

高脂肪食または高蛋白食の給与と運動の負荷、および高脂肪食給与後に
普通脂肪食の給与あるいは運動の負荷が成長期ラットの
体脂肪、肝臓脂質および血清脂質に及ぼす影響
Effect of High-fat Diet or High-protein Diet and Exercise, and
Effect of Normal-fat Diet Feeding or Exercise after High-fat Diet
Feeding on Body Fat, Liver Fat and Serum Lipids of Young Rat

笠原 利英^{※1}

キーワード： 高脂肪食，高蛋白食，トレッドミル，強制運動，成長期ラット，
体脂肪，肝臓脂質，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。

筆者は，前報¹⁻³⁾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，また強制運動の強度および頻度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した。

体脂肪の蓄積（肥満）および肝臓脂肪の蓄積（脂肪肝）は食事の質や運動負荷の有無によって大きな影響を受ける。高脂肪食給与および運動負荷が体脂肪の蓄積あるいは肝臓脂質の蓄積に及ぼす影響については異なった結果が報告されている⁴⁻⁹⁾。その理由は，飼料中の脂質の割合，給与期間，運動の強度および頻度ならびに運動負荷のタイミング（高脂肪食給与と同時に運動を負荷させるか，あるいは肥満または脂肪肝の完成後に運動を負荷させるか）にあるものと思われる。

今回，筆者は，食餌組成（蛋白質：脂肪：糖質のエネルギー比率いわゆる PFC エネルギー比率）の違う食餌を給与すると同時にトレッドミルによる運動を負荷した時に，また高脂肪食を給与して体脂肪が蓄積した状態あるいは肝臓脂質が蓄積した状態を改善するためには普通脂肪食給与あるいは運動の負荷のどちらが効果的であるかを調べた。

※1 KASAHARA, Toshihide 桜美林大学総合科学系

実験方法

1. 実験動物および飼育方法

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。

2. 飼料および給餌

実験に用いた飼料の組成は表1に示す通りである。オリエンタル酵母工業（株）製のAIN-93Gに準じて作製した。普通食（SD）はエネルギー比率として蛋白質21.0%、脂肪11.7%および糖質67.3%である。高脂肪食（HF）はSDのコーンスターチの一部を精製ラードに置き換え、それぞれ21.0%、40.8%および38.2%とした。また高蛋白食（HP）はSDのコーンスターチの一部をカゼインに置き換え、それぞれ42.1%、11.7%および46.3%とした。その他の成分はエネルギー当たりで同量になるようにした。因みにエネルギー含有量は、SDおよびHPでは $385\text{kcal} / 100\text{g}$ であり、HFでは $457\text{kcal} / 100\text{g}$ である。給餌量は毎日残餌量を測定し飼料摂取量を求め、各飼料ともエネルギー摂取量が同じになるように給餌した。

表1 飼料組成（実験1および実験2）

成分	普通食（SD）		高脂肪食（HF）		高蛋白食（HP）	
	%（g）	%（kcal）	%（g）	%（kcal）	%（g）	%（kcal）
カゼイン	20.00	21.0	23.703	21.0	40.00	42.1
L-シスチン	0.30		0.356		0.60	
コーンスターチ	54.95	67.3	31.790	38.2	34.65	46.3
シュクロース	10.00		11.851		10.00	
大豆油	5.00	11.7	5.926	40.8	5.00	11.7
精製ラード	-		14.814		-	
セルロースパウダー	5.00		5.926		5.00	
AIN-93G ミネラル混合	3.50		4.148		3.50	
AIN-93 ビタミン混合	1.00		1.185		1.00	
重酒石酸コリン	0.25		0.296		0.25	
第三ブチルヒドロキノン	0.0014		0.005		0.0014	

3. 運動の負荷

本実験におけるラットへの運動の負荷は、ラット用トレッドミルMK-680R5（5走路）（室町産業（株）、写真1）を用いて行い、速度 $15\text{m} / \text{分}$ 、時間 $30\text{分} / \text{日}$ 、 $7\text{日} / \text{週}$ および傾斜角度は 5° とした。なお、運動中の給水は行わなかった。

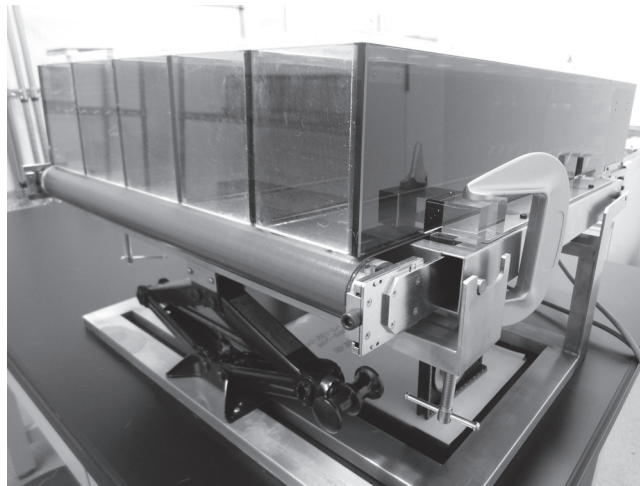


写真1 ラット用トレッドミル

4. 実験の手順

本実験では次の2回の実験を行った。

(1) 実験1：高脂肪食（HF）あるいは高蛋白食（HP）給与と運動負荷の影響

ラットを5日間、普通食（SD）で予備飼育した後、1群5匹ずつ6群に分けた。うち2群には引き続きSDを、他の2群にはHFを、残りの2群にはHPを30日間給与した。また、それぞれの2群のうち、片方を何も運動させない非運動群（SDS群、HFS群およびHPS群）とし、他方を毎朝、30分間のトレッドミルによる運動を負荷する運動群（SDE群、HFE群およびHPE群）とした。

実験期間中、体重測定は1～4日毎に運動前に行い、運動後に新たな給餌をした。水は自由摂取とした。

(2) 実験2：高脂肪食（HF）給与後に、普通食（SD）給与あるいは運動負荷をした場合の影響

ラットを5日間、普通食（SD）で予備飼育した後、1群5匹ずつ次のように8群に分けた。その後、前期28日間は、SDあるいはHFを給与し、さらに運動を負荷する群を設けた。28日後、一部のラットは屠殺し、残りは引き続き30日間、SDあるいはHFを給与し、さらに運動負荷をさせた。具体的には次の8群である。

SDを28日間あるいは58日間給与した非運動群（L4S群、L8S群）

HFを28日間あるいは58日間給与した非運動群（H4S群、H8S群）

HFを28日間あるいは58日間給与し、その間運動負荷をした群（H4E群、H8E群）

HFを28日間給与し（非運動）、その後30日間SDを給与した非運動群（H4S/L4S群）

HFを28日間給与し（非運動）、その後30日間HFを継続給与して運動負荷をした群（H4S/H4E群）

実験期間中、体重測定は1～4日毎に運動前に行い、運動後に新たな給餌をした。水は自由摂取とした。

5. 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、ペントバルビタール（ソムノベンチル®共立製薬（株））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、重量を測定した後、-80℃で凍結保存した。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。

6. 肝臓総脂質および中性脂肪の分析

肝臓総脂質および中性脂肪の分析は以下の通りである。肝臓約1gをポッター・エルヴェーム型ホモゲナイザーを用いて、クロロホルム：メタノール（2:1, v/v）混液¹⁰⁾中で磨砕抽出後、ろ過し20倍希釈を調整した。総脂質は上記抽出液10mlを使用して乾燥重量法で、中性脂肪は市販のトリグリセライドE-テストワコー（和光純薬工業（株））を用いた酵素法で行った。

7. 血清成分の分析方法

血清脂質（中性脂肪、遊離脂肪酸、総コレステロールおよびHDLコレステロール）、血清総蛋白および血清グルコースの測定は、オリエンタル酵母工業（株）長浜研究所・長浜ライフサイエンスラボラトリーに依頼した。

検査方法は次の通りである。中性脂肪、遊離脂肪酸、総コレステロールは酵素法、HDLコレステロールは直接法、総蛋白はBiuret法およびグルコースはHK-G6PDH酵素法である。

8. 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）を用いて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。表中では有意差がある値を同じアルファベットを付けて表した（大文字 $p < 0.01$ 、小文字 $p < 0.05$ ）。

9. 動物実験委員会の承認

本実験は「桜美林大学動物実験規程」に則り、「桜美林大学動物実験委員会」の承認を得て行われた。

実験結果

1. 実験1：HFあるいはHP給与と運動負荷の影響

(1) 初体重，終体重，増体重，エネルギー摂取量およびエネルギー効率

表2 初体重，終体重，増体重，エネルギー摂取量およびエネルギー効率（実験1）

	SDS	SDE	HFS	HFE	HPS	HPE
初体重 (g)	150.4 ± 7.1	149.1 ± 4.4	149.0 ± 4.5	148.7 ± 4.5	148.6 ± 4.1	148.8 ± 4.0
終体重 (g)	346.2 ± 28.0	325.5 ± 21.6	348.1 ± 9.1	338.2 ± 15.9	342.5 ± 19.0	326.4 ± 7.8
増体重 (g/日)	6.53 ± 0.72	5.88 ± 0.62 ^a	6.64 ± 0.16 ^{a,b}	6.32 ± 0.41	6.46 ± 0.59	5.92 ± 0.26 ^b
エネルギー摂取量 (kcal/日)	84.4 ± 4.4	81.7 ± 4.0	82.3 ± 1.8	80.3 ± 2.9	82.3 ± 5.0	82.4 ± 6.4
エネルギー効率 (g/100kcal/日)	7.74 ± 0.81	7.22 ± 0.94 ^a	8.07 ± 0.08 ^{a,b}	7.88 ± 0.55	7.84 ± 0.36	7.22 ± 0.64 ^b

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)

実験期間におけるラットの初体重，終体重，増体重，エネルギー摂取量およびエネルギー効率を表2に示した。初体重，終体重，エネルギー摂取量では各群間に有意差は認められなかった。また，増体重およびエネルギー効率においても，食餌の違い (SDS, HFS, HPS) による，あるいは同じ食餌における運動負荷の有無 (SDSvsSDE, HFSvsHFE, HPSvsHPE) による有意差は認められなかった。

(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3に示した。腎周囲脂肪重量について，食餌の違いにより有意な差が認められたのは，HFS群がSDS群に対して124% (p < 0.05)，HPS群に対して128% (p < 0.05) と大きな値を示した。一方，すべての運動群においては，それぞれ同一食餌における非運動群に対して有意に低い値を示した。すなわち，SDS群に対してSDE群が53% (P < 0.01)，HFS群に対してHFE群が75% (p < 0.01) およびHPS群に対してHPE群が77% (p < 0.05) であった。

表3 体重100gあたりの各臓器・脂肪組織重量（実験1）

	SDS	SDE	HFS	HFE	HPS	HPE
肝臓	3.35 ± 0.12 ^{A,a}	3.13 ± 0.24	2.93 ± 0.16 ^{A,B,C}	3.06 ± 0.21 ^{a,b,c}	3.36 ± 0.19 ^{B,b}	3.32 ± 0.15 ^{C,c}
腎臓	0.68 ± 0.05 ^{A,B}	0.73 ± 0.02 ^{C,D}	0.69 ± 0.03 ^{E,F}	0.73 ± 0.05 ^{G,H}	0.79 ± 0.04 ^{A,C,E,G}	0.83 ± 0.03 ^{B,D,F,H}
脾臓	0.27 ± 0.04	0.30 ± 0.14	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.26 ± 0.04	0.26 ± 0.04
精巣	0.89 ± 0.10 ^a	0.95 ± 0.05	0.93 ± 0.03	0.94 ± 0.07	0.91 ± 0.07	0.98 ± 0.05 ^a
腎周囲脂肪	2.87 ± 0.12 ^{A,a,b}	1.53 ± 0.53 ^{A,B,C,D,c}	3.55 ± 0.53 ^{B,E,F,a,d}	2.66 ± 0.51 ^{C,E}	2.78 ± 0.27 ^{D,d,e}	2.15 ± 0.54 ^{F,b,c,e}
精巣周囲脂肪	1.02 ± 0.16	0.85 ± 0.20 ^A	1.19 ± 0.08 ^{A,B,C}	1.01 ± 0.16	0.89 ± 0.12 ^B	0.88 ± 0.12 ^C

数値表示：表2と同じ

有意差表示：表2と同じ

一方、精巣周囲脂肪重量については、食餌の違いによって、HFS 群に対して HPS 群が 75% ($p < 0.01$) と有意な差が認められたが、運動負荷の有無による有意な差は認められなかった。

その他の臓器については、肝臓において、HFS 群が SDS 群および HPS 群に対してともに 87% ($p < 0.01$) と低かったが、同一食餌における非運動群と運動群の間に有意な差は認められなかった。また腎臓において、HPS 群が SDS 群に対して 116% ($p < 0.01$)、HFS 群に対して 114% ($p < 0.01$) であった。脾臓および精巣については、食餌の違いによる、または運動負荷の有無による有意な差は認められなかった。

(3) 肝臓総脂質量および中性脂肪量

肝臓重量あたりの総脂質量と中性脂肪量および総脂質に対する中性脂肪の割合を表 3 に示した。総脂質量において、食餌の違いにより有意な差が認められたのは、HFS 群が SDS 群に対して 126% ($p < 0.01$)、HPS 群に対して 143% ($p < 0.01$) および SDS 群に対して HPS 群が 88% ($p < 0.05$) であり、運動負荷の有無では、SDS 群に対して SDE 群が 87% ($p < 0.05$) であった。また中性脂肪量については、HFS 群が SDS 群に対して 168% ($p < 0.01$)、HPS 群に対して 223% ($p < 0.01$) であったが、運動群においては、それぞれの非運動群に対して有意な差は認められなかった。さらに、総脂質に対する中性脂肪の割合については、中性脂肪量と同様に、HFS 群が SDS 群に対して 133% ($p < 0.01$)、HPS 群に対して 157% ($p < 0.01$) であったが、運動群においては、それぞれの非運動群に対して有意な差は認められなかった。

表 4 肝臓中の総脂質量、中性脂肪量およびその割合 (実験 1)

	SDS	SDE	HFS	HFE	HPS	HPE
総脂質量 (mg/g)	93.6 ± 5.6 ^{A,B,a,b}	81.2 ± 7.2 ^{C,D,a}	118.4 ± 5.9 ^{A,C,E,F}	120.0 ± 10.8 ^{B,D,G,H}	82.6 ± 8.6 ^{E,G,b}	84.2 ± 9.9 ^{F,H}
中性脂肪量 (mg/g)	25.3 ± 4.3 ^{A,B}	22.0 ± 3.8 ^{C,D}	42.5 ± 3.2 ^{A,C,E,F}	45.0 ± 5.8 ^{B,D,G,H}	19.1 ± 6.0 ^{E,G}	22.0 ± 7.4 ^{F,H}
中性脂肪 / 総脂質割合 (%)	27.0 ± 3.8 ^{A,B}	27.0 ± 2.7 ^{C,D}	35.8 ± 1.2 ^{A,C,E,F}	37.5 ± 3.3 ^{B,D,G,H}	22.8 ± 5.0 ^{E,G}	25.7 ± 5.7 ^{F,H}

数値表示：表 2 と同じ

有意差表示：表 2 と同じ

(4) 血清脂質、血清総蛋白および血清グルコース濃度

血清脂質 (中性脂肪、遊離脂肪酸、総コレステロールおよび HDL コレステロール)、血清総蛋白および血清グルコース濃度を表 5 に示した。中性脂肪について、食餌の違いにより有意な差が認められたのは、HFS 群が SDS 群に対して 53% ($p < 0.01$)、HPS 群に対して 60% ($p < 0.05$) であり、運動負荷の有無では、SDS 群に対して SDE 群で 27% ($p < 0.01$) および HPS 群に対して HPE 群が 53% ($p < 0.05$) であった。HFS 群に対して HFE 群も 54% (n.s.) と低い値を示したが有意な差は認められなかった。また、遊離脂肪酸については、食餌の違いにおいても、運動負荷の有無でも有意な差が認められなかった。

表5 血清脂質、血清総蛋白および血清グルコース濃度（実験1）

	SDS	SDE	HFS	HFE	HPS	HPE
中性脂肪 (mg/dL)	79.0 ± 24.7 ^{A,B,C,D}	21.6 ± 6.9 ^{A,E}	42.2 ± 12.1 ^{B,a}	22.8 ± 7.3 ^{C,F}	70.6 ± 34.1 ^{E,F,a,b}	37.6 ± 18.6 ^{D,b}
遊離脂肪酸 (μEq/L)	477 ± 74	519 ± 40 ^{A,a,b}	386 ± 48 ^a	398 ± 66 ^b	383 ± 93 ^A	437 ± 109
総コレステロール (mg/dL)	76.4 ± 8.8 ^{A,B,C}	53.0 ± 10.8 ^{A,D,E}	53.2 ± 5.8 ^{B,F,G}	51.6 ± 5.9 ^{C,H,I}	75.8 ± 8.5 ^{D,F,H}	70.6 ± 6.9 ^{E,G,I}
HDL-CHOL (mg/dL)	20.2 ± 2.7 ^{A,B,a}	15.6 ± 3.4 ^{A,C,b}	16.0 ± 1.9 ^{D,a,c}	15.0 ± 1.9 ^{B,E,d}	21.2 ± 1.6 ^{C,D,E}	19.2 ± 2.4 ^{b,c,d}
総蛋白 (g/dL)	5.86 ± 0.26	5.72 ± 0.28	5.60 ± 0.12	5.64 ± 0.21	5.58 ± 0.19	5.64 ± 0.36
グルコース (mg/dL)	173 ± 36 ^A	102 ± 29 ^{A,B,C,D,a}	172 ± 26 ^B	148 ± 33 ^{a,b}	190 ± 30 ^{C,b}	158 ± 22 ^D

数値表示：表2と同じ

有意差表示：表2と同じ

総コレステロールについては、食餌の違いで、HFS群がSDS群およびHPS群に対してともに70% ($p < 0.01$)であり、運動負荷の有無では、SDS群に対してSDE群で69% ($p < 0.01$)であった。さらに、HDLコレステロールについては、食餌の違いで、HFS群がSDS群に対して79% ($p < 0.05$)、HPS群に対して75% ($p < 0.01$)であり、運動負荷の有無では、SDS群に対してSDE群が77% ($p < 0.01$)であった。一方、血清総蛋白については、いずれの群においても有意な差は見られなかった。血清グルコース濃度については、食餌の違いによる有意差は見られず、運動負荷の有無で、SDE群がSDS群に対して59% ($p < 0.01$)と低い値を示した。

2. 実験2：HF給与後にSD給与あるいは運動負荷をした場合の影響

(1) 初体重、終体重、増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率

表6 初体重、終体重、増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率（実験2前半）

	L4S	H4S	H4E
初体重 (g)	146.8 ± 5.1	146.2 ± 5.2	145.9 ± 5.8
終体重 (g)	321.1 ± 20.6	327.9 ± 11.3	320.0 ± 16.9
増体重 (g/日)	6.76 ± 0.70	7.15 ± 0.41	6.81 ± 0.53
エネルギー摂取量 (kcal/日)	88.9 ± 9.3 ^a	88.6 ± 1.8	83.6 ± 3.2 ^a
エネルギー効率 (g/100kcal/日)	7.63 ± 0.61 ^{A,a}	8.25 ± 0.36 ^A	8.14 ± 0.55 ^a

数値表示：表2と同じ

有意差表示：表2と同じ

実験期間のうち、前半28日間にはSDを給与した非運動群（L4S群）およびHFを給与した非運動群（H4S群）と運動を負荷した群（H4E群）を設けた。その前半28日間におけるラットの初体重、終体重、増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率を表6に示した。初体重、終体重および増体重では各群間に有意な差は認められなかったが、エネルギー摂取量およびエネルギー効率で有意な差が認められた。エネルギー摂取量につ

いては、L4S 群に対して H4E 群が 94% ($p < 0.05$) と若干低く、エネルギー効率では、L4S 群に対して H4S 群が 108% ($p < 0.01$), H4E 群が 107% ($p < 0.05$) と若干高かった。

実験期間のうち、後半 30 日間は、前半に引き続き SD を給与した非運動群 (L8S 群)、HF を給与した非運動群 (H8S 群)、HF 給与した運動負荷群 (H8E 群)、前半の HF 給与・非運動に引き続いて後半には SD (普通脂肪食) を給与した非運動群 (H4S / L4S 群) および前半の HF 給与・非運動に引き続いて後半には HF を継続給与し運動を負荷した群 (H4S / H4E 群) を設けた。その後半 30 日間におけるラットの初体重、終体重、増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率を表 7 に示した。初体重および終体重については、食餌の種類の違いおよび運動負荷の有無による有意な差は認められなかったが、増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率で有意な差が認められた。すなわち、増体重については、H8S 群が L8S 群に対して 121% ($p < 0.05$), H4S / L4S 群が H8S 群に対して 70% ($p < 0.01$), H8E 群に対して 78% ($p < 0.05$) および H4S / H4E 群が H8S 群にして 76% ($p < 0.01$) を示し、エネルギー摂取量については、H4S / H4E 群が L8S 群に対して 89% ($p < 0.05$), エネルギー効率については、H8S 群が L8S 群に対して 128% ($p < 0.01$), H4S / L4S 群が H8S 群に対して 72% ($p < 0.01$), H8E 群に対して 82% ($p < 0.05$) および H4S / H4E 群が H8S 群にして 81% ($p < 0.05$) であった。

表 7 初体重、終体重、増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率 (実験 2 後半)

	L8S	H8S	H8E	H4S/L4S	H4S/H4E
初体重 (g)	320.5 ± 16.8	327.9 ± 13.6	320.3 ± 14.1	329.2 ± 11.7	327.2 ± 9.0
終体重 (g)	399.9 ± 25.1	424.0 ± 19.9	407.2 ± 20.7	396.7 ± 6.8	400.6 ± 17.9
増体重 (g/日)	2.74 ± 0.34 ^a	3.31 ± 0.35 ^{A,B,a}	3.00 ± 0.33 ^b	2.33 ± 0.28 ^{A,b}	2.53 ± 0.52 ^B
エネルギー摂取量 (kcal/日)	86.9 ± 9.8 ^a	82.0 ± 4.2	85.1 ± 3.6	80.6 ± 4.4	77.7 ± 3.3 ^a
エネルギー効率 (g/100kcal/日)	3.16 ± 0.27 ^A	4.03 ± 0.27 ^{A,B,b}	3.54 ± 0.49 ^a	2.90 ± 0.42 ^{B,a}	3.25 ± 0.63 ^b

数値表示: 表 2 と同じ

有意差表示: 表 2 と同じ

(2) 臓器重量および脂肪組織重量

実験前半 28 日における解剖時の体重 100g あたりの各臓器重量および脂肪組織重量を表 8 に示した。腎周囲脂肪重量について、有意な差が認められたのは、L4S 群に対して H4S 群が 140% ($p < 0.01$) と高く、H4S 群に対して H4E 群が 74% ($p < 0.01$) と低い値を示した。

一方、精巣周囲脂肪重量については、L4S 群に対して H4S 群が 83% ($p < 0.05$) であった。

また、その他の臓器については、肝臓において、H4S 群が L4S 群に対して 82% ($p < 0.01$), H4E 群に対して 93% ($p < 0.01$) であり、L4S 群に対して H4E 群が 88% ($p < 0.01$) と有意な差が認められた。また、腎臓において、H4E 群に対して H4S 群が 91% ($p < 0.05$)

と低い値を示した。精巣において、H4S群がL4S群およびH4E群より低いことが認められた（それぞれ90%および89%、ともに $p < 0.05$ ）。なお脾臓は各群間による有意な差はなかった。

表8 体重100gあたりの各臓器・脂肪組織重量（実験2前半）

	L4S	H4S	H4E
肝臓	3.45 ± 0.15 ^{A,B}	2.84 ± 0.08 ^{B,C}	3.04 ± 0.04 ^{A,C}
腎臓	0.76 ± 0.03	0.71 ± 0.03 ^a	0.78 ± 0.05 ^a
脾臓	0.26 ± 0.02	0.24 ± 0.03	0.25 ± 0.02
精巣	0.97 ± 0.07 ^a	0.87 ± 0.05 ^{a,b}	0.98 ± 0.05 ^b
腎周囲脂肪	2.42 ± 0.47 ^A	3.39 ± 0.36 ^{A,B}	2.52 ± 0.30 ^B
精巣周囲脂肪	0.90 ± 0.16 ^a	0.75 ± 0.08 ^a	0.80 ± 0.04

数値表示：表2と同じ
有意差表示：表2と同じ

実験後半30日の解剖時におけるラットの体重100gあたりの各臓器重量および脂肪組織重量を表9に示した。腎周囲脂肪重量について有意な差が認められたのは、L8S群に対してH8S群が131% ($p < 0.05$)、H8S群に対してH8E群が74% ($p < 0.05$)、H4S/H4E群が78% ($p < 0.05$)であった。

表9 体重100gあたりの各臓器・脂肪組織重量（実験2後半）

	L8S	H8S	H8E	H4S/L4S	H4S/H4E
肝臓	3.01 ± 0.10 ^{A,B,a}	2.65 ± 0.15 ^{B,D}	2.73 ± 0.11 ^{A,C}	2.99 ± 0.21 ^{C,D}	2.81 ± 0.08 ^a
腎臓	0.67 ± 0.06	0.63 ± 0.06	0.66 ± 0.05	0.65 ± 0.06	0.69 ± 0.06
脾臓	0.21 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.19 ± 0.02
精巣	0.77 ± 0.05	0.76 ± 0.07	0.77 ± 0.05	0.76 ± 0.04	0.76 ± 0.08
腎周囲脂肪	3.31 ± 0.59 ^a	4.34 ± 0.51 ^{a,b,c}	3.21 ± 0.61 ^b	3.94 ± 0.36	3.40 ± 0.99 ^c
精巣周囲脂肪	0.93 ± 0.09	0.93 ± 0.16	1.02 ± 0.15 ^{a,b}	0.80 ± 0.07 ^a	0.82 ± 0.08 ^b

数値表示：表2と同じ
有意差表示：表2と同じ

一方、精巣周囲脂肪重量については、H8E群に対してH4S/H4S群が78% ($p < 0.05$)、H4S/H4E群が80% ($p < 0.05$)であった。

また、その他の臓器については、肝臓において、L8S群に対してH8S群が88% ($p < 0.01$)、H8E群が91% ($p < 0.01$)、H4S/H4E群93% ($p < 0.05$)と低かった。また、H8S群およびH8E群に対してH4S/H4S群はそれぞれ113%および110%（ともに $p < 0.01$ ）と高かった。腎臓、脾臓および精巣においては各群間による有意な差はなかった。

(3) 肝臓中の総脂質量および中性脂肪量

実験前半 28 日における肝臓重量あたりの総脂質量と中性脂肪量および総脂質に対する中性脂肪の割合を表 10 に示した。総脂質量において、L4S 群に対して H4S 群が 129% ($p < 0.05$), H4E 群が 126% ($p < 0.05$) と有意な差が認められた。中性脂肪量においても同様に、L4S 群に対して H4S 群が 179% ($p < 0.01$), H4E 群が 144% ($p < 0.05$) であった。さらに、総脂質に対する中性脂肪の割合については、H4S 群が L4S 群に対して 140% ($p < 0.01$), H4E 群に対して 123% ($p < 0.01$) であった。

表 10 肝臓中の総脂質量, 中性脂肪量およびその割合 (実験 2 前半)

	L4S	H4S	H4E
総脂質量 (mg/g)	90.7 ± 4.6 ^{a,b}	116.9 ± 5.4 ^b	114.3 ± 26.8 ^a
中性脂肪量 (mg/g)	24.1 ± 3.7 ^{A,a}	43.2 ± 3.4 ^A	34.8 ± 11.9 ^a
中性脂肪 / 総脂質割合 (%)	26.5 ± 3.3 ^A	37.0 ± 1.6 ^{A,B}	30.0 ± 3.4 ^B

数値表示: 表 2 と同じ

有意差表示: 表 2 と同じ

実験後半 30 日における肝臓重量あたりの総脂質量と中性脂肪量および総脂質に対する中性脂肪の割合を表 11 に示した。L8S 群, H8S 群および H8E 群は前半 4 週間の延長であるので基本的には前半と同様の傾向であった。すなわち、総脂質量については、L8S 群に対して H8S 群が 150% ($p < 0.01$), H8E 群が 132% ($p < 0.05$) であった。中性脂肪量については、L8S 群に対して H8S 群が 243% ($p < 0.01$), H8E 群が 200% ($p < 0.05$) であった。また、総脂質にたいする中性脂肪の割合は、L8S 群に対して H8S 群が 162% ($p < 0.01$), H8E 群が 150% ($p < 0.01$) であった。実験前半の高脂肪食給与・非運動群で増加した総脂質量および中性脂肪量が、その後の普通脂肪食給与・非運動群 (H4S / L4S 群) あるいは高脂肪食給与・運動負荷群 (H4S / H4E 群) でどのように変化するか、その効果を比較した。その結果、H8S 群に対して、総脂質量、中性脂肪量および中性脂肪 / 総脂質の割合は、H4S / L4S 群がそれぞれ 68%, 43% および 65% (いずれも $p < 0.01$) であるのに対して、H4S / H4E 群では有意な差が認められなかった (それぞれ 90%, 99% および 108%)。

表 11 肝臓中の総脂質量, 中性脂肪量およびその割合 (実験 2 後半)

	L8S	H8S	H8E	H4S/L4S	H4S/H4E
総脂質量 (mg/g)	89.0 ± 5.3 ^{A,B,a}	133.1 ± 21.6 ^{A,C}	117.4 ± 18.6 ^{a,b}	90.1 ± 3.9 ^{C,D,b}	119.6 ± 22.1 ^{B,D}
中性脂肪量 (mg/g)	22.1 ± 4.0 ^{A,B,a}	53.8 ± 14.7 ^{A,C}	44.2 ± 13.2 ^{a,b}	23.4 ± 4.8 ^{C,D,b}	53.3 ± 19.3 ^{B,D}
中性脂肪 / 総脂質割合 (%)	24.7 ± 3.4 ^{A,B,C}	39.9 ± 4.0 ^{B,D}	37.0 ± 5.8 ^{A,a}	25.9 ± 4.3 ^{D,E,a}	43.0 ± 10.7 ^{C,E}

数値表示: 表 2 と同じ

有意差表示: 表 2 と同じ

(4) 血清脂質および血清グルコース濃度

実験前半 28 日における血清脂質（中性脂肪，遊離脂肪酸，総コレステロールおよび HDL コレステロール）および血清グルコース濃度を表 12 に示した。中性脂肪について，L4S 群対して H4S 群が 42% ($p < 0.05$)，H4E 群が 31% ($p < 0.01$) と有意に低い値を示した。総コレステロールについては中性脂肪と同様に，L4S 群に対して H4S 群が 63% ($p < 0.01$)，H4E 群が 65% ($p < 0.01$) と有意な低下が認められた。さらに，HDL コレステロールにおいても同様に，L4S 群に対して H4S 群が 70% ($p < 0.01$)，H4E 群が 72% ($p < 0.01$) と有意に低かった。遊離脂肪酸については，群間に有意な差は認められなかった。さらに，血清グルコース濃度でも有意な差は認められなかった。

表 12 血清脂質および血清グルコース濃度（実験 2 前半）

	L4S	H4S	H4E
中性脂肪 (mg/dL)	69.6 ± 35.5 ^{A,a}	29.4 ± 12.2 ^a	21.4 ± 2.5 ^A
遊離脂肪酸 (μEq/L)	354 ± 79	347 ± 49	356 ± 61
総コレステロール (mg/dL)	77.0 ± 4.6 ^{A,B}	48.6 ± 9.1 ^B	50.0 ± 4.0 ^A
HDL-CHOL (mg/dL)	21.2 ± 0.8 ^{A,B}	14.8 ± 2.7 ^B	15.2 ± 1.3 ^A
グルコース (mg/dL)	169 ± 28	148 ± 15	148 ± 8

数値表示：表 2 と同じ

有意差表示：表 2 と同じ

実験後半 30 日における血清脂質（中性脂肪，遊離脂肪酸，総コレステロールおよび HDL コレステロール）および血清グルコース濃度を表 13 に示した。L8S 群，H8S 群および H8E 群は前半 4 週間の延長であるので，中性脂肪，総コレステロールおよび HDL コレステロールに関しては前半と同様の傾向であった。すなわち中性脂肪については，L8S 群に対して H8S 群が 35% ($p < 0.01$)，H8E 群が 36% ($p < 0.01$)，総コレステロールについては，L8S 群に対して H8S 群および H8E 群がともに 71% ($p < 0.01$)，さらに HDL コレステロールにおいても，L8S 群に対して H8S 群が 77% ($p < 0.05$)，H8E 群が 80% ($p < 0.05$) であった。しかし，遊離脂肪酸については若干異なる結果が得られ，L8S 群に対して H8E 群が 60% ($p < 0.01$) であった。

表 13 血清脂質および血清グルコース濃度（実験 2 後半）

	L8S	H8S	H8E	H4S/L4S	H4S/H4E
中性脂肪 (mg/dL)	85.6 ± 22.1 ^{A,B,C,a}	29.8 ± 5.5 ^{B,E}	31.0 ± 15.1 ^{A,D}	109.4 ± 24.4 ^{D,E,F,a}	23.6 ± 11.2 ^{C,F}
遊離脂肪酸 (uEq/L)	421 ± 117 ^{A,B,a}	330 ± 66	254 ± 81 ^A	274 ± 88 ^a	252 ± 61 ^B
総コレステロール (mg/dL)	78.4 ± 15.5 ^{A,B,C}	55.6 ± 8.4 ^B	55.6 ± 5.8 ^A	70.2 ± 15.4 ^D	49.2 ± 9.8 ^{C,D}
HDL-CHOL (mg/dL)	20.8 ± 2.9 ^{A,a,b}	16.0 ± 2.0 ^b	16.6 ± 1.5 ^a	18.4 ± 3.8	15.2 ± 2.3 ^A
グルコース (mg/dL)	176 ± 21 ^a	176 ± 34 ^b	185 ± 15	217 ± 46 ^{a,b}	183 ± 12

数値表示：表 2 と同じ

有意差表示：表 2 と同じ

実験前半の高脂肪食給与で低下した中性脂肪、総コレステロールおよび HDL- コレステロールが、その後の普通脂肪食給与・非運動群 (H4S / L4S 群) あるいは高脂肪食給与・運動負荷群 (H4S / H4E 群) でどのように変化するのか、その効果を比較した。その結果、中性脂肪においては、H8S 群に対して H4S / L4S 群が 367% ($p < 0.01$) と大幅な上昇を示したのに対し、H4S / H4E 群では 79% (n.s.) と低い有意な差は認められなかった。総コレステロールでは、H8S 群に対して H4S / L4S 群が 126% (n.s.) と高く、H4S / H4E 群では 88% (n.s.) と低い値を示したが有意な差は見られなかった。また、HDL コレステロールおよび遊離脂肪酸については、普通脂肪食給与 (H4S / L4S 群) あるいは運動負荷 (H4S / H4E 群) による変化は見られなかった。その他、血清グルコースにおいて、H8S 群に対して H4S / L4S 群が 123% ($p < 0.05$) と高い値を示した。

考察

本実験の目的は、(1) 食餌中の蛋白質：脂肪：糖質のエネルギー比率（いわゆる PFC エネルギー比率）の異なる食餌（高脂肪食あるいは高蛋白食）をラットに給与して、同時にトレッドミルによる強制運動を負荷 (15m / 分, 30 分 / 日, 7 日 / 週, 傾斜角度 5 度) したときに体脂肪、肝臓脂質および血清脂質に与える影響、(2) 予め高脂肪食を給与して体脂肪の蓄積（肥満）あるいは肝臓脂質の蓄積（脂肪肝）を起こさせた状態が、その後普通脂肪食の給与に変えた場合、あるいは高脂肪食を給与したまま運動の負荷を加えた場合にどのように変化するかを調べることにある。

増体重、エネルギー摂取量およびエネルギー効率について、結論的には、高脂肪食給与によって、エネルギー効率が若干増加し、また同一の食餌において、運動を負荷することによって、それらが低下する傾向にあることが示された（表 2, 表 6, 表 7）。高脂肪食給与の影響からの改善では、普通脂肪食給与に変えた方が運動負荷のみの場合より効果が大きかった（表 7）。

実験 1 における普通食・非運動群 (SDS 群) の値を 100% として、普通食・運動負荷群 (SDE 群)、高脂肪食・非運動群 (HFS 群)、高脂肪食・運動負荷群 (HFE 群)、高蛋白食・非運動群 (HPS 群) および高蛋白食・運動負荷群 (HPE 群) の腎周囲脂肪重量、肝臓脂質（総脂質および中性脂肪）および血清中性脂肪と血清遊離脂肪酸の割合を表 14 に、実験 2 前半における普通食・非運動 4 週間 (L4S 群) の値を 100% として、高脂肪食・非運動 4 週間 (H4S 群) と高脂肪食・運動負荷 4 週間 (H4E 群) の割合および実験 2 後半にいける普通食・非運動 8 週間 (L8S 群) の値を 100% として、高脂肪食・非運動 8 週間 (H8S 群)、高脂肪食・運動負荷 8 週間 (H8E 群)、高脂肪食・非運動 4 週間 + 普通脂肪食・非運動 4 週間 (H4S / L4S 群) と高脂肪食・非運動 4 週間 + 高脂肪食・運動負荷 4 週間 (H4S / H4E 群) の割合を表 15 にまとめた。実験 2 前半の高脂肪食給与に関する実験は、実験 1 の一部と同じ繰り返しの実験を行ったものであり、実験 2 後半はその実験期間を 8 週間

に延長したものであると同時に、予め高脂肪食を給与して体脂肪の蓄積あるいは肝臓脂質の蓄積を起こさせた状態が、その後普通脂肪食の給与に変えた場合、あるいは高脂肪食を給与したまま運動の負荷を加えた場合にどのように変化するかを調べたものである。

実験1で食餌の種類として高蛋白食を給与した場合（HPS群）、腎周囲脂肪は大きな変化（97%）がなかった。また、肝臓総脂質（88%）、肝臓中性脂肪（75%）、血清中性脂肪（89%）、血清遊離脂肪酸（80%）、血清総コレステロール（99%）およびHDLコレステロール（105%）については、肝臓総脂質で有意差が認められた以外有意差がなかった（表5、表14）。すなわち、高蛋白食の摂取は、エネルギー摂取量が同じならば、脂質代謝に大きな影響を与えずに肥満をもたらすことはないようである。さらに、血清グルコース（110%）および血清総蛋白（95%）にも有意な影響を与えなかった（表5）。

高蛋白給与と同時に、トレッドミルによる運動を毎日負荷したとき（HPE群）、腎周囲脂肪は運動負荷により有意に低い値（75%）を示した。また、肝臓総脂質（90%）、肝臓中性脂肪（87%）および血清遊離脂肪酸（92%）については有意な差が認められなかった。しかし、血清中性脂肪は有意に低い値（48%）を示した（表14）。さらに、血清グルコース（91%）および血清総蛋白（96%）にも有意な影響を与えなかった（表5）。因みに、普通食給与と同時に運動負荷をさせた場合（SDE群）には、腎周囲脂肪は運動負荷により有意に低い値（53%）を示し、また、血清中性脂肪も有意に低い値（27%）を示したが、肝臓総脂質の低下（87%）はわずかであった。肝臓中性脂肪（87%）および血清遊離脂

表14 腎周囲脂肪重量、肝臓脂質および血清中性脂肪と血清遊離脂肪酸（%）（実験1）

	30日（SDSを100%）				
	SDE	HFS	HFE	HPS	HPE
腎周囲脂肪	53 **	124 *	93	97	75 *
肝臓総脂質	87 *	126 **	128 **	88 *	90
肝臓中性脂肪	87	168 **	178 **	75	87
血清中性脂肪	27 **	53 **	29 **	89	48 **
血清遊離脂肪酸	109	81	83	80	92

** : p < 0.01 * : P < 0.05

表15 腎周囲脂肪重量、肝臓脂質および血清中性脂肪と血清遊離脂肪酸（%）（実験2）

	前半（L4Sを100%）		後半（L8Sを100%）			
	H4S	H4E	H8S	H8E	H4S / L4S	H4S / H4E
腎周囲脂肪	140 **	104	131 *	97	119	103
肝臓総脂質	129 *	126 *	150 **	132 *	101	134 **
肝臓中性脂肪	179 **	144 *	243 **	200 *	106	241 **
血清中性脂肪	42 *	31 **	35 **	36 **	128 *	28 **
血清遊離脂肪酸	98	101	78	60 **	65 *	60 **

** : p < 0.01 * : P < 0.05

脂肪酸（109%）については有意な差が見られなかった（表 14）。普通食あるいは高蛋白食給与と同時に運動負荷をしたときには、運動の効果として、体脂肪の減少、肝臓中性脂肪のわずかな低下、血清中性脂肪の大きな減少が見られ、また血清遊離脂肪酸は大きな変化は見られなかった。血清中性脂肪が低下したのは、運動負荷によって筋肉中に取り込まれエネルギー源として利用されたことによるものと思われる。

一方、高脂肪食を給与した場合（HFS 群および H4S 群）には、普通食給与と比較して、腎周囲脂肪（124～140%）、肝臓総脂質（126～129%）および肝臓中性脂肪（168～179%）は有意に増加したが、血清中性脂肪（42～53%）は有意に低下した。また、血清遊離脂肪酸（81～98%）には変化がなかった（表 14、表 15）。高脂肪食の摂取により 4 週間までに体脂肪の蓄積（肥満）および肝臓総脂質および中性脂肪の異常な蓄積（脂肪肝）がもたらされることが分かった。しかし、肝臓重量（82～87%）が有意に低下していることが認められた（表 3、表 8）。血清中性脂肪が低下しているのは肝臓に取り込まれて脂肪肝を形成したことによるものと思われる。

高脂肪食給与と同時に 4 週間の運動負荷をさせた場合（HFE 群および H4E 群）には、腎周囲脂肪（93～104%）は普通食と同じ位であり、明らかに高脂肪食給与・非運動の場合（124～140%）より低い値を示し、運動の効果は見られた。しかし、肝臓総脂質および中性脂肪（それぞれ 126～128%、144～178%）は、高脂肪食給与・非運動の場合（それぞれ 126～129%、168～179%）と同じ位の値を示し、運動の効果は認められなかった。また、血清中性脂肪の値（29～31%）は非運動群（42～53%）よりわずかに低い値を示した。これは、肝臓への血清中性脂肪の取り込みと同時に、運動により筋肉への取り込みが増加してエネルギー源として利用されたものと思われる。

高脂肪食給与を 8 週間で継続したとき（H8S 群）には、普通食給与と比較して、腎周囲脂肪（131%）、肝臓総脂質（150%）および肝臓中性脂肪（243%）の増加が認められた。体脂肪の増加（肥満）の程度は 4 週間給与とほとんど変わらないが、脂肪肝の程度は 4 週間給与の割合よりさらに大きくなっていった。また、血清中性脂肪の値（35%）は 4 週間給与（42～53%）より若干低い値を示した。

また、8 週間継続して高脂肪食給与と同時に運動負荷をさせた場合（H8E 群）では、4 週間の場合と同様に、普通食給与と比較して、腎周囲脂肪（97%）は同じ値を示し、高脂肪給与・非運動群（131%）より明らかに低く、運動の効果がみられた。しかし、肝臓総脂質および中性脂肪（それぞれ 132%および 200%）については、高脂肪食給与・非運動群（それぞれ 150%および 243%）と比較して低い値を示したが、完全に低下せずに依然として普通食給与の値より高い状態であった。また、血清中性脂肪（36%）は運動の影響は見られず、高脂肪食給与・非運動群（35%）と同じであった。ラットに高脂肪食を給与すると、普通食給与に比べて、腎周囲脂肪は増加し、肥満状態がもたらされるが、その状態も同時に運動を負荷することによって完全に元の状態（普通食給与レベル）が継続されることが示された。一方、肝臓総脂質および中性脂肪は高脂肪食によって増加し、

脂肪肝の状態がもたらされ、その程度も4週間より8週間と期間が延びるにしたがって程度が大きくなるが、同時に運動を負荷しても完全に元の状態が維持されることはない。特に、4週間ではほとんど運動の効果が認められず、8週間でやっとその効果が一定程度見られたに過ぎない。

4週間の高脂肪食給与・非運動によってもたらされる腎周囲脂肪（140%）および肝臓総脂質（127%）あるいは中性脂肪（179%）の増加、すなわち肥満状態および脂肪肝はその後の食餌の改善あるいは運動の負荷によって改善されるのであろうか。高脂肪食給与・非運動（H4S群）後に普通脂肪食を4週間給与した場合（H4S/L4S群）には、運動を負荷しない場合でも、腎周囲脂肪は低下し（119%）、脂肪肝も総脂質（101%）および中性脂肪（106%）と改善された。また、血清中性脂肪（128%）は増加した。これは脂肪肝が改善したことによって、肝臓への取り込みが減少したことによるのであろう。一方、高脂肪食給与のまま運動を負荷した場合（H4S/H4E群）には、腎周囲脂肪は低下（103%）し、体脂肪の蓄積は改善されるが、脂肪肝の状態は、肝臓総脂質（134%）および中性脂肪（241%）と大きな変化は認められなかった。また、血清中性脂肪（28%）は低い値を示した。これは依然として脂肪肝の状態であるので肝臓に取り込まれることによるものと思われる。高脂肪食給与によって増加した体脂肪（肥満）を改善するには、食餌を普通食に戻すか、運動を負荷することによって、4週間程度で達成される。しかし、脂肪肝の状態は4週間では食餌を普通食に戻すことによって達成されるが、高脂肪食摂取のままでは、たとえ運動を負荷しても完全には達成されないことが示された。

Gauthier, M-S. ら^{7,8)} は、雌 Sprague-Dawley 系ラット（6週齢、180-200g 体重）を用いた同様の実験において、8週間の高脂肪食（40% kcal）給与により肝臓中性脂肪の増加（72%）と同時に腹腔内脂肪重量の増加（80%）および皮下脂肪重量の増加（33%）を観察したが、さらなる16週間の給与によっては、肝臓中性脂肪および腹腔内脂肪重量の有意な増加（それぞれ22%、13%）は認められず、皮下脂肪の増加（55%）のみを観察している。また、血清中性脂肪に関しては、8週間および16週間の高脂肪食給与において、それぞれ18%および91%の増加であった。

今回の実験と比較すると、高脂肪食（42% kcal）給与4週間で腎周囲脂肪の増加（24～40%）および肝臓中性脂肪の増加（68～79%）が認められ、8週間給与では、それぞれ31%および143%の増加であった。結論として、高脂肪食給与によって、腎周囲脂肪（腹腔内脂肪）は4～8週間給与では有意に増加するが、16週間給与では、普通食給与と差が小さくなっていく。一方、肝臓中性脂肪の増加（脂肪肝）は少なくとも4週間給与で現れており、8週間給与で最高値を示し、16週間給与では脂肪肝の程度は相対的に低くなるものと思われる。また血清中性脂肪は、高脂肪食給与初期においては、有意に低い値を示すが、16週間給与では高い値を示すようである。これは、高脂肪食給与初期においては、肝臓への取り込みが多く見られ、脂肪肝の形成に使われることによって、血清中性脂肪は低くなるが、高脂肪食給与後期においては、脂肪肝も飽和に達し、血清中性脂肪の肝臓へ

の取り込みが低くなり、結果として、血清中性脂肪が高くなるものと思われる。

一方、Gauthier, M-S. ら^{7,8)}の実験において、高脂肪食給与と同時にトレッドミルによる運動負荷（5日/週で最初は15分/日、15m/分、0%傾斜から最終4週は60分/日、26m/分、10%傾斜に漸次増加）をすることによって、体脂肪の増加および肝臓中性脂肪の増加は、8週間給与・運動負荷で、非運動群と比較して、肝臓中性脂肪の変化が-30%、腹腔内脂肪の変化が-22%および皮下脂肪の変化が-21%であり、運動の効果をいずれの場合も認めているが、高脂肪食給与16週間の内、後半8週間だけ運動を負荷した場合には、非運動群と比較して、肝臓中性脂肪の変化が-16%、腹腔内脂肪の変化が-30%および皮下脂肪変化が-26%であり、脂肪肝に関しては有意な運動の効果は認めていないが、腹腔内脂肪および皮下脂肪に関しては運動の効果が有意に認められることを報告している。今回の実験では、高脂肪食給与・運動負荷で、4週間では、高脂肪食給与・非運動群と比較して、腎周囲脂肪の変化が-25~-26%（表3および表8）、肝臓中性脂肪の変化が+6~-20%（表4および表10）であり、8週間では、それぞれ-26%（表9）および-18%（表11）であった。すなわち、腎周囲脂肪では運動の効果が有意に認められたが、脂肪肝への効果は有意には認められなかった。高脂肪食給与によってもたらされた体脂肪の増加（肥満）および肝臓中性脂肪の増加（脂肪肝）は、その後の運動負荷によって肥満は改善されるが、脂肪肝の改善は16週以上の運動が必要と思われる。

要約

本実験の目的は、(1) 食餌中の蛋白質：脂肪：糖質のエネルギー比率の異なる食餌（高脂肪食あるいは高蛋白食）を5週齢のWistar系雄ラットに4週間給与して、同時にトレッドミルによる強制運動を負荷したときに腎周囲脂肪、肝臓脂質および血清脂質に与える影響、(2) 予め高脂肪食を給与して体脂肪の蓄積（肥満）あるいは肝臓脂質の蓄積（脂肪肝）を起こさせた状態が、その後に普通脂肪食の給与に変えた場合、あるいは運動の負荷を加えた場合に腎周囲脂肪、肝臓脂質および血清脂質がどのように変化するかを調べることにある。

実験1で食餌の種類として高蛋白食を給与した場合、腎周囲脂肪、肝臓総脂質、肝臓中性脂肪、血清中性脂肪、血清遊離脂肪酸、血清総コレステロールおよびHDLコレステロールについては、肝臓総脂質で有意差が認められた以外有意差がなかった。すなわち、高蛋白食の摂取は、エネルギー摂取量が同じならば、脂質代謝に大きな影響を与えずに肥満をもたらすことはない。さらに、血清グルコースおよび血清総蛋白にも有意な影響を与えなかった。

高蛋白食給与と同時にトレッドミルによる運動を毎日負荷したとき、腎周囲脂肪は運動により有意な低下認められた。一方、肝臓総脂質、肝臓中性脂肪、血清遊離脂肪酸については有意な差が認められなかった。しかし、血清中性脂肪は有意に低下した。さらに、血清

グルコースおよび血清総蛋白にも有意な影響を与えなかった。

因みに、普通食給与と同時に運動負荷をさせた場合には、腎周囲脂肪は運動により有意な低下が認められ、また、血清中性脂肪も有意に低下したが、肝臓総脂質の低下はわずかであった。肝臓中性脂肪および血清遊離脂肪酸については有意な差が見られなかった。血清グルコース濃度は有意に低下した。普通食および高蛋白食給与と同時に運動負荷をしたときには、運動の効果として、体脂肪の減少、肝臓中性脂肪のわずかな低下、血清中性脂肪の大きな減少が見られた。血清中性脂肪が低下したのは、運動負荷によって筋肉中に取り込まれてエネルギー源として利用されたことによるものと思われる。

一方、高脂肪食を給与した場合には、普通食給与に対して、腎周囲脂肪、肝臓総脂質および肝臓中性脂肪は有意に増加したが、血清中性脂肪は有意に低下した。高脂肪食の摂取により4週間までに体脂肪の蓄積（肥満）および肝臓総脂質および中性脂肪の異常な蓄積（脂肪肝）がもたらされることが分かった。血清中性脂肪が低下しているのは肝臓に取り込まれて脂肪肝を形成したことによるものと思われる。

高脂肪食給与と同時に4週間の運動負荷をさせた場合には、普通食給与と比較して、腎周囲脂肪の減少が認められ運動の効果は見られた。しかし、肝臓総脂質および中性脂肪は、高脂肪食給与の場合と同じ位の値を示し、運動の効果は認められなかった。また、血清中性脂肪の値は非運動群よりわずかに低い値を示した。血清遊離脂肪酸に変化が見られなかった。

高脂肪食給与を8週まで継続したときには、普通食給与に対して、腎周囲脂肪、肝臓総脂質、肝臓中性脂肪の増加が認められ、体脂肪の増加（肥満）の程度は4週間給与とほとんど変わらないが、脂肪肝の程度は4週間給与の割合よりさらに大きくなっていた。また、血清中性脂肪の低下が見られ4週間給与と同程度であった。

また、8週間継続して高脂肪食給与と同時に運動負荷をさせた場合では、4週間給与・運動負荷の場合と同様に、普通食給与と比較して、腎周囲脂肪は低い値を示し、運動の効果がみられた。しかし、肝臓総脂質および中性脂肪については、高脂肪食給与・非運動群と比較して低い値を示したが、完全に低下せず依然として普通食給与の値より高い状態であった。また、血清中性脂肪は運動の影響は見られなかった。

さらに、高脂肪食給与によって増加した体脂肪（肥満）を改善するには、食餌を普通脂肪食に戻すか、あるいは運動を負荷することによって4週間程度で達成されることが示された。脂肪肝の状態は食餌を普通食に戻すことによって4週間で達成されるが、高脂肪食摂取のままでは、たとえ運動を負荷しても完全には達成されないことが示された。

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) 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—」 桜美林論考 第3号, 73-89 (2012)
- 4) Gauthier M-S., Couturier K., Latour J-G., Lavoie J-M., : “Concurrent exercise prevents high-fat-diet-induced macrovesicular hepatic steatosis” J. Appl Physiol 94, 2127-2134 (2003)
- 5) Gauthier M-S., Couturier K., Charbonneau A., Lavoie J-M., : “Effects of introducing physical training in the course of a 16-week high-fat diet regimen on hepatic steatosis, adipose tissue fat accumulation, and plasma lipid profile” International J. of Obesity, 28, 1064-1071 (2004)
- 6) Narayan K.A., McMullen J.J., Butler D.P., Wakefield T., Calhoun W.K., : “Effect of exercise on tissue lipids and serum lipoproteins of rats fed two levels of fat” J. Nutr 105, 581-587 (1975)
- 7) Rothfeld B., Levine A., Varady A., Loken S., Karmen A., : “The effect of exercise on lipid deposition in the rat “ Biochem Med 18, 206-209 (1977)
- 8) Strackowski M., Kowalska I., Dzienis-Strackowska S., Kinalski M., Gorski J., Kinalska I., : “The effect of exercise training on glucose tolerance and skeletal muscle triacylglycerol content in rats fed with a high-fat diet ” Diabetes Metab 27, 19-23 (2001)
- 9) 木村みさか 「幼ラットに対する運動・栄養が発育に及ぼす影響について—高糖食, 高蛋白質, 高脂肪食と発育について—」 体力科学 31, 103-111 (1982)
- 10) Folch J., Lees M., Stanley G.H.S., : “A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues “ J. Biol Chem 226, 497-509 (1957)