

## 摂食様式の違いがラットの活動のエネルギー源に及ぼす影響

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-05-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山本, 章, 稲垣, 正男, 谷, 健二 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.14945/00008369">https://doi.org/10.14945/00008369</a>

# 摂食様式の違いがラットの活動のエネルギー源に及ぼす影響

## Effects of Feeding Pattern on the Energy Sources of Rats' Physical Activity

山本 章\*・稲垣正男\*\*・谷 健二\*\*\*

Akira YAMAMOTO, Masao INAGAKI and Kenji TANI

(昭和60年10月11日受理)

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of feeding pattern on the energy sources of rats' physical activity. Male 5-wk-old rats of Sprague-Dawley strain were divided into ad libitum-fed and meal-fed groups (animal having access to food for a 1-h meal twice a day at 08-09 and 20-21 h). Rats were housed in light-dark cycle (darkness from 20-08 h). After 3 weeks, rats were killed at the following times: 20, 00, 03, 06 h. Serum glucose and FFA concentrations, tissue glycogen content and adipose tissue lipolytic activity were measured.

The results obtained were summarized as followed:

1. Serum glucose concentration in ad libitum-fed rats was significantly higher than that in meal-fed rats at 20-06 h.
2. Serum FFA concentration in meal-fed rats was significantly higher than that in ad libitum-fed rats at 20-06 h.
3. Glycogen level in the liver in meal-fed rats was significantly higher than that in ad libitum-fed rats at 20 and 00 h.
4. Glycogen level in the soleus muscle in ad libitum-fed rats was significantly higher than that in meal-fed rats at 06 h.
5. Glycogen levels in the gastrocnemius muscle and heart in meal-fed rats were similar to those in ad libitum-fed rats.
6. Basal lipolytic activity of the epididymal adipose tissue in meal-fed rats was significantly higher than that in ad libitum-fed rats at 00 h.

These results suggested that feeding pattern was important to consider the effect of nutrition on physical capacity.

---

\*本学教官(運動学) \*\*静岡大学大学院教育学研究科生 \*\*\*本学教官(学校保健学)

## 緒 言

血中のグルコース、遊離脂肪酸(FFA)、肝臓および骨格筋のグリコーゲンは運動の主要なエネルギー源であり、それらは日内リズムを示し、摂食様式に強く影響されることが報告されている<sup>1-6)</sup>また、体組織グリコーゲン含量の多少は運動能力と密接な関係がある<sup>7,8)</sup>だけでなく、血中 FFA 濃度を高レベルにして運動を行わせた時には、体組織グリコーゲンの消耗が節約されていることも報告されている<sup>9,10)</sup>

したがって、摂食様式の違いは、これらの運動のエネルギー源のレベルに違いをもたらし、運動能力にも違いをもたらす可能性が高く、どのように栄養素を摂取することが運動能力を高めるために有効であるかということは運動生理学の重要なテーマの一つであろう。

そこで今回は、このことに関する基礎的知見を得る目的で、いつでも自由に摂食できる条件で飼育したラット (Ad lib.-fed 群) とヒトの摂食様式に近い 1 日 2 回、それぞれ 1 時間だけ間欠的に摂食を許した条件で飼育したラット (Meal-fed 群) を用いて、ラットの活動期にあたる夜間の血中グルコースと FFA 濃度、体組織グリコーゲン含量、そして血中 FFA の供給に重要な役割を果たしていると考えられる副睾丸脂肪組織の *in vitro* での脂肪分解能の変化を調べ、両群間で比較・検討した。

## 対象および方法

### 1. 実験動物および飼育方法

生後 5 週齢の JCL<sup>®</sup>: Sprague-Dawley 系雄ラット 40 匹 (77.3±0.4 g, 日本クレア株式会社) を用い、Ad lib.-fed 群 (20 匹, 77.0±0.6 g) と Meal-fed 群 (20 匹, 77.6±0.6 g) に分け、両群とも 1 ケージに 2 匹ずつ入れて飼育した。飼育室は 08—20 時を明期、20—08 時を暗期とする 12 時間の明暗サイクルとした。飼料は粉末飼料 (CE-7, 日本クレア株式会社) を用い、Ad lib.-fed 群には飼料を 24 時間自由に摂食させ、Meal-fed 群には 08—09 時と 20—21 時の 1 日 2 回の摂食を許した。飲水は両群とも自由に摂取させた。摂食量は 09 時と 21 時の 1 日 2 回、体重は 17 時に毎日測った。

上記の条件で両群を 3 週間飼育後、両群それぞれ 5 匹ずつ、20, 00, 03, 06 時に断頭屠殺した。

### 2. 血清の分離と血清グルコース、FFA 濃度の測定

断頭屠殺後、体幹血液を採取し、4°C の冷蔵庫に約 1 時間放置後、4°C、3000 rpm で 15 分間遠心して血清を分離した。グルコース濃度は、血清分離後直ちに酵素法 (Glucose B-test Wako) によって測定し、FFA 濃度は、血清を -40°C で凍結保存した後に前畑と中<sup>11)</sup>の方法で測定した。

### 3. 副睾丸脂肪組織のインキュベーション方法

体幹血液を採取後、室温で開腹し、副睾丸脂肪組織を摘出し、37°C、0.9%食塩水で洗浄し、ろ紙で水分を除去して秤量した。秤量後、血管を除去し、さらに約 100 mg の組織片を 2 つとり、それぞれ別のスチロールビンに入れた。一方には 1.9 ml の KRBA Buffer (3% Bovin serum albumin, Krebs Ringer bicarbonate, pH7.4) と 0.1 ml の蒸留水を添加し、もう一方には 1.9 ml の KRBA Buffer と 0.1 ml のエピネフリン溶液 (10 μg/ml) を添加し、組織をハサミで 5—6 回切りきざんだ後、37°C の恒温水槽浴中で 100—120 回/分振とうしながら、1 時間イン

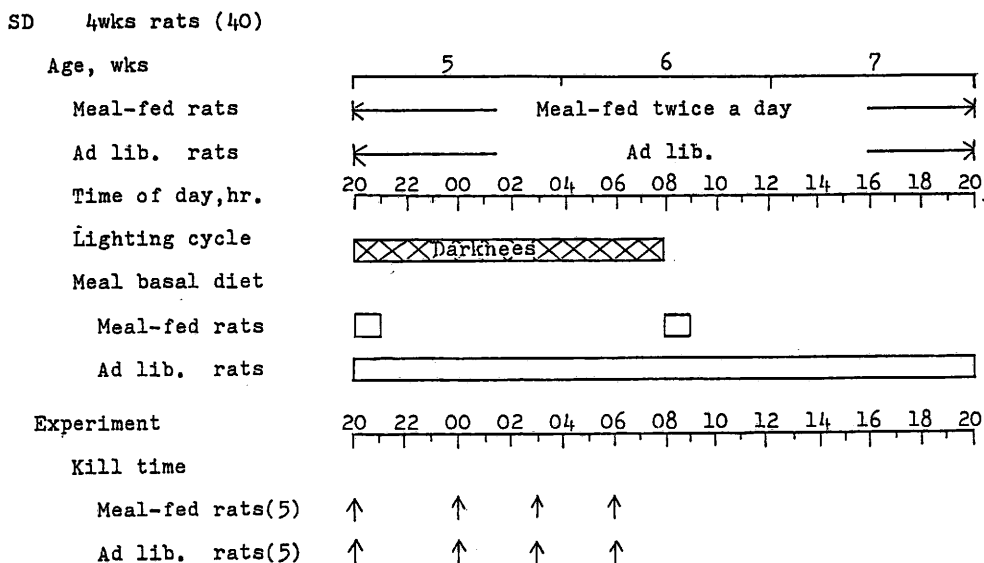


Fig. 1. Experimental Schedules.

キュベートした。インキュベート後、5分間水中で冷却して反応をとめ、アセトンで脂肪を除去したガーゼをつめたロートでろ過して脂肪組織片を除去した。反応液は FFA の分析<sup>11)</sup>に供するまで -40°C で凍結保存した。脂肪分解能は FFA 産出量で表わした。

#### 4. 体組織グリコーゲン含量の測定

副睾丸脂肪組織を摘出後、水上で肝臓、心臓、ヒラメ筋、腓腹筋をすばやく摘出し、0.9%食塩水で洗浄し、ろ紙で水分を除去して秤量した。体組織グリコーゲン含量の測定は、秤量後直ちに、Lo ら<sup>12)</sup>の方法により行った。

統計的処理は Student の *t*-test によった。

## 結 果

### 1. 摂食様式の違いが体重増加量および摂食量に及ぼす影響 (Table 1-3, Fig. 2, 3)

体重は、Ad lib.-fed 群では飼育期間中ほぼ一定の割合で増加したが、Meal-fed 群では飼育開始後一旦減少し、2日目に初体重に回復し、以後ほぼ一定の割合で増加した。1日当たりの体重増加量は Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群で有意に ( $p < 0.001$ ) 低く、Meal-fed 群の最終体重は Ad lib.-fed 群の約 80%であった。

摂食量は Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群で有意に ( $p < 0.001$ ) 少なく、ラットの体重当たりの摂食量でも同様の結果であった。

明期と暗期の摂食量を比較すると、Ad lib.-fed 群では明期の 09-21時に比べて暗期の 21-09時の摂食量が著しく多かったが、Meal-fed 群では 08-09時と 20-21時の摂食量との間に差はみられなかった。また、Ad lib.-fed 群では、飼育開始 10, 12, 14日目の 21-00, 00-03, 03-06, 06-09時の摂食量が 21-09時のその、それぞれ、31.5, 20.8, 39.5, 8.2%であった。

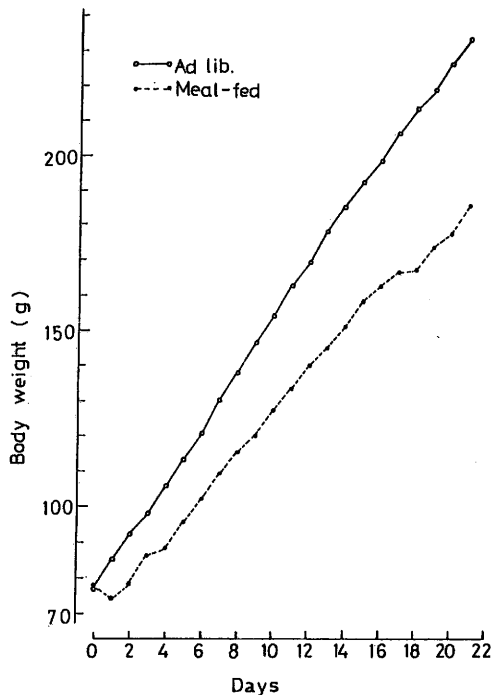


Fig. 2. Body weight change of ad lib. and meal-fed rats. Each point represents the mean for 20 ad lib. or 20 meal-fed rats.

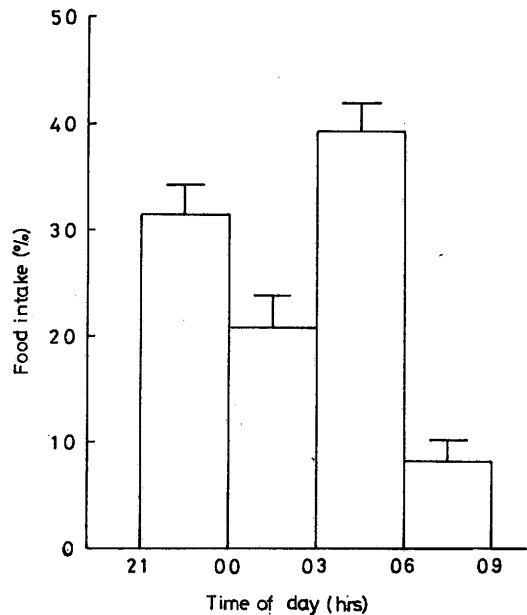


Fig. 3. Variation of food intake in ad lib. rats. Each line represents mean and SE for 20 rats.

飼育期間中の体重増加量と摂食量との間には、Ad lib.-fed 群では有意な相関がみられなかったが、Meal-fed 群では有意な ( $p < 0.01$ ) 相関が認められた。

### 2. 摂食様式の違いが血清グルコース、FFA 濃度に及ぼす影響 (Fig. 4, 5)

血清グルコース濃度は Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群で低値を示し、20 時、06 時、そして 4 時点の平均値で有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。Ad lib.-fed 群では 20 時に高値を示し、00 時には有意に ( $p < 0.01$ ) 減少し、06 時にはやや増加する傾向を示した。一方、Meal-fed 群では 20 時に高値を示し、00 時には有意に ( $p < 0.05$ ) 減少し、その後も減少する傾向を示した。

血清 FFA 濃度は、グルコース濃度とは逆に、Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群で高値を示し、20 時と 06 時 ( $p < 0.05$ )、そして 4 時点の平均値 ( $p < 0.01$ ) で有意差が認められた。両群とも 20 時に高値を示し、00 時には有意に ( $p < 0.01$ ) 減少した。

### 3. 摂食様式の違いが副腎丸脂肪組織の脂肪分解能に及ぼす影響 (Fig. 6)

エピネフリン無添加での脂肪酸産出量は 03 時を除き、いずれの時点とも Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群で高値を示し、00 時では両群間で有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。しかし、エピネフリン添加での脂肪酸産出量とエピネフリン添加と無添加の差から求められるエピネフリン刺激性脂肪酸産出量には両群間で有意な差は認められなかった。

また、エピネフリン無添加での脂肪酸産出量と血清 FFA 濃度との間には有意な ( $p < 0.001$ ) 正相関が認められたが、エピネフリン添加あるいはエピネフリン刺激性の脂肪酸産出量と血清

Table 1. Body weight gain and tissue weight of ad lib. and meal-fed rats.

	Ad lib.-fed	Meal-fed
Body weight		
initial (g)	77.0 ± 0.64 ( 2.85 ) <sup>a</sup>	77.6 ± 0.63 ( 2.82 )
final (g)	233.8 ± 2.45 (10.96 )	184.7 ± 3.33 (14.89 )***
Weight gain (g/rat/day)		
1- 6 day	5.91 ± 0.12 ( 0.53 )	4.72 ± 0.16 ( 0.71 )***
6-11 day	6.52 ± 0.16 ( 0.71 )	4.79 ± 0.13 ( 0.56 )***
12-17 day	5.93 ± 0.13 ( 0.56 )	4.62 ± 0.12 ( 0.52 )***
17-21 day	5.43 ± 0.15 ( 0.67 )	3.75 ± 0.27 ( 1.19 )***
total	149.6 ± 2.61 (12.22 )	111.8 ± 3.14 (14.42 )***
Tissue weight (g)		
Liver	11.37 ± 0.23 ( 1.01 )	8.16 ± 0.19 ( 0.83 )***
Heart	0.83 ± 0.01 ( 0.06 )	0.61 ± 0.01 ( 0.06 )***
Soleus	0.17 ± 0.02 ( 0.08 )	0.12 ± 0.00 ( 0.01 )***
Gastrocnemius	2.63 ± 0.03 ( 0.15 )	2.05 ± 0.05 ( 0.20 )***
Epididymal fat pad	1.06 ± 0.05 ( 0.22 )	0.71 ± 0.03 ( 0.15 )***
Tissue weight (g/100 g b.w.)		
Liver	4.73 ± 0.08 ( 0.35 )	4.35 ± 0.04 ( 0.20 )***
Heart	0.34 ± 0.00 ( 0.02 )	0.33 ± 0.00 ( 0.20 )
Soleus	0.07 ± 0.00 ( 0.01 )	0.06 ± 0.00 ( 0.01 )
Gastrocnemius	1.10 ± 0.01 ( 0.06 )	1.10 ± 0.02 ( 0.08 )
Epididymal fat pad	0.44 ± 0.02 ( 0.09 )	0.38 ± 0.01 ( 0.06 )*

<sup>a</sup> Values are means±SE (SD) for 20 ad lib. or 20 meal-fed rats.  
 \*,\*\*\* Significantly different from ad lib.-fed. (\*p<0.05, \*\*\*p<0.001).

Table 2. Food intake of ad lib. and meal-fed rats.

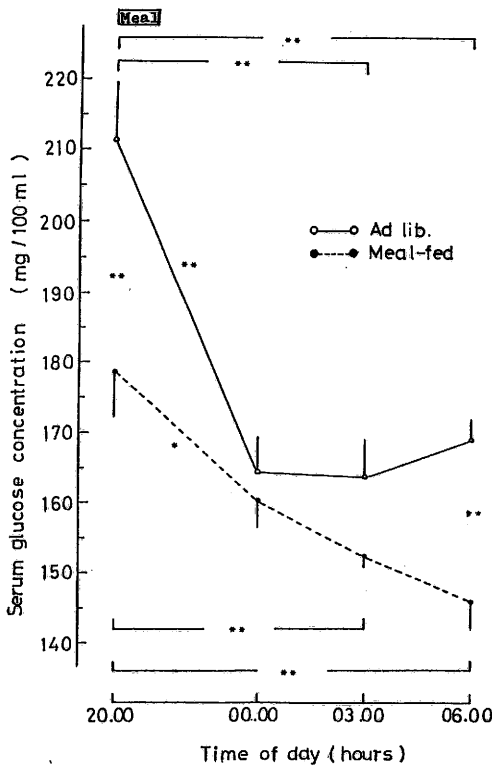
Food intake	Ad lib.-fed.	Meal-fed
total (g of 2 rats)	970.00 ± 7.74 (19.77 ) <sup>a</sup>	686.00 ± 23.71 (62.73 )***
(g of 2 rats/day)		
1- 5 day	32.90 ± 0.42 ( 1.71 )	22.40 ± 0.62 ( 1.85 )***
6-10 day	42.36 ± 0.55 ( 1.66 )	33.30 ± 1.29 ( 3.87 )***
11-15 day	48.90 ± 0.88 ( 2.65 )	37.42 ± 1.15 ( 3.46 )***
16-20 day	53.71 ± 0.66 ( 1.98 )	40.33 ± 1.38 ( 4.15 )***
(g/100 g b.w./day)		
1- 5 day	17.8 ± 0.4 ( 2.2 )	13.2 ± 0.3 ( 1.4 )***
6-10 day	15.5 ± 0.2 ( 1.4 )	14.1 ± 0.2 ( 1.3 )***
11-15 day	13.9 ± 0.1 ( 1.0 )	12.7 ± 0.2 ( 1.0 )***
16-20 day	12.7 ± 0.1 ( 0.8 )	11.8 ± 0.1 ( 1.0 )***

<sup>a</sup> Values are means±SE (SD) for 20 ad lib. or 20 meal-fed rats.  
 \*\*\* Significantly different from ad lib.-fed. (p<0.001).

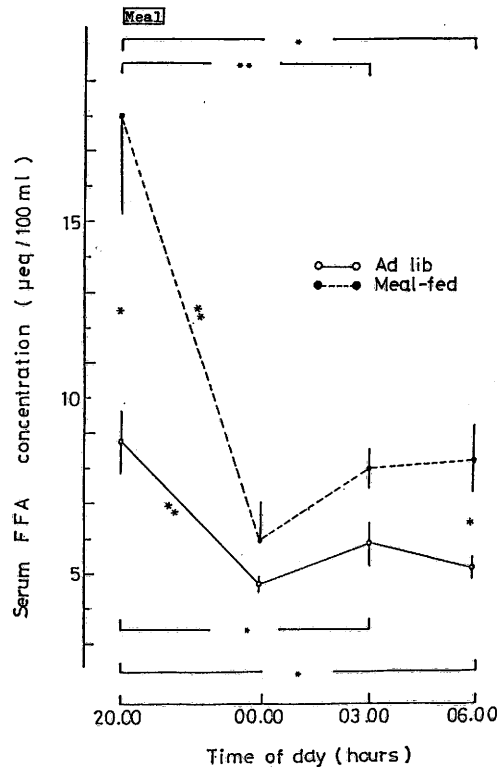
**Table 3. Food intake of ad lib. and meal-fed rats during experimental period.**

Food intake		
Ad lib.-fed. (g of 2 rats)	Time (21-09h)	Time (09-21h)
1- 5 day	24.03±0.42(1.26) <sup>a</sup>	10.25±0.44(1.32)**
6-10 day	30.73±0.46(1.38)	11.56±0.48(1.43)**
11-15 day	35.58±0.74(2.22)	13.33±0.70(2.09)**
16-20 day	40.51±1.12(3.37)	13.24±0.79(2.36)**
Meal-fed (g of 2 rats)	Time (08-09h)	Time (20-21h)
1- 5 day	11.07±0.28(0.83)	11.41±0.36(1.09)
6-10 day	16.82±0.37(1.16)	15.64±0.55(1.65)
11-15 day	18.91±0.62(1.86)	18.13±0.55(1.65)
16-20 day	18.13±2.13(6.41)	20.53±0.75(2.24)

<sup>a</sup> Values are means±SE (SD) for 20 ad lib. or 20 meal-fed rats.  
 \*\* Significantly different from time (21-09h). (p<0.01).



**Fig. 4.** Changes in serum glucose levels of ad lib.-fed and meal-fed rats. Meal; meal time for meal-fed rats. Each point and vertical line represent mean and SE for 5 rats of each group, respectively. Significantly different, (\*p<0.05, \*\*p<0.01).



**Fig. 5.** Changes in serum FFA levels of ad lib.-fed and meal-fed rats. Meal; meal time for meal-fed rats. Each point and vertical line represent mean and SE for 5 rats of each group, respectively. Significantly different, (\*p<0.05, \*\*p<0.01).

FFA 濃度との間には有意な相関が認められなかった。

4. 摂食様式の違いが体組織グリコーゲン含量に及ぼす影響 (Fig. 7-9)

肝臓のグリコーゲン含量は 20 時と 00 時では Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群が有意に ( $p < 0.05$ ) 高値を示した。しかし、03 時と 06 時では、両群間で有意差は認められなかったが、Ad lib.-fed 群が Meal-fed 群に比べて高値を示した。Ad lib.-fed 群では 20 時に低値を示し、その後次第に増加した。Meal-fed 群では 20 時に低値を示し、摂食により増加し、その後再び減少する傾向を示した。

ヒラメ筋のグリコーゲン含量は 20 時を除き、いずれの時点でも Ad lib.-fed 群が Meal-fed 群に比べて高値を示し、06 時では両群間で有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。Ad lib.-fed 群では 20 時に低値を示し、次第に増加した。Meal-fed 群では、肝臓のグリコーゲンと同様、摂食により増加し、その後減少する傾向を示した。

腓腹筋のグリコーゲン含量は Ad lib.-fed 群と Meal-fed 群との間でいずれの時点でも有意差は認められなかった。両群とも 00 時に低値を示した。

心臓のグリコーゲン含量も Ad lib.-fed 群と Meal-fed 群との間でいずれの時点でも有意差は認められなかった。20 時に高値を示し、その後次第に減少する傾向を示した。

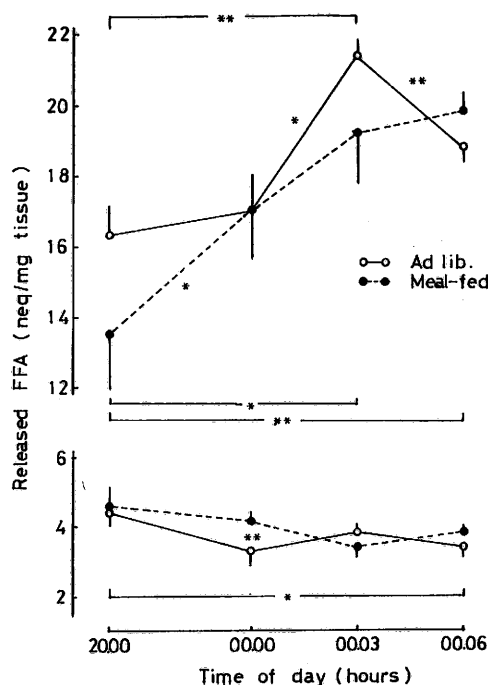


Fig. 6. Changes in lipolytic activity of epididymal adipose tissue of ad lib.-fed and meal-fed rats. Each point and vertical line represent mean and SE for 5 rats of each group, respectively. Significantly different, (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ ).

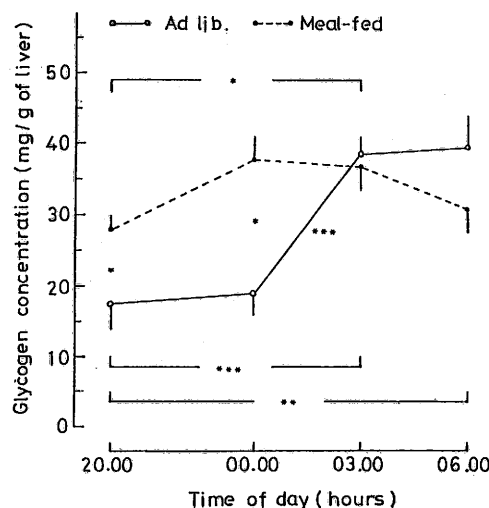


Fig. 7. Changes in liver glycogen level of ad lib.-fed. and meal-fed rats. Each point and vertical line represent mean and SE for 5 rats of each group, respectively. Significantly different, (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ).



## 考 察

飼育期間中の体重増加量は Ad lib.-fed 群が Meal-fed 群に比べて多かったが、これは両群間の総摂食量に違いがみられたことによると考えられる。

Ad lib.-fed 群の摂食量は明期に比べて暗期に多く、しかも 2 相性のリズムを示したが、これは従来の報告と一致した。<sup>13)15)</sup>

血清グルコース濃度は Meal-fed 群が Ad lib.-fed 群に比べて低値を示したが、これまでに 1 日 1 食制の Meal-fed 群が Ad lib.-fed 群に比べて低値を示すことが報告されている。<sup>15)-17)</sup> 間欠給餌によって、耐糖能が上昇する、<sup>6)18)19)</sup> 末梢組織でのインスリン感受性が亢進する、<sup>16)18)</sup> 肝臓からのグルコースの放出が抑制される<sup>15)</sup>との報告があり、今回も同様の可能性が考えられる。また、Ad lib.-fed 群のリズムは従来の報告<sup>13)14)17)</sup>とほぼ一致したが、Meal-fed 群のリズムは 1 日 1 食制の Meal-fed 群のリズム<sup>5)15)17)</sup>とは異なり、摂食による有意な上昇は認められなかった。この理由は明らかではないが、摂食条件の違いが大きく影響しているのであろう。

血清 FFA 濃度は、グルコース濃度とは逆に、Meal-fed 群が Ad lib.-fed 群に比べて高値を示した。副腎丸脂肪組織のエピネフリン無添加での脂肪酸産出量が Meal-fed 群で Ad lib.-fed 群に比べて高値を示す傾向にあったことから、脂肪組織からの FFA の供給が Meal-fed 群で Ad lib.-fed 群に比べて多い可能性が考えられる。Paik と Yearick は<sup>20)</sup> 1 日 1 回、3 時間半の Meal-fed 群の脂肪組織のホルモン感受性リパーゼ活性が Ad lib.-fed 群のそれに比べて高かったと報告している。今回の結果を支持するものと考えられよう。Ad lib.-fed 群のリズムは従来の報告<sup>2)15)</sup>とほぼ一致した。Meal-fed 群では摂食により著しく低下したが、これは従来の報告<sup>2)19)</sup>と同様であった。

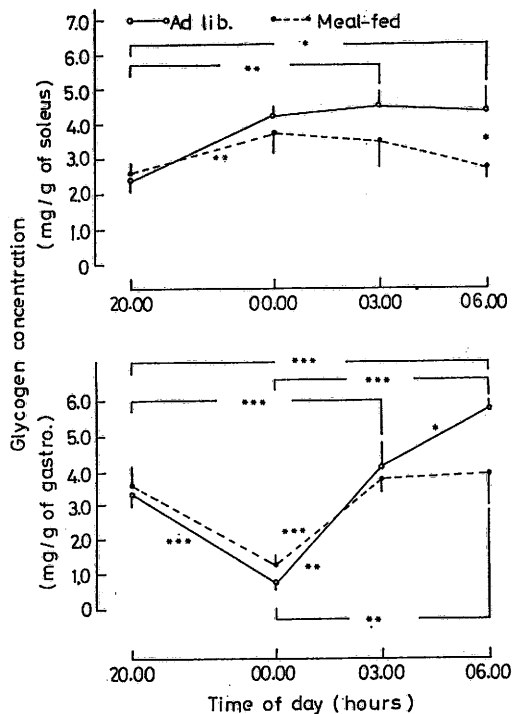
肝臓のグリコーゲン含量は、暗期初期では Meal-fed 群が Ad lib.-fed 群に比べて高値を示したが、4 時点の平均値には両群間で差がなかった。肝臓のグリコーゲンは血中グルコース濃度の維持に重要な役割を果たしており、<sup>21)</sup> 明暗よりも摂食条件とより密接な関係があり、<sup>22)23)</sup> 絶食によって減少することが知られている。<sup>6)14)24)</sup> Ad lib.-fed 群のリズムは従来の報告<sup>2)5)13)17)</sup>とほぼ一致したが、Meal-fed 群の摂食による増加は、従来の 1 日 1 食制の報告<sup>2)17)</sup>ほどは著しくなかった。この理由は 1 日 1 食制の Meal-fed 群では摂食前のグリコーゲンがほとんど枯渇していたのに対し、今回の 1 日 2 食制の Meal-fed 群ではかなり高値を保っていたことによると考えられる。

骨格筋のグリコーゲン含量には Ad lib.-fed 群と Meal-fed 群との間で大きな差はなかった。しかし、ヒラメ筋と腓腹筋ではリズムに違いがみられた。この理由は明らかではないが、両筋でその構成筋のタイプに違いがあることによるのかもしれない。骨格筋のグリコーゲンは、肝臓のグリコーゲンとは異なり、筋収縮のエネルギー源として重要な役割を果たしており、運動能力と密接な関係がある。<sup>8)9)25)</sup>ことが知られている。この点について今後さらに検討する必要がある。

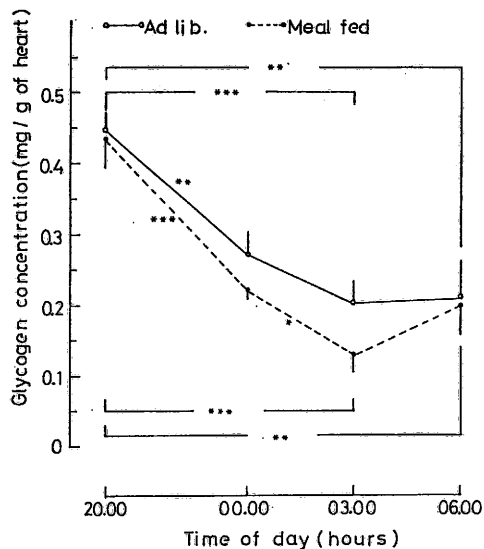
心筋のグリコーゲン含量にも Ad lib.-fed 群と Meal-fed 群との間で大きな差はなかった。リズムは従来の報告<sup>2)5)26)</sup>と一致しなかったが、血中基質や酵素レベルなど多くの要因が関係しているためと考えられる。

以上のことから、いつでも自由に摂食できる条件 (Ad lib.-fed) とヒトの摂食様式に近い、1 日 2 回、各々 1 時間だけ摂食が許される条件 (Meal-fed) では、活動期の血中グルコース、

FFA 濃度, 体組織グリコーゲン含量, そして脂肪分解能に違いがもたらされることが明らかにされた。



**Fig. 8.** Changes in soleus and gastrocnemius muscle glycogen level of ad lib.-fed. and meal-fed rats. Each point and vertical line represent mean and SE for 5 rats of each group, respectively. Significantly different, (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ).



**Fig. 9.** Changes in heart glycogen level in ad lib. and meal-fed rats. Each point and vertical line represent mean and SE for 5 rats of each group, respectively. Significantly different, (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ).

## 要 約

生後5週齢のJCL<sup>®</sup>:SD系雄ラットを自由摂食群(Ad lib.-fed群)と1日2回,08-09時と20-21時に摂食を許す群(Meal-fed群)に分け,20-08時を暗期とする12時間の明暗サイクルで飼育した。3週間飼育後,ラットを20,00,03,06時に断頭屠殺し,血清グルコースとFFA濃度,体組織グリコーゲン含量,副睾丸脂肪組織の脂肪分解能を調べ,両群間で比較・検討した。

結果は以下に示す通りである。

1. 血清グルコース濃度は20-06時でAd lib.-fed群がMeal-fed群に比べて有意に高値を示した。
2. 血清FFA濃度は20-06時でMeal-fed群がAd lib.-fed群に比べて有意に高値を示した。

3. 肝臓のグリコーゲン含量は 20 時と 00 時で Meal-fed 群が Ad lib.-fed 群に比べて有意に高値を示した。
4. ヒラメ筋のグリコーゲン含量は 06 時で Ad lib.-fed 群が Meal-fed 群に比べて有意に高値を示した。
5. 腓腹筋と心臓のグリコーゲン含量は Ad lib.-fed 群と Meal-fed 群との間で有意差が認められなかった。
6. エピネフリン無添加での副睾丸脂肪組織の脂肪分解能は 00 時で Ad lib.-fed 群に比べて Meal-fed 群で有意に高値を示した。

以上の結果から、摂食様式の違いは運動のエネルギー源に違いをもたらし、運動能力にも違いをもたらす可能性が示唆された。

## 引用文献

- 1) Cohn, C. and Joseph, D. : Feeding habits and daily rhythms in tissue glycogens in the rats. *Pro. Soc. Exp. Biol. Med.*, 137, 1303—1306, 1971.
- 2) Fuller, R. W. and Diler, E. R. : Diurnal variation of liver glycogen and plasma free fatty acids in rats fed ad libitum or single daily meal. *Metabolism*, 19, 226—229, 1970.
- 3) Nelson, W., Scheving, L., and Halberg, F. : Circadian rhythms in mice fed a single daily meal at different stages of lighting regimen. *J. Nutr.*, 105, 171—184, 1975.
- 4) Matsumoto, M. and Funabiki, R. : Effects of diet on cyclic change of cardiac content in meal-fed rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 23, 471—474, 1977.
- 5) Philipens, K. M. H., Meyersbach, H. V., and Scheving, L. E. : Effects of the scheduling of meal-feeding at different phases of circadian system in rats. *J. Nutr.*, 107, 176—193, 1977.
- 6) Leveille, G. A. and Chakrabarty, K. : Diurnal variations in tissue glycogen and liver weight of meal-fed rats. *J. Nutr.*, 93, 546—554, 1967.
- 7) Hermansen, L., Hultman, E., and Saltin, B. : Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 71, 129—139, 1967.
- 8) Gollnick, P. D., Armstrong, R. B., Saubert, C. W., Sembrowich, W. L., Shepard, R. E., and Saltin, B. : Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibres during prolonged work. *Pflügers Arch.*, 344, 1—12, 1973.
- 9) Costill, D. L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W., and Hoopes, D. : Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 43, 695—699, 1977.
- 10) Hickson, R. C., Rennie, M. J., Conlee, R. K., Winder, W. W., and Holloszy, J. O. : Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance. *J. Appl. Physiol.*, 43, 829—833, 1977.
- 11) 前畑英介, 中甫 : 2—(z-Thiazolylazo)—p-cresol を用いた遊離脂肪酸の比色定量. *臨床化学*, 1, 447—456, 1972.
- 12) Lo, S., Russell, J. C., and Taylor, A. W. : Determination of glycogen in small tissue samples. *J. Appl. Physiol.*, 28, 234—236, 1970.
- 13) Peret, J., Macaire, I., and Chanez, M. : Schedule of protein injection, nitrogen and energy

- utilization and circadian rhythm of hepatic glycogen, plasma corticosterone and insulin in rats. *J. Nutr.*, 103, 866—874, 1973.
- 14) Conlee, R. K., Rennie, M. J., and Winder, W. W. : Skeletal muscle glycogen content : diurnal variation and effects of fasting. *Am. J. Physiol.*, 231, 614—618, 1976.
  - 15) Ip, M. M., Ip, C., Tepperman, H. H., and Tepperman, J. : Effect of adaptation to meal-feeding on insulin, glucagon and the cyclic nucleotide-protein kinase system in rats. *J. Nutr.*, 107, 746—757, 1977.
  - 16) Reiser, S. and Hallfrisch, J. : Insulin sensitivity and adipose tissue weight of rats fed starch or sucrose diets ad libitum or in meals. *J. Nutr.*, 107, 147—155, 1977.
  - 17) 鈴木正成, 佐藤雄二 : ラットの各種臓器, 骨格筋および脂肪組織のグリコーゲン蓄積・消失の日内リズムに及ぼす meal-feeding の影響. 筑波大学体育科学系紀要, 3, 59—68, 1980.
  - 18) Wiley, J. H. and Leveille, G. A. : Significance of insulin in the metabolic adaptation of rats to meal ingestion. *J. Nutr.*, 100, 1073—1080, 1970.
  - 19) Romsos, D. R. and Leveille, G. A. : Effects of meal frequency and diet composition on glucose tolerance in the rats. *J. Nutr.*, 104, 1503—1512, 1974.
  - 20) Paik, H. S. and Yearick, E. S. : The influence of dietary fat and meal frequency on lipoprotein lipase and hormone-sensitive lipase in rat adipose tissue. *J. Nutr.*, 108, 1798—1805, 1978.
  - 21) Rosebrough, R. W., Steele, N. C., and Frobish, L. T. : Effect of feeding regimes, energy sources, and exogenous insulin on muscle glycogen of the rat. *Nutr. Rep. Intern.*, 16, 413—418, 1977.
  - 22) Ishikawa, K. and Shimazu, T. : Daily rhythms of glycogen synthetase and phosphorylase activities in rat liver. *Life Sci.*, 19, 1873—1878, 1976.
  - 23) Sitren, H. S. and Stevenson, N. R. : The effects of meal-feeding at different times of the day on daily changes in serum insulin, gastrin and liver enzymes in the rats., *J. Nutr.*, 108, 1393—1401, 1978.
  - 24) Schimmel, R. J. and Knobil, E. : Insulin, free fatty acids, and stimulation of hepatic gluconeogenesis during fasting. *Am. J. Physiol.*, 218, 1540—1547, 1970.
  - 25) Bockman, E. L., Meyer, D. K., and Purdy, F. A. : Synthesis of cardiac glycogen in relation to its 24-hr rhythm in rats. *Am. J. Physiol.*, 221, 383—387, 1971.
  - 26) Segel, L. D., Chung, A., Mason, D. T., Amsterdam, E. A. : Cardiac glycogen in Long-Evans rats : diurnal pattern and response to exercise. *Am. J. Physiol.*, 229, 398—401, 1975.