

摂食様式が長時間運動のエネルギー源に及ぼす影響：
自由給餌と1日2回の間欠給餌

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, 谷, 健二 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00008372

摂食様式が長時間運動のエネルギー源に及ぼす影響

－ 自由給餌と1日2回の間欠給餌 －

**Effects of Feeding Pattern on Energy Sources during Prolonged Exercise in Rats;
Difference between Ad libitum Feeding and Meal Feeding Twice a Day.**

山 本 章・谷 健 二

Akira YAMAMOTO and Kenji TANI

(1992年10月12日受理)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of feeding pattern on the energy sources with prolonged exercise in rats.

Male 4 wk-old rats of Sprague-Dawley strain were divided into two groups. One group were meal-fed twice a day at 07-08h and 18-19h, and another group were fed ad libitum. Rats were individually housed in a light-dark cycle (darkness from 19-07h). After about 3 weeks, energy sources in the rats of both groups were determined at the beginning and the end of their 4-hour swimming exercise.

The results obtained were summarized as follows:

1. Serum concentrations of glucose had no significant difference between the two groups.
2. Serum concentrations of FFA in meal-fed rats were significantly higher than those in ad libitum-fed rats at the beginning of the exercise. Those at the end of the exercise were significantly higher than those at the beginning in two groups.
3. Basal lipolytic activities of the epididymal adipose tissue in ad libitum-fed rats showed no significant difference between the beginning and the end of exercise, but those in meal-fed rats were significantly higher at the end of exercise compared to those at the beginning of exercise.
4. At the beginning of the exercise, glycogen contents in soleus muscle in ad libitum-fed rats were significantly higher than those in meal-fed rats. However, at the end of exercise, those were not significantly different between the two groups.

These results suggested that a sparing effect of muscle glycogen was larger in meal-fed rats than ad libitum-fed rats during prolonged exercise.

緒言

長時間の運動のエネルギー源は、主に筋肉や肝臓に貯蔵されたグリコーゲンと脂肪組織由来の脂肪酸であるが、その利用のされ方は、運動の強度や持続時間などの運動内容、運動するヒトのトレーニング程度や食事条件等によって異なる^{1),6)}。これまでに、長時間の激しい運動では筋肉のグリコーゲンが枯渇すると筋肉は疲労し^{3),6),11)}、長時間の中等度の運動では肝臓のグリコーゲンが枯渇して血清グルコース濃度が低下すると運動を続けられなくなる^{2),4)}と報告されている。

また、Randleら¹⁶⁾は、脂肪酸の酸化がグルコースの酸化を阻害することを指摘し、Costillら⁵⁾はヒトで、Hicksonら¹⁰⁾、Rennieら¹⁸⁾はラットで、運動の直前に血中の遊離脂肪酸 (FFA) レベルを高めておくと、筋肉でのグリコーゲンの利用が節約され、長時間走り続けることができた^{と報告している}。また、Dohmら⁷⁾はラットで、自由給餌群に比べ24時間絶食群はトレッドミル走中の血中FFAの利用が高く、筋肉でのグリコーゲンの節約効果が見られたと報告している。

従って、長時間の運動では、運動の前に体内にできるだけ多くのグリコーゲンを蓄えておき、運動中はエネルギー基質として脂肪を多く利用することによって炭水化物の利用速度を抑え、グリコーゲンを節約することが合理的であると考えられている^{12,20)}。

一方、生体内の物質代謝は摂食様式によって影響をうけており、ラットの血中グルコース濃度、FFA濃度、肝臓や筋肉のグリコーゲン含量が自由給餌群と間欠給餌群では異なることが Fuller と Diller⁸⁾、鈴木と佐藤²¹⁾、著者ら²⁴⁾により報告されている。

そこで、本研究では、摂食様式の違いが運動によるエネルギー源の変化にいかなる違いを及ぼすのかを明らかにするため、ラットを用い、自由給餌群 (いつでも食べたい時に摂食が許される群) と 1日2食の間欠給餌群 (1日に2回、決められた時間にだけ摂食が許される群) を設けて、それぞれの摂食様式に十分慣れさせた後、両群に長時間の運動を負荷し、血中グルコースと FFA 濃度、肝臓及び筋肉のグリコーゲン含量、そして脂肪組織の脂肪分解活性を調べ、両群間で比較・検討した。

方法

1. 実験動物および飼育方法

実験動物として生後4週齢のJc1:SD系雄ラット (日本クレアK.K.) 22匹を用いた。飼育室は07-19時を明期、19-07時を暗期とする12時間の明暗サイクルとし、室温は平均26℃であった。3日間の予備飼育後、自由給餌群と間欠給餌群とに分け、自由給餌群には24時間自由に摂食を許し、間欠給餌群には最初の2日間は18時と07時から各々2時間、次の2日間は同じく1時間30分、その後は18-19時と07-08時の各々1時間ずつ1日2回の摂食を許した。飼料は粉末CE-7 (日本クレアK.K.) を用いた。飲水はいずれの群とも24時間自由に許した。摂食量は毎給餌後、体重は隔日の17時に測定した。

2. 実験手順と運動負荷方法

上記の条件で約3週間飼育後、両群の半数を運動前の02時に、他の半数は4時間の運動直

後の06時に断頭屠殺した。運動は遊泳とし、水温約35℃で、直径約40cm、水深約40cmのポリバケツ内で一度に5匹あるいは6匹ずつ実施した。中等度の運動に相当する運動強度¹⁵⁾であった。

3. 血液の採集及び血清基質の分析方法

ラットを断頭屠殺後、体幹血液を採集し、4℃の冷暗所で約1時間放置後、3000rpmで15分間遠心して血清を分離した。血清はGlucose Oxidase法 (Glucose B-Test : 和光純薬工業K.K.) によりグルコース、前畑と中⁸⁾の方法によりFFA濃度を分析した。

4. 副睾丸脂肪組織の脂肪分解活性の分析方法

血液採集後、室温で開腹し、副睾丸脂肪組織を摘出して、前報²⁴⁾と同様に、脂肪分解活性を分析した。すなわち、約100mgの組織片を2つとり、一方には、1.9mlのKrebs Ringer bicarbonate buffer (2% Bovine serum albumin : Sigma Chemical Company, PH7.4) と0.1mlの蒸留水を他方には蒸留水の代わりにエピネフリン溶液 (10 μ g/ml) を添加し、組織をはさみで細片にした後、37℃で毎分120-130回、1時間振とうした。1時間あたりにメディウム中に放出された脂肪酸量を分析し、脂肪分解活性として表した。

5. 組織グリコーゲン含量

脂肪組織摘出後、直ちに肝臓、ヒラメ筋、心臓を氷上で摘出して秤量後、グリコーゲン含量をLo³⁾の方法で分析した。

6. 統計的処理

数値は平均値 \pm 標準誤差で示した。差の検定はStudentのt-testによった。

結果

1. 飼育期間中の体重および摂食量 (Table 1,2,3)

初体重は自由給餌群と間欠給餌群で差がなかったが、2日目以降の体重は自由給餌群が間欠給餌群より有意に高値を示した。体重増加量は全飼育期間でも、0-6日、6-12日、12-20日の各飼育期間毎に見ても、自由給餌群が間欠給餌群より有意に高値を示した。

摂食量も体重増加量と同じく、いずれの期間でも自由給餌群が間欠給餌群より有意に高値を示した。しかし、体重を1g増加させるために必要とした摂食量は、全飼育期間では自由給餌群が間欠給餌群より有意に低値を示したが、飼育期間毎に見ると、0-6日で自由給餌群が間欠給餌群より有意に低値を示したものの、他の期間では、両群間で有意差が認められなかった。

また、自由給餌群では19-08時の暗期の摂食量が08-19時の明期の摂食量より有意に高値を示したが、間欠給餌群では07-08時と18-19時の摂食量の間には差は認められなかった。

組織重量はいずれの組織でも自由給餌群が間欠給餌群より有意に高値を示した。しかし、体重当たりの重量で両群間に有意差が認められるのは、肝臓と副睾丸脂肪組織だけであった。

Table 1. Body weight and food intake of rats during breeding period

	Group	
	Ad libitum-fed	Meal-fed
Body weight(g)		
Initial	73.6 ± 1.3	73.8 ± 1.5
Final	238.8 ± 4.7	174.7 ± 7.4 ^a
Body weight gain(g)		
0- 6 day	51.6 ± 1.0	28.8 ± 1.5 ^a
6-12 day	52.5 ± 1.6	35.3 ± 2.0 ^a
12-20 day	61.0 ± 1.5	36.8 ± 3.8 ^a
Total	165.1 ± 3.7	100.9 ± 6.4 ^a
Food intake(g)		
0- 6 day	93.1 ± 1.5	62.0 ± 1.9 ^a
6-12 day	133.9 ± 3.1	87.1 ± 3.8 ^a
12-20 day	189.1 ± 4.8	118.6 ± 6.8 ^a
Total	416.9 ± 9.0	267.7 ± 12.0 ^a
Food intake(g)/Body weight gain(g)		
0- 6 day	1.82 ± 0.03	2.18 ± 0.07 ^a
6-12 day	2.56 ± 0.06	2.49 ± 0.06
12-20 day	3.11 ± 0.07	3.16 ± 0.11
Total	2.53 ± 0.03	2.69 ± 0.07 ^b

Values are means ± SE for 11 rats.

Significantly different from Ad libitum-fed (^a $p < 0.001$, ^b $p < 0.05$).

Table 2. Food intake of rats during each meal time

	Group			
	Ad libitum-fed		Meal-fed	
Meal time (hr)	19:00-08:00	08:00-19:00	07:00-08:00	18:00-19:00
Food intake(g)	15.8 ± 0.4	5.3 ± 0.4 ^a	6.8 ± 0.3	6.6 ± 0.3

Values are means ± SE for 11 rats.

Significantly different from 19-08hr (^a $p < 0.001$).

Table 3. Tissue weight of rats

	Group	
	Ad libitum-fed	Meal-fed
Tissue weight(g)		
Liver	10.89 ± 0.54	6.60 ± 0.45 ^a
Soleus muscle	0.17 ± 0.00	0.12 ± 0.01 ^a
Heart	0.84 ± 0.04	0.59 ± 0.03 ^a
Epididymal fat pad	1.24 ± 0.07	0.67 ± 0.06 ^a
Tissue weight(g/100g body weight)		
Liver	4.50 ± 0.24	3.76 ± 0.15 ^b
Soleus muscle	0.07 ± 0.00	0.07 ± 0.00
Heart	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.02
Epididymal fat pad	0.51 ± 0.03	0.39 ± 0.03 ^b

Values are means ± SE for 11 rats.

Significantly different from Ad libitum-fed (^ap<0.001, ^bp<0.05).

2. 血清基質濃度 (Table 4)

グルコース濃度は運動前後の両時点でいずれも自由給餌群が間欠給餌群より高かったが、有意差は認められなかった。運動前後の時点間でも両群共に有意差は認められなかった。

FFA濃度は運動前の時点では自由給餌群が間欠給餌群より有意に低値を示したが、運動後の時点では両群間で有意な差は認められなかった。また、運動後は運動前の時点より自由給餌群、間欠給餌群とも有意に高値を示した。

Table 4. Serum glucose and FFA levels of rats

Group	N	Time(hr)	Glucose(mg/100ml)	FFA(μeq/l)
Ad libitum-fed	5	02:00	143.7 ± 4.5	77.1 ± 6.6
	6	06:00	156.2 ± 7.2	574.3 ± 46.1 ^a
Meal-fed	6	02:00	135.1 ± 6.6	263.8 ± 57.7 ^b
	5	06:00	140.1 ± 3.7	714.8 ± 89.5 ^c

Values are means ± SE.

^{a,c}Significantly different from 02:00hr in the same group (^ap<0.001, ^cp<0.01).

^bSignificantly different from 02:00hr in Ad libitum-fed (^bp<0.01).

3. 副睾丸脂肪組織の脂肪分解活性 (Table 5)

エピネフリン無添加条件下での脂肪酸放出量は運動前の時点では両群間で有意差が認められなかった。運動後の時点では、有意ではないが、自由給餌群が間欠給餌群より低値を示す傾向 ($p < 0.1$) にあった。運動後は運動前の時点に比べ、自由給餌群では有意差は認められなかったが、間欠給餌群では 2倍以上の高値を示し、時点間で有意差が認められた。エピネフリン添加条件下での脂肪酸放出量には運動前後の両時点とも両群間で差が見られなかった。

Table 5. Lipolytic activities in epididymal adipose tissue of rats

Group	N	Time(hr)	Lipolytic activity (μ eqFFA/g/hr)	
			Epinephrine(-)	Epinephrine(+)
Ad libitum-fed	5	02:00	5.4 \pm 0.5	15.2 \pm 1.4
	6	06:00	6.9 \pm 0.4	17.4 \pm 0.6
Meal-fed	6	02:00	4.6 \pm 0.2	15.1 \pm 1.0
	5	06:00	11.4 \pm 2.3 ^a	16.8 \pm 0.8

Values are means \pm SE.

^aSignificantly different from 02:00hr in the same group (^a $P < 0.01$).

4. 体組織グリコーゲン含量 (Table 6)

肝臓のグリコーゲン量は運動前後の両時点とも、両群間で有意差は認められなかった。運動後は運動前の時点に比べて両群とも有意に低値を示した。

ヒラメ筋のグリコーゲン量は運動前の時点では、自由給餌群が間欠給餌群より有意に高値を示したが、運動後の時点では有意差は認められず、運動前とは逆に自由給餌群の方が低い傾向 ($p < 0.1$) にあった。運動後は運動前の時点に比べて、自由給餌群では有意に低値を示したが、間欠給餌群では有意差が認められなかった。

心臓のグリコーゲン量は運動前の時点では両群間で差が見られなかったが、運動後は自由給餌群が間欠給餌群より有意に低値を示した。運動後は運動前の時点に比べ、自由給餌群では有意に低値を示したが、間欠給餌群では差が認められなかった。

考察

飼育期間中の体重増加量が自由給餌群で間欠給餌群より多いこと、自由給餌群の暗期の摂食量が明期の摂食量より多いこと、間欠給餌群の 2 時点での摂食量には差がみられないこと、自由給餌群の体重当たりの脂肪組織や肝臓の重量が間欠給餌群より重いこと等は、前報²⁴⁾と同様であった。

Table 6. Glycogen contents in liver, soleus muscle, and heart of rats

Group	N	Time(hr)	Glycogen contents(mg/g wet tissue)		
			Liver	Soleus muscle	Heart
Ad libitum-fed	5	02:00	53.3 ± 4.8	6.1 ± 0.2	0.24 ± 0.01
	6	06:00	15.1 ± 4.8 ^a	2.3 ± 0.4 ^a	0.18 ± 0.01
Meal-fed	6	02:00	42.4 ± 5.5	3.7 ± 0.6 ^b	0.23 ± 0.02
	5	06:00	9.8 ± 2.6 ^a	3.4 ± 0.5	0.25 ± 0.02 ^{c,d}

Values are means ± SE.

^{a,d}Significantly different from 02:00hr in the same group (^aP<0.001, ^dP<0.05).

^bSignificantly different from 02:00hr in Ad libitum-fed (^bP<0.01).

^cSignificantly different from 06:00hr in Ad libitum-fed (^cP<0.05).

血清グルコース濃度は、これまでに1日1回の間欠給餌群が自由給餌群より低いことが報告されており^{17,21)}、RomsosとLeveille¹⁹⁾は糖負荷試験の結果からグルコースの血中からの除去速度が間欠給餌群で自由給餌群より速いこと、WileyとLeveille²³⁾は末梢組織でのインシュリン感受性が間欠給餌群で上昇することが両群間の差をもたらす大きな要因であろうと指摘している。今回の飼育は1日2回の間欠給餌ではあるが、ほぼ同様のメカニズムが関与しているものと考えられる。両群間で有意差が見られなかったのは、前報²⁴⁾で示したように両群の日内リズムからちょうど差が少ない測定時刻であったからではないかと考えられる。

血清FFA濃度は、グルコース濃度に比べて自由給餌群と間欠給餌群の違いが大きく、間欠給餌群の方が高値を示す⁸⁾と報告されている。今回もほぼ同様な結果だった。間欠給餌群でFFA濃度が高い理由は絶食期間が長く、絶食期間の延長にしたがい、脂肪組織での脂肪分解活性が高まり²²⁾、FFAが血中に多く放出されるためと考えられている。運動前に比べて運動後の脂肪酸放出量が自由給餌群より間欠給餌群で大きく高まったことは運動中に血中へのFFA供給が自由給餌群より間欠給餌群で増えたことを示唆しており、興味深い。

両群における運動前の肝臓のグリコーゲン量も、前報²⁴⁾とほぼ同じで両群間で差が見られなかった。運動後は運動前に比べ著しく低値を示したが、運動後の時点でも両群間で著しい違いが見られなかった。運動中、肝臓のグリコーゲンから血中へのグルコース供給には差がなかったものと推察される。

ヒラメ筋など骨格筋のグリコーゲン含量は、肝臓のそれが血中へのグルコースの供給に重要な役割を果たしているのとは異なり、もっぱら運動のエネルギー源として利用される。しかし、その利用速度は、血中のFFA濃度によっても影響をうけることが明らかにされており、Costillら⁵⁾はヒトで、Hicksonら¹⁰⁾とRennieら¹⁸⁾はラットで、運動の直前に血中FFAレベルを高めておくと、運動中、筋肉でのグリコーゲンの利用が節約され、長時間走り続けることができたこと報告している。今回、自由給餌群より間欠給餌群の方がヒラメ筋のグリコーゲンの利用が少なかった理由には、自由給餌群より間欠給餌群の方が運動前の時点での血中FFA濃度が有意に高かったこと、運動前に比べ運動後の脂肪組織からの脂肪酸放出量が自由給餌群では有意に高まらなかったが、間欠給餌群では有意に高まったこと等が関与していると考えられる。すな

わち、間欠給餌群は自由給餌群より、運動前にFFAを利用しやすい状態にあっただけでなく、運動中もFFAの供給が多かったのではないかと推察される。

以上のことから、摂食様式が異なると運動のエネルギー源の利用のされかたも異なり、いつでも自由に食べることができる摂食様式に比べ、規則正しく決まった時間にだけ食べる摂食様式の方が、長時間の運動では筋肉のグリコーゲンの節約に合理的である可能性が高いことが示唆された。

要約

生後4週齢のJc1:SD系雄ラットを自由給餌群と18-19時と07-08時の1日2回の間欠給餌群とに分け、19-07時を暗期とする12時間の明暗サイクル下で飼育した。約3週間飼育後、遊泳運動前の02時と4時間の運動後の06時に両群のラットを断頭屠殺し、血清中のグルコースとFFA濃度、脂肪分解活性、体組織グリコーゲン含量を調べ、両群で比較検討した。

結果は以下に示す通りである。

1. 血清グルコース濃度は両群間で有意差が認められなかった。
2. 運動前の血清FFA濃度は自由給餌群が間欠給餌群に比べて有意に低値を示した。運動後は運動前に比べ、両群とも有意に高値を示した。
3. 副睾丸脂肪組織の脂肪分解活性は、自由給餌群では運動後と運動前で有意差が認められなかったが、間欠給餌群では運動後の方が運動前より有意に高値を示した。
4. ヒラメ筋のグリコーゲン含量は、運動前は自由給餌群が間欠給餌群より有意に高値を示したが、運動後は有意差が認められなかった。自由給餌群では運動後は運動前に比べて有意に低値を示したが、間欠給餌群では有意差が認められなかった。

以上の結果から、いつでも自由に食べることが許される摂食様式に比べ、定められた時間にだけ食べることが許される摂食様式は、長時間の運動中の筋肉のグリコーゲンの利用を節約し、運動能力を高める可能性があることが示唆された。

本稿を終わるに当たり、御協力いただいた静岡大学大学院修士課程生、磐井邦子さん、稲垣正男君に謹んでお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Askew, E.W. (1983) Fat metabolism in exercise. In Fox (Ed.) Nutrients utilization during exercise. Ross Symposium, pp13-21, Ross Laboratories, Columbus.
- 2) Baldwin, K.M., Reitman, J.S., Terjung, R.L., Winder, W.W., and Holloszy, J.O. (1973) Substrate depletion in different types of muscle and liver during prolonged running. *Am.J.Physiol.*, 225, 1045-1050.
- 3) Bergstrom, J. and Hultman, E. (1967) A study of the glycogen metabolism during exercise in man. *Scand.J.Clin.Lab.Invest.*, 19, 218-228.
- 4) Clark, J.H. and Conlee, R.K. (1979) Muscle and liver glycogen content: diurnal variation and effects of fasting. *J.Appl.Physiol.*, 47, 425-428.
- 5) Costill, D.L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., and Hoopes, D. (1977) Effects of elevated

- plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J.Appl.Physiol.*, 43,695-699.
- 6) Costill, D.L. and Hargreaves, M. (1992) Carbohydrates nutrition and fatigue. *Sports Medicine*, 13, 86-92.
 - 7) Dohm, G.L., Tapscott, E.B., Barakat, H.A., and Kasperek, G.J. (1983) Influence of fasting on glycogen depletion in rats during exercise. *J.Appl.Physiol.*, 55, 830-833.
 - 8) Fuller, R.W. and Diller, E.R. (1970) Diurnal variation of liver glycogen and plasma free fatty acids in rats fed ad libitum or single daily meal. *Metabolism*, 19, 226-229.
 - 9) Hermansen, L., Hultman, E., and Saltin, B. (1967) Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol.Scand.*, 71, 129-139.
 - 10) Hickson, R.C., Rennie, M.J., Conlee, R.K., Winder, W.W., and Holloszy, J.O. (1977) Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance. *J.Appl. Physiol.*, 43, 829-833.
 - 11) Hultman, E. (1967) Physiological role of muscle glycogen in man, with special reference to exercise. *Circ.Res.*, 20, Suppl.1, 99-114.
 - 12) Hultman, E. (1989) Nutritional effects on work performance. *Am.J.Clin.Nutr.*, 49, 949-957.
 - 13) Lo, S., Russell, J.C., and Taylor, A.W. (1970) Determination of glycogen in small samples. *J.Appl.Physiol.*, 28, 234-236.
 - 14) 前畑英介、中甫 (1972) 2-(*z*-Thiazolyazo)-*p*-cresol を用いた遊離脂肪酸の比色定量. *臨床化学*, 1, 447-456.
 - 15) Oscai, L.B., Caruso, R.A., and Wegeles, A.C. (1982) Lipoprotein lipase hydrolyzes endogeneous triacylglycerols in muscle of exercised rat. *J.Appl.Physiol.*, 52, 1059-1063.
 - 16) Randle, P.J., Newsholme, E.A., and Garland, P.B. (1964) Regulation of glucose uptake by muscle. 8. Effects of fatty acids, ketone bodies and pyruvate, and of alloxan-diabetes and starvation on the uptake and metabolic rate of glucose in rat heart and diaphragm muscle. *Biochem.J.*, 93, 652-665.
 - 17) Reiser, S. and Hallfrish, J. (1977) Insulin sensitivity and adipose tissue weight of rats fed starch or sucrose diets ad libitum or in meals. *J.Nutr.*, 107, 147-155.
 - 18) Rennie, M.J., Winder, W.W., and Holloszy, J.O. (1976) A sparing effect of increased plasma fatty acids on muscle and liver glycogen content in the exercising rat. *Biochem.J.*, 156, 647-655.
 - 19) Romsos, D.R. and Leveille, G.A. (1974) Effects of meal frequency and diet composition on glucose tolerance in the rats. *J.Nutr.*, 104, 1503-1512.
 - 20) Sherman, W.M. and Costill, D.L. (1984) The marathon; Dietary manipulation to optimize performance. *Am.J.Sport Med.*, 12, 44-51.
 - 21) 鈴木正成、佐藤雄二 (1980) 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.

- 22) Suzuki, M., Shimomura, Y., Satoh, Y. (1983) Diurnal changes in lipolytic activity of isolated fat cell and their increased responsiveness to epinephrine and theophylline with meal feeding in rats. *J.Nutr.Sci.Vitaminol.*, 29, 399-411.
- 23) Wiley, J.H. and Leveille, G.A. (1970) Significance of insulin in the metabolic adaptation of rats to meal ingestion. *J.Nutr.*, 100, 1073-1080.
- 24) 山本章、稲垣正男、谷健二 (1985) 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。静岡大学教育学部研究報告 (自然科学篇), 36, 19-29.