合、走行速度の小さい 10EX 群 (10m / 分 \times 30 分) においては脂肪重量の大きな低下は見られなかった (12.8%の低下) が、同じ走行距離でも走行速度を大きくして、短時間の運動負荷をした 20EX 群 (20m / 分 \times 15 分) においては有意差がないものの脂肪重量の低下が大きかった (27.0%の低下)。このことは、同じ運動量 (走行距離) の場合、走行速度が小さく走行時間を長くするよりも、走行時間が短くても走行速度を大きくした方が運動負荷の効果が大きいことを示唆している。一方、900m 走行距離の場合、15m / 分の速度で 30 分間の運動負荷をした 15EX 群においては脂肪重量の低下傾向 ($p < 0.05$) が見られた (37.6%の低下) が、同じ走行距離でも、その運動負荷を 15 分間ずつ朝夕の 1 日 2 回に分けて行った場合 (15EX2 群) あるいは運動負荷の頻度を 3 日に 1 日、60 分間にした場合 (15EXI 群)、脂肪重量の低下割合は減少した (それぞれ C 群に対して 27.0%, 28.4%の低下)。以上の結果から、運動負荷の強度をある程度大きくしないと運動負荷による体脂肪蓄積抑制の効果が見られないこと、また一定時間の運動負荷をせずに 1 日のうちで運動時間を数回に分けたり、同じ運動量でも運動負荷の日にちの間隔を開けてしまった場合には体脂肪蓄積抑制の効果が低下してしまうことを示している。

実験 2 においては、運動負荷の頻度を基本的に毎日とし、かつ実験 1 に比べて、走行距離を大きくした (3 日間で 675m と 1350m に相当する) ときの腎周囲脂肪重量に及ぼす運動負荷の効果を調べた。その結果 (表 2, 図 8)、実験 1 と同様に、非運動群 (C-0 群) に対して、走行速度が小さい場合では長時間運動しても (9m / 分 \times 25 分) 運動負荷の効果が認められないこと (C-9 群, 0%の低下)、同じ走行距離でも、走行速度を大きくすれば運動時間を短縮しても (25m / 分 \times 9 分) 運動負荷の効果がみられる (C-25 群, 26.4%の低下, $p < 0.01$) ことが分かった。また、15m / 分の運動速度で 30 分間の運動負荷 (C-15 群) でも実験 1 と同様に脂肪重量は低下していた (23.6%の低下, $p < 0.05$)。いずれの場合も、実験 1 に比較して、運動量 (走行距離) が大きいにもかかわらず、腎周囲脂肪重量の低下割合が減少していたのは、実験 2 においては、飼育期間が長く、動物の体重が大きく、腎周囲脂肪重量が大きいことにより、運動負荷の効果が低下したものと思われる。

また、実験 2 において、非運動群 (C-0 群) に対して、80%に食餌制限をした場合 (R-0 群)、腎周囲脂肪重量は低下傾向 ($p < 0.05$) を示した (18.4%の低下)。さらに食餌制限をした動物に毎日の運動負荷 (9m / 分 \times 25 分) をした場合 (R-9 群) にも、C-0 群に対して有意に ($p < 0.01$) 脂肪重量は低下していた (25.9%の低下) が、R-0 群に対し

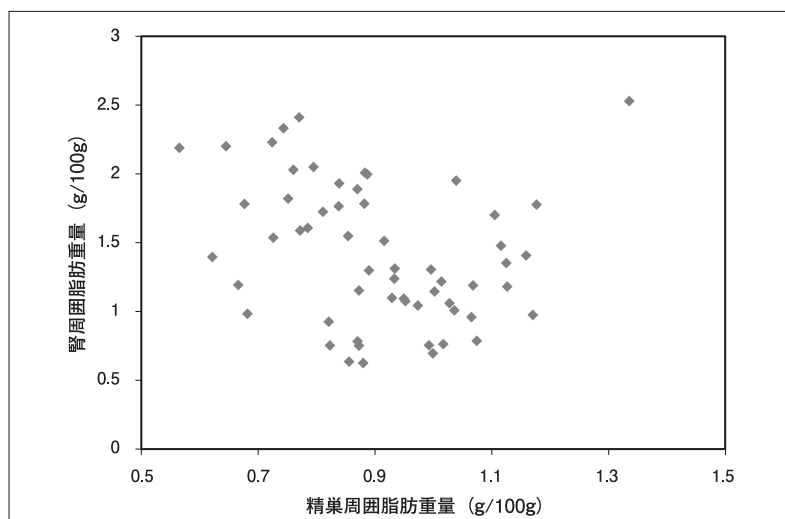
てはわずかな低下を示したに過ぎず（9.2%の低下）有意差は認められなかった。80%に食餌を制限することと運動負荷（15m／分×30分）による体脂肪蓄積の抑制効果を比較すると、運動負荷による効果の方が大きいことが分かった（C-15群 23.6%の低下と R-0群 18.4%の低下の比較）。さらに食餌制限動物に同量の運動を負荷した場合に更なる効果が認められるかどうかは不明であるが、少なくとも、自由摂食の動物に対する運動負荷（C-9群）と同様に弱い運動負荷（R-9群）では大きな効果は期待できない。

実験1および実験2において、精巣周囲脂肪重量については、運動負荷による有意な影響は認められなかった。この傾向は前報²⁾における結果と同様であり、このことは体脂肪が減少していく場合、精巣周囲脂肪よりも、腎周囲脂肪のような腹腔内脂肪が優先的に減少していくものと考えられる。このことは腎周囲脂肪重量と精巣周囲脂肪重量の間には有意な相関関係が認められないことから推察できる（図11）。

本実験においても、運動負荷により血清中性脂肪濃度は低下することが示された（図4、図9）。また、腎周囲脂肪重量の低下と血清中性脂肪濃度の低下には関係があるように見える。そこで、実験に用いられたすべてのラットにおける腎周囲脂肪重量と血清中性脂肪濃度との相関を調べた結果、有意な（ $p < 0.01$ ）相関が認められた（図12）。

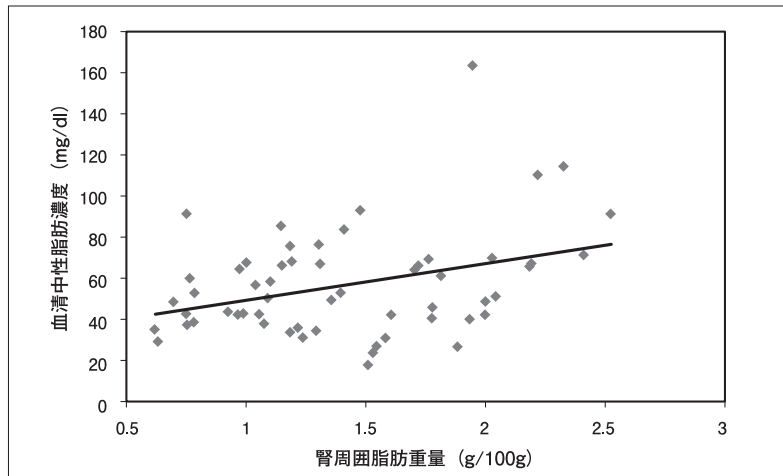
肝臓、腎臓、脾臓および精巣重量に対する運動負荷の影響については、必ずしも一定の傾向は認められなかったが、実験1、2とも運動負荷により肝臓の重量が小さくなる傾向が認められた（表1、表2）。さらに詳細な検討が必要である。

また、血清グルコース濃度に対する運動負荷の影響については、運動負荷により低下する傾向が認められた（図5、図10）。運動により血糖が有効に利用される結果と考えられる。血清コレステロール濃度については運動負荷の影響がほとんど認められなかった。



有意性： $p > 0.05$

図11 腎周囲脂肪重量と精巣周囲脂肪重量の相関（実験1・2）



有意性: $p < 0.01$

図 12 腎周囲脂肪重量と血清中性脂肪濃度の相関 (実験 1・2)

本実験の目的は、体脂肪蓄積に影響を与える運動負荷の強度および頻度を定めることであるが、運動の強度と体脂肪あるいは血清脂質の関係を調べた先行研究の一例を挙げると次のようである。

Kaneda, I ら⁶⁾は、ラットへの 23m / 分, 60 分間, 5 日間 / 週, 8 週間のトレッドミルによるランニング運動が腎周囲脂肪重量の低下をもたらすことを認めた。Gauthier, M-S ら⁷⁾は、ラットに 42% (kcal%) の高脂肪食を 16 週間与え、後半の 8 週間にトレッドミルによる運動負荷 (15m / 分, 15 分間, 傾斜角度 0%, 週 5 回, 4 週間と 26m / 分, 60 分間, 傾斜角度 10%, 4 週間) をしたときに、高脂肪食による体脂肪の蓄積および高脂血症 (中性脂肪およびコレステロール) が改善されることを観察した。谷ら⁸⁾は、1% コレステロール添加脂肪食による食餌性脂肪肝発症ラットにトレッドミルによる運動 (15m / 分, 30 分間, 16 週間毎日) を負荷した結果、脂肪肝の改善とともに、体脂肪 (腹腔内および睪丸周囲の脂肪) の蓄積が減少することを示した。Suzuki, S. ら⁹⁾は、ラットでモーター付き回転槽を用いた歩行運動を負荷し、一定速度 (14m / 分, 3 時間, 4 週間) の歩行あるいは加速度歩行 (4 週間で 14 ~ 28m / 分まで加速) により、体脂肪 (粗脂肪) の蓄積割合が対照ラットよりも有意に低かったが、歩行運動の方法が異なっても有意な差を示さないことを明らかにしている。

以上、本実験の結果および先行研究の結果等を考慮すると、走行速度 15m / 分 × 走行時間 30 分以上のトレッドミルによる運動を少なくとも 2 ~ 3 週間負荷することによって、体脂肪の蓄積を抑え、血清中性脂肪濃度を低下させることができることが示唆された。

要約

トレッドミルによる強制運動の強度あるいは頻度がラット体脂肪の蓄積および血清脂質にどのような影響を及ぼすかを明らかにする目的で、次の2種類の実験を行った。5週齢のWistar系雄ラットに、26日(実験1)あるいは35日(実験2)間、トレッドミルによる運動を負荷し、実験終了時に動物を解剖・採血し、体脂肪の蓄積量として腎周囲脂肪重量および精巣周囲脂肪重量ならびに血清中性脂肪濃度、血清コレステロール濃度および血清グルコース濃度(血糖値)を測定した。

実験1において、3日間当たりの走行距離を600mと900mの2段階に設定し、600m走行においては、3日に2日の頻度で、10m/分の速度で30分間の運動負荷をした群と20m/分の速度で15分間の運動負荷をした群を比較した。また、900m走行においては、3日に2日の頻度で15m/分の速度で30分間1回の運動負荷した群と朝夕の2回に分けて15分間ずつ運動負荷をした群および3日に1日のみ15m/分の速度で60分間1回の運動負荷をした群を比較した。その結果、非運動群に対して腎周囲脂肪重量が低下傾向($p < 0.05$)を示したのは、3日に2日の頻度で、15m/分の速度で30分間1回の運動負荷をした場合のみであったが、他の運動群においても低下は認められた。また、600m走行において、同じ走行距離でも大きな走行速度で短時間の運動負荷をした群においては有意差がないものの脂肪重量の低下が大きかった。このことは、同じ運動量(走行距離)でも、走行速度をある程度大きくしないと運動負荷の効果が見られないことを示している。一方、900m走行の場合、15m/分の速度で30分間の運動負荷をした群において脂肪重量の低下傾向($p < 0.05$)が見られたが、同じ走行距離でも、その運動負荷を15分間ずつ1日2回に分けて行った場合あるいは運動負荷の頻度を3日に1日、60分間にした場合、脂肪重量の低下割合は減少した。この結果から、運動負荷の強度をある程度大きくしないと運動負荷による体脂肪蓄積抑制の効果が見られないこと、また一定時間の運動負荷をせずに1日のうちで運動時間を数回に分けたり、同じ運動量でも運動負荷の間隔を開けてしまった場合にも体脂肪蓄積抑制の効果が低下してしまうことを示している。

実験2においては、運動負荷の頻度を基本的に毎日とし、かつ走行距離を大きくしたときの腎周囲脂肪重量に及ぼす運動負荷の効果を調べた。その結果、実験1と同様に、非運動群に対して、小さい走行速度では長時間運動しても(9m/分×25分)運動負荷の効果が認められないこと、同じ走行距離でも、走行速度を大きくすれば運動時間を短縮しても(25m/分×9分)運動負荷の効果が見られることが分かった。また、15m/分の運動速度で30分間の運動負荷でも実験1と同様に脂肪重量は低下していた。実験2において、非運動群に対して、80%に食餌制限をした場合、腎周囲脂肪重量は低下傾向($p < 0.05$)を示したが、その食餌制限をした動物に、毎日の運動負荷(9m/分×25分)をした場合には、更なる低下がわずかに認められたが有意差はなかった。

実験 1 および実験 2 において、精巣周囲脂肪重量については、運動負荷による有意な影響は認められなかった。また、両実験において、運動負荷により血清中性脂肪濃度は低下することが示された。

文献

- 1) 笠原利英, 谷川莉緒子 「摂食方法および運動のタイミングが成長期ラットの体脂肪と血清脂質に及ぼす影響」 桜美林論集 32, 107-122 (2005)
- 2) 笠原利英 「摂食方法および運動のタイミングが成長期ラットの体脂肪と血清脂質に及ぼす影響 (第 2 報) — 給餌時刻および給餌回数との関係 —」 桜美林論考 創刊号, 63-79 (2010)
- 3) 中里浩一, 宋洪善, 中嶋寛之 「回転ケージを用いた自発運動がラット骨格筋系組織に与える影響」 体力科学 51, 561 (2002)
- 4) Arao T., Ikuyama T., : “The effect of physical training on fatty acids mobilization from fat tissue in rats.” Bulletin of the Physical Fitness Research Institute, No.58, 6-10 (1984)
- 5) Noble E.G., Moraska A., Mazzeo R.S., Roth D.A., Olsson M.C., Moore R.L., Fleshner M., : “Differential expression of stress proteins in rat myocardium after free wheel or treadmill run training” J. Appl. Physiol., 86, 1696-1701 (1999)
- 6) Kaneda I., Kim C-S., Igawa S., Sakurai H., : “Combined effect of the administration of black-rice bran extracts and running training on bone mineral density and body composition in rats” Jpn. J. Biometeor., 42, 29-37 (2005)
- 7) Gauthier M-S., Couturier K., Charbonneau A., Lavoie J-M., : “Effect of introducing physical training in the course of a 16-weeks high-fat diet regimen on hepatic steatosis, adipose tissue fat accumulation, and plasma lipid profile” International J. of Obesity, 28, 1064-1071 (2004)
- 8) 谷由美子, 宮地成子 「食餌性脂肪肝発症ラットに及ぼす食餌組成および運動負荷の影響」 名古屋女子大学紀要 No.32, 69-77 (1986)
- 9) Suzuki S., Sukemori S., Ikeda S., Kurihara Y., Ito, S., : “Effects of walking exercise on weight gain and body composition of rats. 1. Effects of two exercise protocols on body fat deposition” Jpn. J. Livest. Management, 37, 105-111 (2002)

