

成長期ラットの発育および骨強度に関する研究 —高脂肪食ならびに運動の影響について—

村松常司 佐藤和子 福井四郎

(養護教育教室)

The Growth and Bone Strength of Growing Rats: Effects of High Fat Diet and Exercise

Tsuneji MURAMATSU, Kazuko SATO and Shiro FUKUI
(Department of Health Science)

Forty 5-week-old male Wistar rats were divided into two dietary groups (control and high fat), and each group was further divided into sedentary and exercising subgroups. We examined the effects of voluntary exercise and high fat diet on growth and bone strength.

After 52 days, the following results were obtained:

- (1) Both the high fat group's body weight and increase in body weight were significantly heavier than for the control group ($P < 0.05$). The sedentary subgroups' body weight was significantly heavier than the exercising subgroups' in both high-fat and control groups.
- (2) In the control group, the amount of food intake in the exercising subgroup was significantly higher than that in the sedentary subgroup. On the other hand, in the high fat group the sedentary subgroup had significantly higher food intake than the exercising subgroup.
- (3) In the control group, the liver weight of the exercising subgroup was significantly heavier than that of the sedentary subgroup. In the high fat group, the reverse was the case. The weight of abdomen-fat in the high fat group was higher than that of the control group.
- (4) The 4 subgroups showed no significant difference in the shape and thickness of the substantia compacta of the femur, nor in the breaking strength of the femur.

I. はじめに

身体の発育・発達に栄養と運動が密接に関係していることは周知の事実である。¹⁾近年、児童・生徒の体位が向上しているにもかかわらず、骨折が多発している印象が持たれている。²⁾³⁾

骨折の発生は種々の因子が複合的に作用していることが考えられ、その一因子として偏食や運動不足による基礎体力の低下や敏捷性の欠如があげられている。⁴⁾⁵⁾

その解明のひとつとして種々の動物実験が行われ、鈴木らは、運動と高糖食、高蛋白高脂食投与を行い骨成長に与える影響をみた結果、ラットの骨の量的質的発達は栄養によって促進され、運動によってはむしろ阻止される傾向がみられるとしている。鈴木覚らは、運動とショ糖投与が骨成長・骨強度に与える影響を観察し、よく運動したラットはあまり運動しなかったラットに比べ、骨長は短い傾向にあるが骨強度は大きく、高ショ糖投与ラット群の骨強度は小さいとしている。⁶⁾⁷⁾

また、杉浦らは、今日の過剰な脂肪摂取状況をふまえ、3週令のラットを用い、運動と高脂肪食投与の骨形態・骨強度に与える影響をみて、骨形態は栄養・運動によってほとんど差がみられず、骨強度は安静群の方が運動群より大きい傾向にあり、3週令からの運動負荷は骨に悪影響を及ぼすのではないかと報告している。⁹⁾¹⁰⁾

そこで、これらの研究結果をふまえ、本研究では、①運動を5週令より開始させる、②高脂肪食を与える、③血清検査などから骨成長・骨強度との関連を追求した。

II. 方 法

1. 実験動物

本実験には Wistar 系の生後約5週令の雄ラット40匹（中部科学資材）を使用した。

2. 飼育方法

(1) 飼料および給餌法

飼料はオリエンタル酵母製で粉末精製飼料の標準A配合食と指定配合食の2種類(表1)であり、それぞれコントロール食、高脂肪食とした。給餌法は飼料および水ともラットが常に十分摂取し得るように自由摂取とし、飼料および水の交換や摂取量の測定は毎日行った。

(2) 飼育期間ならびに群

ラットの飼育は昭和62年4月8日より開始し52日間行った。飼育開始の6日間は全てコントロール食で飼育し、8匹は Initial 群として6日目に解剖した。残りの32匹はコントロール食群と高脂肪食群に分け、さらに安静群と運動群に分けた（各8匹の4群）。以下、コントロール食群をC食群、高脂肪食群をF食群とする。

(3) 飼育環境

飼育は愛知教育大学養護教育教室のNK式プレハブ動物飼育槽（日本医化器械製）で行った。実験中は温度25℃、湿度55%に保った。運動群は夏目製作所製のラット運動ゲージと東洋理工社製のラット運動ゲージの2種類を用い、午後5時30分から明朝9時まで自発運動ができる状態で飼育した。安静群は岡崎産業製のラット安静ゲージを用いた。なお、ラットのストレスを解消するために滅菌した小木片をゲージ内に入れた。

表 1. 飼料成分表

成 分	コントロール食 (%)	高 脂 肪 食 (%)
コンスターチ	38	22
ビタミンフリーカゼイン	25	25
アルファー澱粉	10	8
セルロースパウダー	8	6
リノールサラダ油	6	27
ミネラル類	6	6
グラニュー糖	5	4
ビタミン類	2	2
計	100	100

3. 運動量測定法

ラットが運動ゲージの回転カゴを回転させるごとに、運動器の水平軸に連結したカウンターによりその回転数を記録した。運動量は回転数に円周を乗じて走行距離に換算した。

4. 解剖および保存方法

解剖は Initial 群を昭和62年4月13日に、その他の群を昭和62年5月29日に行った。なお、解剖に際してはラットを前日の午後2時より絶食させ、水は平常通りに与えた。

麻酔はエーテル麻酔とし、ガラスケースにエーテルを含ませた脱脂綿を敷き、ふたをした。その後、呼吸運動が微弱になったところで取り出し解剖した。

固定は固定板に仰臥位にして四肢を糸で固定し、ラットの腹部正中線にそって皮膚を切り、さらに筋肉層から腹膜までを切開した。その後、腹大動脈、心臓より注射器で採血しスピッツ管に捕集した。この血液は血清中代謝機能指標分析の試料に供した。次に前腹部の脂肪組織、肝臓、腎臓を摘出した。内臓摘出後、左右の大腿骨を傷つけないよう注意深く摘出し、直ちに形状測定を行った。測定した左右大腿骨は0.75%生理食塩水中に保存し、骨強度および緻密質厚の測定、骨中のカルシウム、リン、マグネシウムの定量に用いた。内臓は重量測定後、ホルマリン溶液に浸して保存した。

5. 形態測定法

(1) 体重および尾長

体重は毎日測定し、測定には電子天秤（長計量器製作所製）を使用した。尾長は解剖時にスケールで測定した。

(2) 内臓

内臓（肝臓、腎臓）と腹部脂肪は電子天秤（科学共栄社製）により測定した。

(3) 骨重量、骨長、骨外径

骨重量は大腿骨に付着している肉片を可能な限り取り除き、電子天秤（科学共栄社製）で測定した。

骨長、長骨径外径、短骨径外径はノギス（カノン製）を用いて測定した。長骨径外径、短骨径外径の測定部位は骨の中央とした。

6. 大腿骨強度測定方法

(1) 測定年月日および測定場所

大腿骨強度測定は昭和62年6月23日に愛知工業技術センターにて行った。なお、試験室は室温 20 ± 2 ℃、湿度 65 ± 5 %に常時保たれていた。

(2) 測定材料

強度測定には左大腿骨を用いた。

(3) 曲げ試験

骨の強度測定として曲げ試験を実施した。曲げ試験装置として万能引張圧縮機（東洋ポールドウイン製¹¹⁾）を用いた。大腿骨は支持台に大腿骨の矢状方向前面に負荷を受けるように置き、かつプランジャーを骨の中央に働くように設置した。また、支点間の距離、すなわちスパンはすべて1.4 cmに固定した。プランジャーの下降スピードは20 cm/分、ペーパースピードは100 cm/分に調整した。フルスケールは20 kgとした。この曲げ試験の結果から最大荷重、たわみ量を算出した。

(4) 算出方法

1) スパン比

スパン比はスパンの最短径（外径）に対する比である。最短径（外径）は大腿骨の短骨径外径としたので、次式より算出した。

スパン比＝スパン（1.4）/最短径（外径）

2) 最大荷重

20 kgの荷重をフルスケールとして、フルスケールに対する割合をもとに最大荷重（kg）を算出した。

3) たわみ量

たわみ量は骨の硬さを表している。本実験ではプランジャーが骨にかかり骨が折れるまでたわんだ量をたわみ量とし、記録されたチャートの横軸方向の距離を測定した。

7. 大腿骨緻密質厚測定方法

(1) 測定年月日および測定場所

大腿骨緻密質厚測定は昭和62年8月4日に、愛知教育大学養護教育教室衛生学実習室にて大腿骨断面写真撮影を行った。

(2) 測定材料

大腿骨断面写真撮影には右大腿骨を用いた。

(3) 大腿骨断面写真撮影

撮影前に骨幹の中央部と両骨端を水平に切断した。骨断面には顕微鏡撮影がしやすいように朱肉をつけ、白い発泡スチロール上に固定して撮影した。写真から骨外径、骨内径（長、短）を測り、外径と内径の差を算出し、これを緻密質厚（長、短）とした。

8. 統計的処理

統計的処理は分散分析法¹²⁾で行った。本実験では食餌と運動という2要因を組み合わせたので2元配置法を用いた。

Ⅲ. 結 果

1. 発育・形態

(1) 体重・体重増加量

各群の最終体重と1日の平均体重増加量を表2に示した。体重はF食安静群が最も重く、以下順にF食運動群、C食安静群、C食運動群となり、分散分析の結果、F食群の方がC食群より重く、また安静群の方が運動群より重かった。

1日の平均体重増加量はF食安静群が最も大きく、以下順にF食運動群、C食安静群、C食運動群となった。分散分析の結果では、F食群の方がC食群より大きかった。

各群の平均体重の経時的变化を図1に示した。F食安静群とC食運動群の間とF食安静群とF食運動群の間においては、試験食開始16日目から有意差(T-test, $P < 0.05$)が認められたが、F食の安静群と運動群の間では終了時には差は認められなかった。F食安静群とC食安静群の間において試験食開始21日目から有意差(T-test, $P < 0.05$)が認められた。

表2. 体重・体重増加量

		イニシャル	C食安静	C食運動	F食安静	F食運動	分散分析結果		
							食餌	運動	交互作用
体 重 g	平均	155.1	408.3	400.8	444.0	415.5	**	*	
	SD	6.3	24.4	45.0	12.3	34.9			
体重増加量 g/day	平均	5.9	5.6	5.4	6.3	5.7	*		
	SD	1.4	0.4	0.9	0.3	0.7			

*... $P < 0.05$

**... $P < 0.01$

(2) 1日あたりの飼料摂取量・飼料効率

各群の1日あたりの飼料摂取量・飼料効率の平均値を表3に示した。

1日あたりの飼料摂取量はC食運動群が最も多く、以下順にC食安静群、F食安静群、F食運動群となり、分散分析の結果、C食群の方がF食群より多かった。また、安静群と運動群の間に差が認められ、さらに交互作用も認められた。つまり、C食群では安静群より運動群の飼料摂取量が多く、F食群では運動群より安静群の飼料摂取量が多かった。

1日あたりの飼料効率をみるとF食安静群が最も高く、以下順にF食運動群、C食安静群、C食運動群となった。分散分析の結果、C食群よりF食群の方が高く、運動群より安静群の方が高かった。

1日あたりの脂肪摂取量はF食安静群が最も多く、以下順にF食運動群、C食運動群、C食安静群となり、分散分析の結果、C食群よりF食群の方が多かった。

その他の摂取量はいずれもF食群よりC食群の方が多く、糖質摂取量は安静群と運動群に差が認められた。さらに、糖質摂取量とタンパク摂取量は交互作用が認められ、飼料摂取量と同様の傾向であった。

図1. 体重曲線

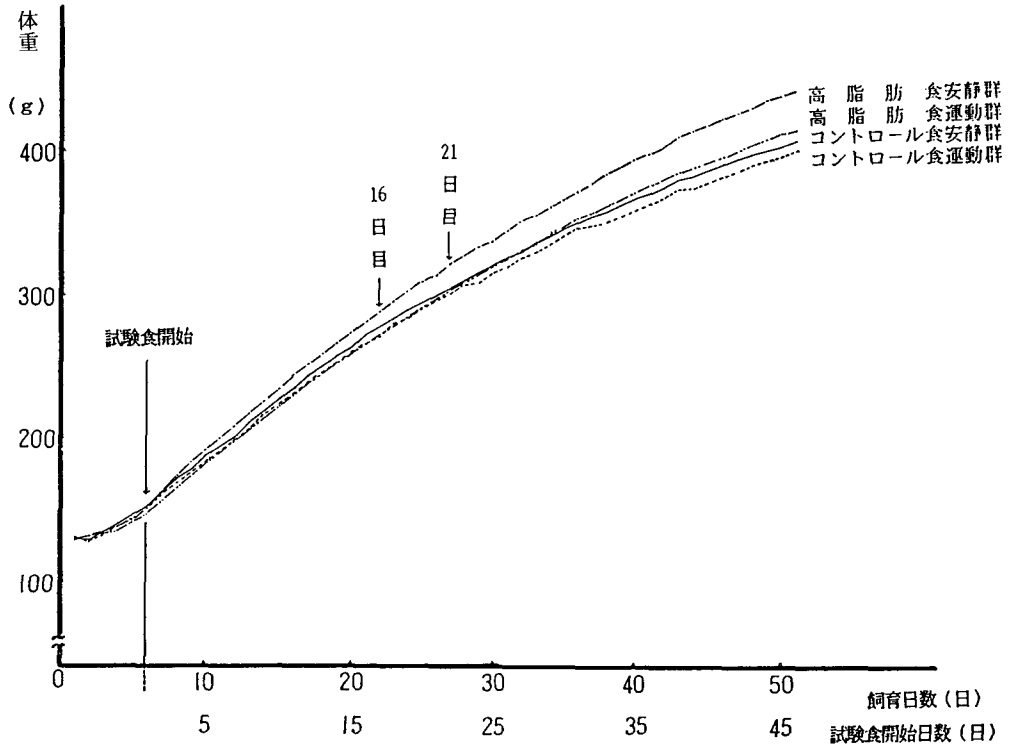


表3. 飼料摂取量・飼料効率

		イニシャル	C.食		F.食		分散分析結果		
			安静	運動	安静	運動	食餌	運動	交互作用
飼料摂取量	平均	13.3	19.8	23.3	18.0	17.2			
	S D	1.2	1.3	1.8	2.1	1.4	**	*	**
体重増加量	平均	5.9	5.6	5.4	6.3	5.7			
	S D	1.4	0.4	0.9	0.3	0.7	*		
飼料効率	平均	0.44	0.28	0.24	0.35	0.34			
A)	S D	0.08	0.01	0.05	0.04	0.04	**	**	
脂肪摂取量	平均	0.8	1.2	1.4	4.9	4.6			
	S D	0.1	0.1	0.1	0.6	0.4	**		
タンパク質摂取量	平均	3.3	5.0	5.8	4.5	4.3			
	S D	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	*		**
窒素摂取量	平均	0.5	0.8	0.9	0.7	0.7			
	S D	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	**		
糖質摂取量	平均	8.1	12.1	14.2	7.2	6.9			
	S D	0.8	0.8	1.1	0.9	0.6	**	**	**

A) : 飼料効率 = $\frac{\text{飼料摂取量}}{\text{体重増加量}}$

*... P < 0.05
 ***... P < 0.01

成長期ラットの発育および骨強度に関する研究

(3) 尾長・大腿骨形状

表4に示すように、各群の尾長・大腿骨形状にはほとんど差が認められなかった。

表4. 尾長・大腿骨形状

		イニシャル	C.食 安静	C.食 運動	F.食 安静	F.食 運動	分散分析結果		
							食餌	運動	交互作用
尾長 cm	平均	15.4	20.4	20.7	20.4	20.1			
	S D	0.4	1.1	0.9	0.6	1.8		*	
大腿骨重量 (左) g	平均	0.48	0.97	1.07	0.97	1.01			
	S D	0.04	0.09	0.10	0.07	0.09			
大腿骨重量 (右) g	平均	0.49	1.00	1.04	0.95	1.01			
	S D	0.04	0.10	0.08	0.08	0.09			
骨長 (左) cm	平均	2.80	3.72	3.73	3.73	3.76			
	S D	0.08	0.13	0.15	0.04	0.06			
骨長 (右) cm	平均	2.80	3.73	3.79	3.73	3.75			
	S D	0.07	0.14	0.10	0.02	0.07			
長骨径外径 (左) cm	平均	0.38	0.46	0.46	0.44	0.44			
	S D	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03			
長骨径外径 (右) cm	平均	0.36	0.46	0.44	0.45	0.43		**	
	S D	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02			
短骨径外径 (左) cm	平均	0.28	0.34	0.33	0.33	0.33			
	S D	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03			
短骨径外径 (右) cm	平均	0.28	0.34	0.34	0.33	0.33			
	S D	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02			

*... P < 0.05

**... P < 0.01

表5. 内臓重量

		イニシャル	C.食 安静	C.食 運動	F.食 安静	F.食 運動	分散分析結果		
							食餌	運動	交互作用
肝臓 g	平均	5.00	11.69	12.83	13.89	12.11			*
	S D	0.29	1.27	2.45	1.80	2.13			
腎臓 g	平均	1.23	2.64	2.70	3.01	2.63			
	S D	0.05	0.33	0.41	0.53	0.24			
腹部脂肪 g	平均	—	9.37	8.11	14.80	10.18	*	*	
	S D	—	1.91	3.34	4.45	4.97			

*... P < 0.05

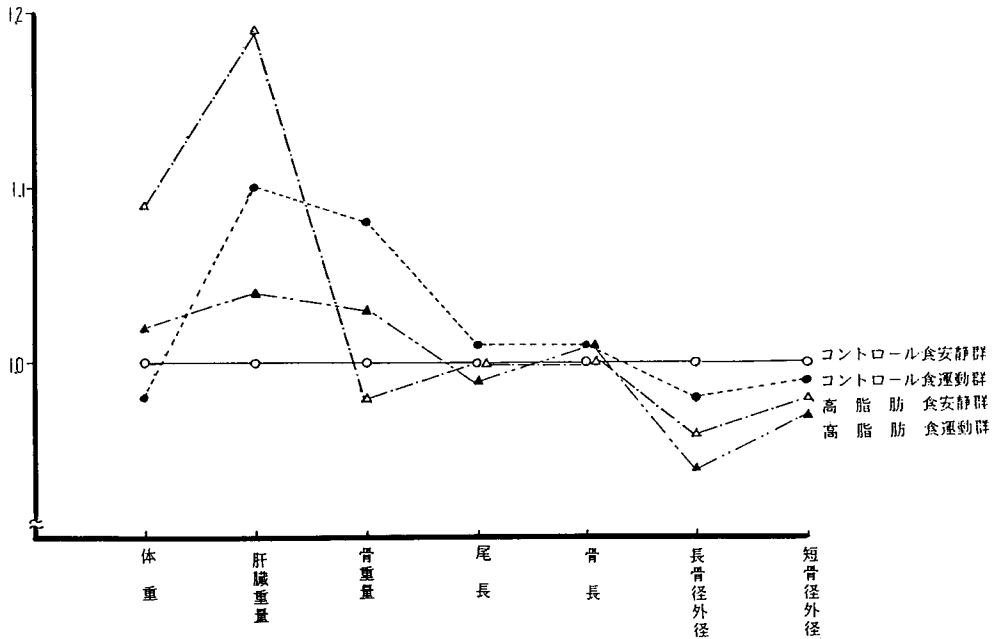
(4) 内臓重量

各群の内臓重量の平均値を表5に示した。肝臓重量はF食安静群が最も重く、以下順にC食運動群、F食運動群、C食安静群であり、分散分析の結果、交互作用が認められた。つまり、C食群では安静群より運動群の肝臓が重い、F食群では運動群より安静群の肝臓が重かった。腎臓重量はどの群間にも有意差は認められなかった。腹部脂肪重量はC食群よりF食群の方が多く、また運動群より安静群の方が多結果となった。

(5) C食安静群に対する発育比

C食安静群に対する他の群の発育比を図2に示した。C食安静群に比べ他の3群の肝臓重量は大きく、特にF食安静群は1.2倍、C食運動群は1.1倍の重量となった。また、F食安静群の体重は1.1倍であり、骨重量は両運動群が大きく、骨外径は他の3群とも低値となった。

図2. コントロール食安静群に対する発育比



2. 大腿骨強度

各群の大腿骨強度を測定するために曲げ試験を行い、その際に示された波形図を平均化し模式図で示したのが図3である。また、曲げ試験の波形図から最大荷重・最大荷重/体重・たわみ量・スパン比を算出し、各群の平均値を表6に示したが、どの群間にも有意差は認められなかった。

図3. 大腿骨破断特性模式図

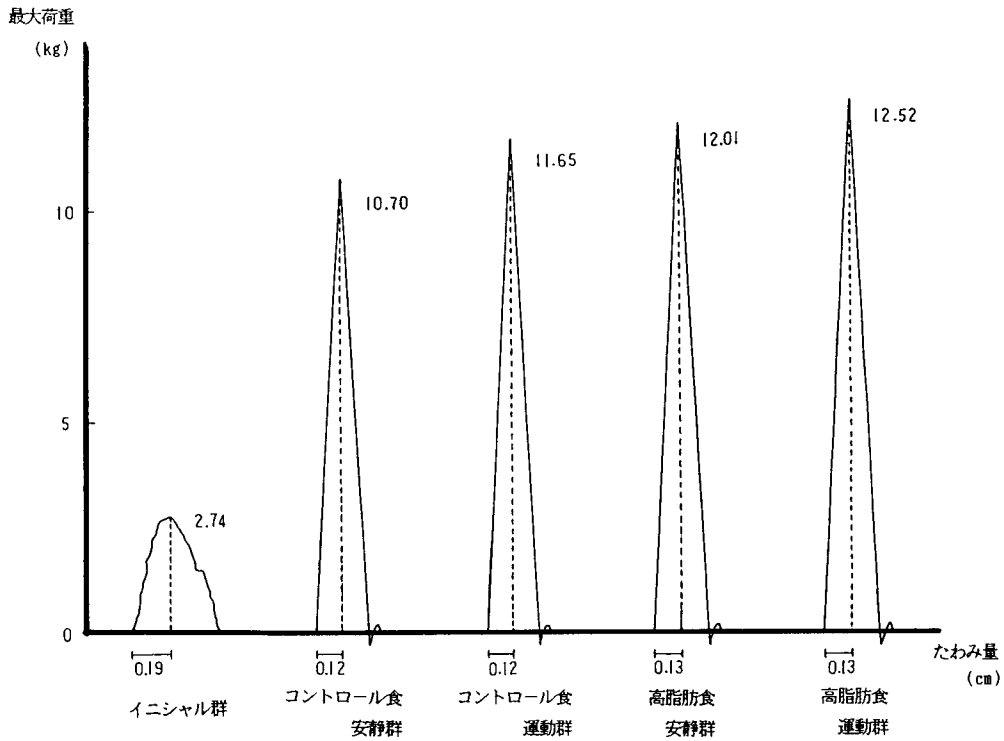


表6. 大腿骨強度

		イニシャル	C.食 安静	C.食 運動	F.食 安静	F.食 運動	分散分析結果		
							食餌	運動	交互作用
最大荷重 kg	平均	2.74	10.70	11.65	12.01	12.52			
	S D	0.76	2.21	2.62	2.67	1.88			
最大荷重/体 重 kg/kg	平均	17.6	26.1	29.6	27.0	30.3			
	S D	4.5	4.8	8.4	5.7	4.8			
たわみ量 cm	平均	0.19	0.12	0.12	0.13	0.13			
	S D	0.20	0.02	0.02	0.03	0.03			
短骨径外径 (左) cm	平均	0.28	0.34	0.34	0.33	0.33			
	S D	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03			
スパン比 A)	平均	4.94	4.08	4.14	4.27	4.33			
	S D	0.09	0.18	0.19	0.20	0.35			

A) : スパン比 = $\frac{\text{スパン (1.4 cm)}}{\text{短骨径外径 (cm)}}$

3. 大腿骨緻密質厚

大腿骨断面写真より測定した各群の長骨径および短骨径の緻密質厚の平均値を表7に示した。長骨径の緻密質厚はどの群間にも有意な差はみられなかったが、短骨径の緻密質厚は安静群と運動群の間に有意差が認められ、交互作用も認められた。つまり、C食群では安静群と運動群の緻密質厚に差はないが、F食群では運動群より安静群の緻密質厚の方が有意に厚いといえる。

表7. 大腿骨緻密質厚

		イニシャル	C食 安静	C食 運動	F食 安静	F食 運動	分散分析結果		
							食餌	運動	交互作用
長骨径外径 (右) cm	平均	0.34	0.42	0.43	0.43	0.43			
	S D	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03			
長骨径内径 (右) cm	平均	0.20	0.25	0.26	0.25	0.24			
	S D	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02			
長骨径密質 (右) cm	平均	0.15	0.17	0.17	0.17	0.19			
	S D	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03			
短骨径外径 (右) cm	平均	0.26	0.31	0.32	0.33	0.31			
	S D	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02			
短骨径内径 (右) cm	平均	0.20	0.16	0.17	0.16	0.17			
	S D	0.06	0.02	0.02	0.01	0.02			
短骨径密質 (右) cm	平均	0.11	0.15	0.15	0.17	0.14		**	**
	S D	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02			

**…P<0.01

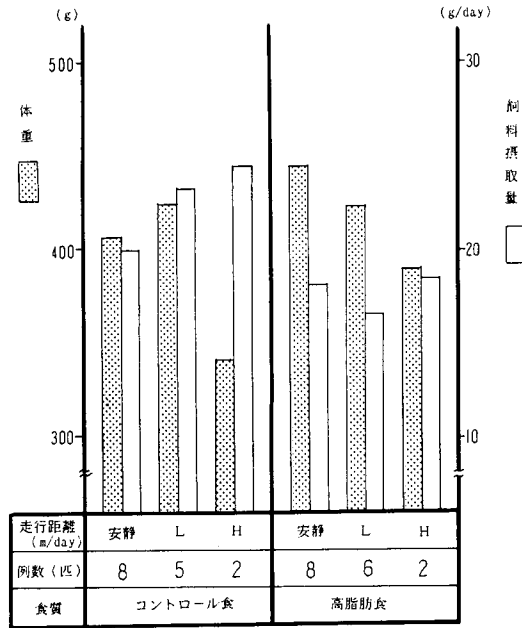
4. 運動量（走行距離）

走行距離は全体的に個体差が大きく、C食運動群は平均20万m（2万～68万m）、F食運動群は平均15万m（3万～43万m）であった。そこで走行距離が5000m/day以上（以下：Hと略す）と、5000m/day未満（以下：Lと略す）に分類し、測定項目ごとに比較した。

両食群ともに飼料摂取量、脂肪摂取量はHの方がLより多かったが、体重、腹部脂肪重量、肝臓重量は少なく、飼料効率、体重増加量も低値であった。尾長、最大荷重ならびに骨形状は両食群ともに顕著な差はみられなかった。

また、安静群、H、Lの体重と飼料摂取量を比較した（図4）。C食群の場合、運動量が多いほど飼料摂取量が多いが、体重はHのラットが最も少なかった。F食群の場合、飼料摂取量は顕著な差はみられないが、体重は安静群が最も多く、運動量が多いほど体重は少ない。

図4. 走行距離による体重と飼料摂取量の比較



H: 走行距離 5000m/day以上
L: 走行距離 5000m/day未満

IV. 考 察

1. 高脂肪食の影響について

F食群では体重増加量の著しい増大が認められ、腹部脂肪重量も大きく、さらにC食安静群を除き、体重と腹部脂肪重量に正の相関が認められ、F食群の体重増加は体脂肪の蓄積に由来していると考えられる。このことは有賀らの研究でも報告されている¹⁵⁾。

また、安静群ではF食群の肝臓重量はC食群の20%増となった。水沼らは、ラットをF食で飼育すると3週時においてトリグリセライド性の脂肪肝の発現を認め、しかも蓄積する脂肪滴が巨大であると¹⁵⁾し、木村は、安静飼育においてF食群の肝脂肪量は高蛋白食群、高糖食群を大きく上回ったと報告している。本実験においても肝臓重量の増大は脂肪の蓄積に由来していると考えられ、F食投与は肝臓への脂肪の蓄積を著しく促進させるといえる。

脂肪の過剰摂取は肝機能障害を招き、これによって骨の発育阻害、脆弱化を引き起こすとされている。今回のF食投与では骨形状、骨強度に及ぼす影響を観察することは困難であった。しかし、C食群においては体重と骨形状の相関が認められたのに対し、F食群には相関が認められず、骨形状ではほとんど差がないことや、今回の実験で大腿骨分析により、C食群よりF食群の骨中カルシウム含量も少ないことが認められていることから、高脂肪食は体重増加を促進するが骨形状、骨形成には必ずしも良い影響を及ぼしていないと^{9) 16)}

推測される。

一方、骨強度に関して高沢⁵⁾は、極度の栄養不調や長時間寝たきりでないかぎり、老人以外では全身の骨が弱くなることは健康な子供にはあり得ないと報告しているが、これまでに行った極端な低蛋白¹⁷⁾、低カルシウム食¹¹⁾は骨の発育を阻害し、骨強度も弱めることは明らかである。今回のF食投与では骨強度に差は認められず、杉浦らの報告と異なってF食群の骨強度は安静群でC食群の112%、運動群でC食群の107%となり、両群ともC食群を上回った。骨強度は、骨形状、骨形成に影響を受けるとされているが、今回の実験では骨強度と骨形状、骨中カルシウム含量に相関が認められなかったため、骨強度について骨形状、骨中カルシウム含量だけで考察することは困難である。そこで、血清分析の結果(GOT, GPT値)からみるとC食群もF食群もかなり脂肪肝になっていた。理由は明確にできないが両群とも肝機能障害が進行していることになり、今後さらに追跡研究が必要である。

2. 運動の影響について

体重は動物の発育や健康状態を総合的に判定する上で重要な指標となる。山岡¹⁹⁾は、発育期の小動物に運動を負荷すると、体重増加量が安静飼育の場合より鈍化すると報告している。本実験においても、同一食餌で安静群と運動群を比較すると体重増加量は運動群の方が小さかった。また、走行距離を5000 m/day以上と5000 m/day未満に分けて体重増加量を比較してもこの傾向は顕著であり、体重と運動には負の相関が認められた。腹部脂肪重量についても従来の研究結果と一致し、C食、F食群とも運動群は安静群より少なく、運動量との間に負の相関が認められた。これは運動負荷が主として体脂肪や脂肪組織重量の減少をきたすということ²⁰⁾を裏付けていると言える。

体重の増減と深い関わりを持つ飼料摂取量では、両食群ともに安静群より運動群の方が多かった。運動量の多いものは飼料摂取量が多いが体は小さい傾向にあるという鈴木らの報告と同様であった。体重と飼料摂取量の関係では、両食群ともに安静群は正の相関が認められた。つまり、安静では飼料摂取量が多いほど体重が重いといえる。これらのことから、運動負荷は糖質や脂質の燃焼を促進し、体脂肪の蓄積を抑制すると考えられる。

運動負荷の体脂肪に及ぼす影響は肝臓重量にも認められ、今回のF食安静群に著しい肝臓重量の増加がみられた。しかし、運動を負荷した場合にはむしろC食群より小さいことが認められた。これは中性脂肪の合成を亢進させる高脂肪食の場合でも、適切な筋肉運動を行うことにより脂質の燃焼を促進し、肝臓をはじめ体への脂肪の蓄積を阻止するといえる。

運動は骨の成長や発育に対して促進的に働いたり²¹⁾、抑制的に働いたり⁶⁾、⁸⁾あるいはほとんど影響を与えないなどの報告がなされている。本実験でも安静群と運動群との間には一定の傾向は認められず、運動の影響を把握することができなかった。

運動群の骨強度はC食群で安静群の109%、F食群で安静群の104%となり、両食群とも安静群をわずかに上回った。今回の実験で血清分析の結果(図5・6)では、運動群は脂質代謝の指標となる tryglyceride, total cholesterol 値が正常値に近づき、安静群に肝機能障害の進行が認められたことから、運動により肝臓機能障害が抑制された結果によるものかもしれない。

3. 実験条件の検討

本実験ではF食投与と運動の影響に注目し、約5週令の Wistar 系ラットを用い52日間

図5. 脂質代謝

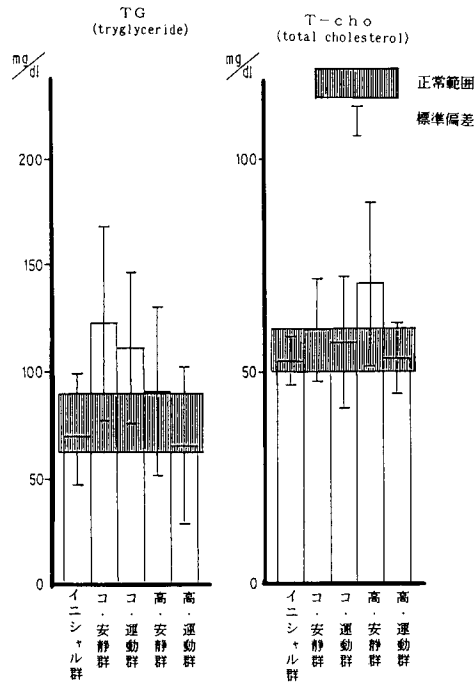
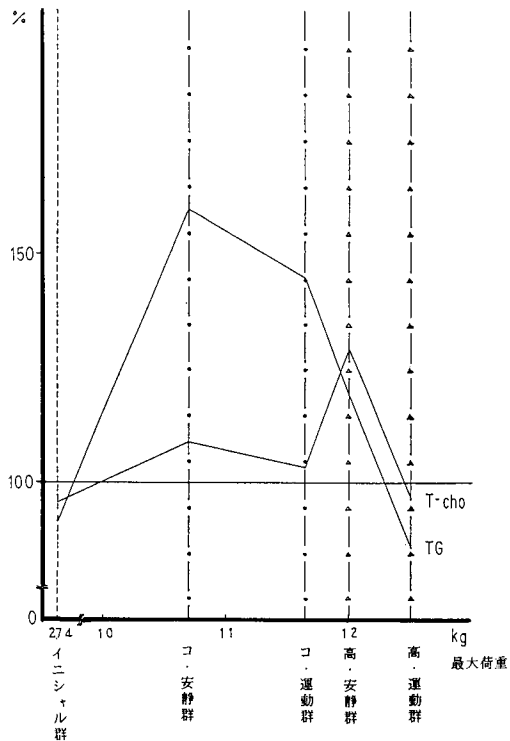


図6. 脂質代謝と最大荷重



飼育した。この期間を人の成長曲線で比較してみると、およそ9才～12才に相当する⁶⁾この発育期におけるF食での短期間の追跡では今回の結果のように一定の傾向が伺えないことが考えられるので、今後、食餌条件とともに長期間の追跡が必要であろう。

また、運動負荷は水車式運動装置で午後5時30分から明朝9時までの間、自発運動をさせた。自発的輪廻し運動はトレッドミル走行や遊泳に比べて強制という心理的ストレスを与えることはないと考えられ、また1日の生体のリズムの中で身体活動を行うのに適した時刻を動物が選んで運動すると思われる利点がある²²⁾しかし、今回の結果からも運動量に大きな個体差が生じており、運動量の少ないラットは運動群として適当かどうかという疑問が感じられることも事実である。運動の影響を観察する場合、運動の種類、強さおよび持続時間などの条件を詳細に検討する必要があるだろう。

さらに今回、スパンを1.4 cmにして曲げ試験を行ったため、スパン比が4.03～4.08となった。生野は²³⁾、曲げ試験でそのままの骨を用いる場合、矢状方向負荷時には各種動物ともに大腿骨スパン比は7～10の範囲であると報告しており、本実験のスパン比は小さく、曲げ試験でなく剪断試験になった可能性がある。しかし、剪断力はスパンの中央で荷重を与えた場合、最大荷重に相当するため最大荷重を骨強度とした。

また、曲げ試験とともに骨断面積、骨密度等の測定を行うことや、曲げ試験だけでなく他の骨強度測定を利用することにより、多角的な面から骨強度を検討することが必要であろう。

V. 要 約

生後約5週令のWistar系ラット雄40匹をコントロール食と高脂肪食の2種類の飼料群に分け、さらに各群を安静群と運動群に分け、昭和62年4月8日より52日間飼育して、栄養と運動が発育、骨形状、骨強度に及ぼす影響を検討し、下記のような結果を得た。

- (1) 体重はコントロール食群より高脂肪食群の方が重く、また運動群より安静群の方が重かった。体重増加量はコントロール食群より高脂肪食群の方が大であった。
- (2) 飼料摂取量はコントロール食群では安静群より運動群の方が多く、高脂肪食群では運動群より安静群の方が多かった。
- (3) 肝臓重量はコントロール食群では安静群より運動群の方が重く、高脂肪食群では運動群より安静群の方が重かった。腹部脂肪重量はコントロール食群より高脂肪食群の方が多かった。
- (4) 大腿骨形状、大腿骨緻密質厚にはほとんど差がみられなかった。
- (5) 大腿骨強度は群間に差は認められず、たわみ量も4群には差がなかった。

「子どもの骨が折れやすくなった」という印象を与える原因として敏捷性の欠如があげられるが、骨折の原因を考えるのに骨の器質的要因を除くことはできないため、さらに実験条件を検討して栄養と運動が骨強度に与える影響を追求することが必要であろう。また、血清検査との関連の追求も重要となろう。

付記：本研究を進めるにあたりお世話になりました愛知教育大学養護教育教室教授田中治夫博士ならびにご協力下さいました皆様には心より感謝申し上げます。

(昭和63年9月14日受理)

参考文献

- 1) 鈴木慎次郎, 他: 運動の影響は発育にどうひびくか, 長生き栄養学, 食べて運動して健康になる本, 48-64, 保健同人社, 1983
- 2) 日本学校健康会: 学校管理下の災害10, 基本統計(負傷・疾病), 1986
- 3) 小野三嗣, 他: 子どもの骨, 子どもの骨を丈夫にする本, 公文数学研究センター, 24-25, 1981
- 4) 武藤芳照, 他: 小児骨折の統計的観察, 災害医学, 21(12), 1301-1305, 1978
- 5) 高沢晴夫: こどもの骨折は増えているか, スポーツ医学読本, からだの科学増刊18, 133-136, 日本評論社, 1986
- 6) 鈴木慎次郎: 成長促進と体力(栄養の効果), 栄養学雑誌, 29(3), 115-122, 1971
- 7) 鈴木慎次郎: 栄養, 運動, 健康・体力の相互関係, 栄養学雑誌, 34(6), 235-249, 1976
- 8) 鈴木覚, 他: 骨成長に与える運動の影響, 日本体育大学紀要, 12号, 93-98, 1983
- 9) 杉浦友美, 他: 高脂肪食ラットの発育および骨強度に関する研究, 愛知教育大学養護教育教室卒業論文, 1986
- 10) 厚生統計協会: 国民衛生の動向, 厚生指標, 32(9), 1987
- 11) 佐藤和子, 他: カルシウム摂取量からみたラットの骨発育に関する研究, II報, 低カルシウム食が発育期ラットの骨密度および骨強度に及ぼす影響, 学校保健研究, 26(4), 179-184, 1984
- 12) 岩井勇児: 教師のための統計法入門, 第2版, 福村出版, 1985
- 13) 有賀みさか, 他: 幼Ratに対する運動・栄養が発育に及ぼす影響について(肥満児対策としての運動処方の研究, 第2報), 京都教育大学紀要B, No.46, 35-46, 1975
- 14) 水沼俊美, 他: 高脂肪食投与時の肝脂質代謝についてカルニチンまたはパンテチンの添加効果, 栄養と食糧, 32(2), 89-92, 1979
- 15) 木村みさか: 幼Ratに対する運動・栄養が発育に及ぼす影響について, 高糖食, 高蛋白食, 高脂肪食と発育について, 体力科学, 31, 103-111, 1982
- 16) 酒井彩由美, 他: 栄養アセスメントと骨折に関する研究, 特に低蛋白食・高脂肪食における各種栄養アセスメントと骨折との関連性について, 愛知教育大学養護教育教室卒業論文, 1985
- 17) 萩原千恵, 他: 低蛋白食および高脂肪食が発育期ラットの大腿骨強度に及ぼす影響, 愛知教育大学養護教育教室卒業論文, 1985
- 18) 江澤郁子, 他: 発育期ラット大腿骨の破断特性および灰分量に及ぼす低カルシウム食の影響, 栄養と食糧, 32(5), 329-335, 1979
- 19) 山岡誠一, 他: 幼ラットおよび肥満ラットに対する減食ならびに運動負荷が発育におよぼす影響について(肥満児対策としての運動処方の研究1), 京都教育大学紀要B, No.43, 95-102, 1973
- 20) 辻啓介, 他: 栄養と運動がシロネズミ脂肪組織の脂肪酸組成に及ぼす影響, 栄養学雑誌, 30(2), 53-57, 1972
- 21) 岩崎義正: 発育期の運動処方に関する実験的研究, 体力科学, 32, 105-125, 1983
- 22) 生山匡, 他: 飼料投与量と自発輪廻し運動量を一定にするラット飼育装置と試験飼育の結果, 体力研究, No.61, 25-40, 1986
- 23) 生野邦彦: 小動物の体肢長骨の曲げ強度に関する研究, 京都府医大誌, 68, 1275-1299, 1960