

## 成熟ラットの形態，体成分および運動持久力に 及ぼす食餌タンパク質レベルと自発運動の影響

高橋 徹三・村松 成司\*・鈴木 正敏\*\*

### Effects of dietary protein level and voluntary exercise on the morphological and biochemical measurements, and endurance ability of adult rats

Tetsuzo TAKAHASHI, Shigeji MURAMATSU\* and Masatoshi SUZUKI\*\*

Sixty male rats (SD strain, mean body weight  $481 \pm 29.4$ g) were divided into 3 groups, high protein diet group (H group), middle protein diet group (M group), and low protein diet group (L group). Rats in H group, M group and L group were given respectively 40%, 20% and 8% casein diet throughout the experimental period. All of the rats were kept in the usual cages for 1 week, and then each of the three groups was further divided into 2 groups, control group and voluntary exercise group. The rat in control group was fed in a usual cage and the rat in voluntary exercise group was fed in a cage with a rotary wheel. Swimming endurance tests were conducted two times during the 4th week. Food intake, some morphological and biochemical measurements were also made.

The results obtained were as follows;

- 1) Body weight gain was significantly lower in L group than in both H and M groups, and also significantly lower in exercise group than in control group.
- 2) Food intake of exercise group decreased after beginning of exercise, but then increased gradually and reached to almost the same intake level as control group in 4th week.
- 3) Mean voluntary exercise per day throughout 3 weeks were ordered L>M>H group but the differences were not significant.
- 4) The weight of heart, lung, kidney, adrenals and skeletal muscle were greater in exercise group than in control group with significant difference. Adipose tissue was significantly heavier in control group than exercise group. No remarkable tendency was found among groups of different protein level.
- 5) Glycogen contents in liver was higher in M group than in both L and H groups, and also higher in exercise group than in control group but the differences were not significant. The same tendency was observed in skeletal muscle as liver.
- 6) Swimming endurance time was longest in M group and shortest in H group but not significant. There was also no significant difference between control and exercise groups.
- 7) High correlations were found between swimming endurance time and glycogen content in liver and skeletal muscle.
- 8) Triglyceride in serum was ordered as L>M>H group, and control group>exercise group, but there were no significant difference. Total-cholesterol showed the converse tendency as triglyceride. Almost the same levels of free fatty acid were found among each group.

---

\* 千葉大学教養部

\*\* 九州工業大学体育科

- 9) CPK and LDH activities in serum were significantly higher in control group than in exercise group. No significant differences in GOT and GPT activities were found among all of the groups.
- 10) Creatinine in serum was significantly higher in exercise group than in control group. Total protein in serum was significantly higher in H group than in L group under exercise condition. Albumin in serum was significantly lower in L group than in H group under exercise condition. BUN was ordered as H>M>L group with significant difference, and slightly higher in exercise group than in control group, but not significant.
- 11) There were no significant difference in blood glucose and hemoglobin. Significantly lower values in hematocrit were found in exercise group than control group under low protein diet, and in L group than H group under exercise condition.

先に、成長、摂食量、体成分、遊泳持久力に及ぼす食餌タンパク質レベルおよび運動訓練の影響について、4～5週令の幼若ラットを用いて、3回にわたり実験したが、<sup>19,20,29)</sup>これらの実験結果から、栄養条件、運動条件は摂食量、成長、体組成などの変動を介して運動持久力に影響を与えることが示唆された。今回は、成長速度の遅くなった成熟ラットを用い同様の実験を行った。

#### 実験方法

約4週令のSD系雄ラット60匹を市販の固型飼料を用いて21週令になるまで飼育した。その時点での平均体重は481.0±29.4gであった。そして体重がほぼ均等になるように各実験群に10匹ずつ割当てた。まず、タンパク質レベルの異なる3つの食餌群、すなわち、高タンパク食群(カゼイン40%群, High protein diet group; 以下H群と略す)、中タンパク食群(カゼイン20%群, Middle protein diet group; M群)、低タンパク食群(カゼイン8%群, Low protein diet group; L群)に分け、さらに各食餌群を運動群(Exercise group; E群)対照群(Control group; C群)に分けた。実験食の組成をTable 1に示した。

実験開始後第1週は対照群、運動群ともに通常のケージで飼育し、それぞれの実験食に慣らさせ、第2週よりE群は回転式自発運動装置のついたケージ内で飼育し、自発運動を行わせた。飼育室は温度23±1℃、湿度55±5%に調節されている。第4週の2日目～5日目の4日間、各実験群より5匹ずつ1日おきに2回の遊泳持久力テストを行った。水温は24℃としオールアウトの判定は先の報告<sup>19)</sup>に従った。体重、自発運動量を毎日午後5

Table 1. Composition of experimental diet Group

	High Protein	Middle Protein	Low Protein
Casein	40g	20g	8g
Cornstarch	26g	39g	47g
Sucrose	13g	20g	24g
Corn oil	15g	15g	15g
Mineral mix.	5g	5g	5g
Vitamin mix.	1g	1g	1g
Total	100g	100g	100g
Mineral mixture (in 100g) contains following components;			
CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	14.56g	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	25.72g
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	25.72g	NaCl	4.66g
Ca-lactate	35.09g	Fe-citrate	3.18g
MgSO <sub>4</sub>	7.17g	ZnCO <sub>3</sub>	0.11g
MnSO <sub>4</sub> ·4-6H <sub>2</sub> O	0.12g	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.03g
KI	0.01g		
Vitamin mixture (in 100g) contains following components;			
Vitamin A-acetate			5000 IU
Vitamin D <sub>3</sub>			1000 IU
Vitamin B <sub>1</sub> -HCl			120 mg
Vitamin B <sub>2</sub>			400 mg
Vitamin B <sub>6</sub> -HCl			80 mg
Vitamin B <sub>12</sub>			0.05 mg
Vitamin C			3000 mg
Vitamin E-acetate			500 mg
Vitamin K <sub>3</sub>			520 mg
D-Biotin			2 mg
Folic acid			20 mg

Calcium Pantothenate	500 mg
p-aminobenzoic acid	500 mg
Nicotinic acid	600 mg
Inositol	600 mg
Choline-chloride	20000 mg

法), 尿素窒素(ウレアーゼGIDH法), A/G比, グルコース(グルコースオキシダーゼ法), ヘモグロビン(シアンメトヘモグロビン法), ヘマトクリット(遠心法)とした。

時から測定した。摂食量は投与量から残食量を差し引いて求めたが、水分含量の変動があるので、これを補正した。

実験開始29日目に、エーテル麻酔下で速かに開腹し、下大静脈より採血して後、肝臓、心臓、肺、腎臓、副腎、脾臓、脂肪組織(腎周囲および副睪丸脂肪組織)および右側腓腹筋の重量を測定した。肝臓と腓腹筋についてはさらにその一部をグリコーゲン定量に供した。グリコーゲン測定はLoらの方法<sup>18)</sup>を用いた。

血液の測定項目は、トリグリセライド(酵素法)、遊離脂肪酸(Duncombo変法)、総コレステロール(コレステロールオキシダーゼ法)、CPK(Oliver変法)、GOT(UV法)、GPT(UV法)、LDH(UV法)、クレアチニン(Jaffe法)、総タンパク質(ビュレット法)、アルブミン(BCG

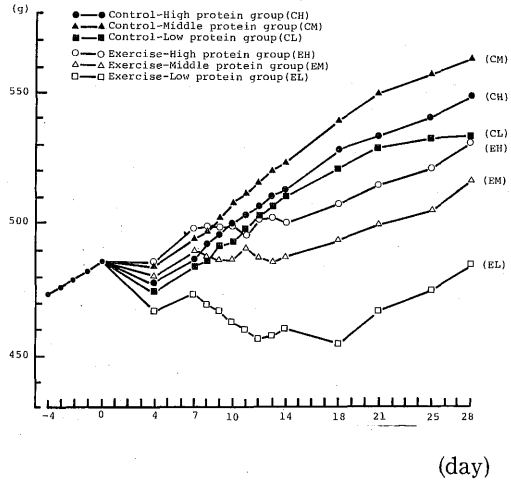


Fig. 1 Changes in body weight

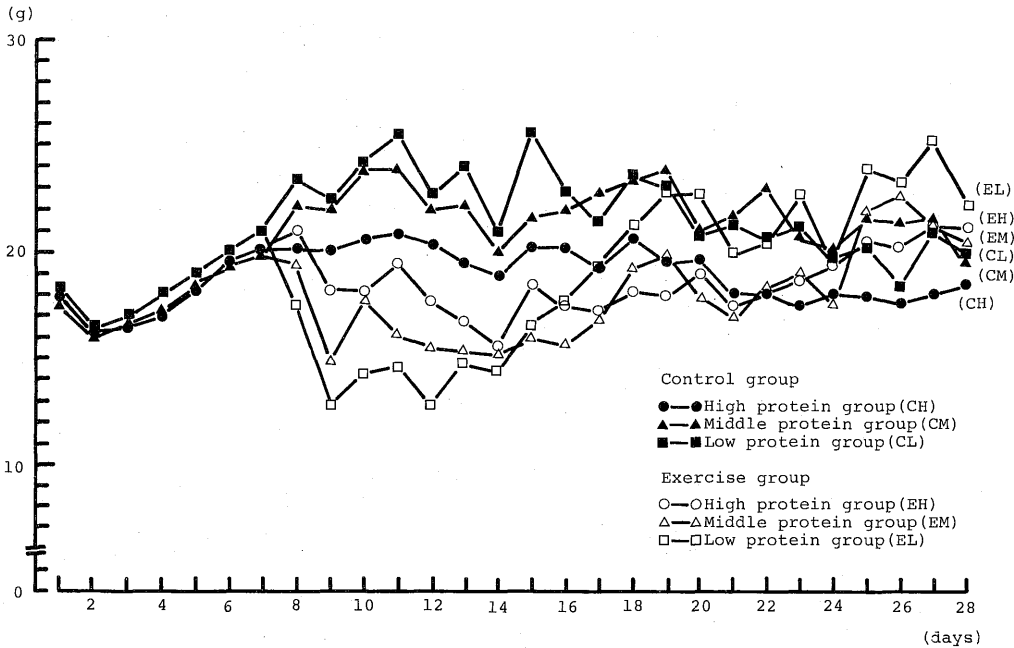


Fig. 2 Changes in food intake per day

**実験結果**

実験期間中の体重の変化をFig. 1に示した。実験食投与開始4日目までEL群に著しい減少がみられ、EH群を除く他の群にも減少がみられた。4日目以降は対照の各群は順調な増加を示している。運動の各群においては7日目の自発運動開始後よりL群において12日目まで減少が続いており、H群、M群においては14日目くらいまで停滞しているが、その後は増加している。

対照群内ではM群が最も体重増加が大きく、H群とL群とでは第4週の後半を除いて有意差はみられなかった。運動群内ではM群とH群の間に有意差はなかったが、L群は有意に低かった。全体としてL群はH、Mの両群より、運動群は対照群より有意に劣っていた。

摂食量の変動をFig. 2に示した。実験食に切り換えることによりいずれの食餌群ともに一時減少したが、その後徐々に回復した。続いて対照の各群はほぼ一定であったのに対し、自発運動の各群は自発運動の開始により2週目に減少を示したが、その後増加し、第4週では6群間にほとんど差がみられなかった。

自発運動を行わせた3週間を通しての1日あた

りの平均自発運動量はH群799±350回転、M群1281±425回転、L群1542±418回転でL群>M群>H群の順に多い傾向がみられたが、いずれの群間にも有意な差はみられなかった。

体重100gあたりの臓器および組織の相対重量をTable 2に示した。心臓、肺、腎臓、副腎、腓腹筋においては運動群が対照群を有意に上回っていた。脂肪組織は逆に対照群より運動群の方が有意に少なかった。肝臓および脾臓においては有意差はみられなかった。食餌群別では顕著な傾向はえられなかった。

肝臓および腓腹筋中のグリコーゲン含量をTable 3に示した。肝臓では対照群、運動群および両群を合わせたとき、いずれもM群が高く、全体的に運動群が対照群を上回っていた。しかし有意差はなかった。腓腹筋においても肝臓と同様な傾向がみられた。

遊泳持久力テストの結果をTable 3に示した。食餌群別ではM群>L群>H群の順に長かったが、有意差は認められなかった。対照群と運動群の間にはほとんど差がみられなかった。

遊泳持久力と臓器、組織、グリコーゲン含量との相関をTable 4に示した。臓器および組織量にお

Table 2. Relative weight of some organs and tissues (mean g/100g BW)

	CH	CM	CL	EH	EM	EL
Liver	3.34 (0.28)	3.61 (0.56)	3.35 (0.29)	3.63 (0.41)	3.57 (0.35)	3.41 (0.35)
Heart	0.25 (0.02)	0.25 (0.02)	0.25 (0.01)	0.30 (0.04)	0.28 (0.03)	0.28 (0.02)
Lung	0.36 (0.04)	0.35 (0.05)	0.34 (0.05)	0.39 (0.05)	0.36 (0.02)	0.39 (0.04)
Spleen	0.17 (0.02)	0.16 (0.02)	0.15 (0.02)	0.16 (0.02)	0.16 (0.01)	0.16 (0.03)
Kidney	0.58 (0.04)	0.55 (0.05)	0.54 (0.05)	0.67 (0.08)	0.58 (0.04)	0.55 (0.03)
Adrenals (mg)	9.5 (1.36)	9.9 (1.38)	9.2 (1.30)	11.4 (0.90)	10.8 (1.34)	11.6 (2.63)
Muscle	0.56 (0.08)	0.53 (0.08)	0.56 (0.05)	0.61 (0.06)	0.59 (0.04)	0.62 (0.06)
Adipose Tissue	5.83 (1.48)	5.04 (1.08)	5.26 (1.46)	4.96 (1.10)	4.18 (0.93)	4.41 (0.88)

SD is shown in parenthesis.

CH; Control High protein group

CM; Control Middle protein group

CL; Control Low protein group

EH; Exercise High protein group

EM; Exercise Middle protein group

EL; Exercise Low protein group

Table 3. Glycogen in liver and skeletal muscle and swimming endurance time (Mean±SD)

Liver (mg/g wet wt.)	Dietary protein level			
	H	M	L	(C•E) <sup>a</sup>
C	15.64±3.44	26.45±3.77	19.78±9.06	20.62±7.47
E	23.41±7.12	26.90±5.95	21.14±7.89	23.82±7.42
(Diet) <sup>b</sup>	19.53±6.81	26.68±5.00	20.46±8.52	
Skeletal muscle (mg/g wet wt.)				
C	5.90±1.35	7.09±1.60	6.38±1.55	6.45±1.52
E	6.41±1.67	7.36±1.66	6.55±1.72	6.78±1.66
(Diet) <sup>b</sup>	6.16±1.49	7.23±1.58	6.46±1.59	
Swimming endurance time (sec)				
C	3482± 878	4278± 772	3844±1100	3868± 946
E	3796±1143	4309± 827	3807± 961	3970± 973
(Diet) <sup>b</sup>	3639± 998	4293± 773	3825± 998	

H; High protein group

M; Middle protein group

L; Low protein group

C; Control group

E; Exercise group

a; Each of C and E group includes H, M and L groups.

b; Each of H, M and L group includes both control and exercise groups.

Table 4 Correlation coefficients of swimming endurance time to relative weight of some organs and tissues and to glycogen content in liver and skeletal muscle

Relative weight to 100g of body weight	r.
Liver	0.041
Heart	0.187
Lung	0.104
Spleen	0.245
Kidney	0.103
Adrenals	0.250
Muscle	0.409
Adipose tissue	0.200
-----	
Glycogen content	
Liver	0.892
Muscle	0.593

いては筋肉に比較的高い相関がみられた以外はいずれも低い相関であった。肝臓および腓腹筋のグリコーゲン含量と相関が認められ、特に肝臓の場合に高い相関が認められた。

血中成分の結果をTable 5~8に示した。

トリグリセライドは対照群、運動群およびこの両方を合わせた場合L群>M群>H群の傾向があり、一方どの食餌タンパク質レベルでも、また全体としても運動群の方が対照群より低い傾向がみられたが、すべて有意差はなかった。

総コレステロールはトリグリセライドとは逆の傾向がみられた。タンパク質レベルでは対照群、運動群ともにH群>M群>L群で、H群と他の2群との間に有意差がみられた。また、運動群の方が対照群より高い傾向がみられたが、有意差はなかった。遊離脂肪酸は各群間に大差はなかった。

CPK, GOT, GPT, LDHは、平均値ではいくつかの傾向がみられたが、有意差があったのは、CPK, LDHが運動群の方が対照群より低かったことだけであった。

Table 5 Triglyceride (TG), Total cholesterol (T-Ch) and Free Fatty Acid (FFA) in serum (Mean±SD)

		H	M	L	(C•E) <sup>a</sup>
TG (mg/dl)	C	87.1±15.0	89.5±15.9	92.3±12.7	89.6±14.2
	E	82.8± 9.8	83.6±11.6	86.8±15.3	84.4±12.0
	(Diet) <sup>b</sup>	84.9±12.5	86.6±13.8	89.5±13.9	
T-Ch (mg/dl)	C	90.0±12.3	77.9± 9.4	66.9± 9.7	78.3±13.9
	E	90.9± 9.9	79.1±11.4	76.5±18.5	82.2±14.6
	(Diet) <sup>b</sup>	90.4±10.8	78.5±10.1	71.7±15.1	
FFA (meq/l)	C	0.94±0.12	0.92±0.28	1.01±0.18	0.96±0.20
	E	1.05±0.24	0.96±0.17	1.06±0.31	1.02±0.24
	(Diet) <sup>b</sup>	0.99±0.16	0.94±0.22	1.03±0.25	

H; High protein group

M; Middle protein group

L; Low protein group

C; Control group

E; Exercise group

a; Each of C and E group includes H, M and L groups.

b; Each of H, M and L group includes both control and exercise groups.

Table 6 CPK, GOT, GPT and LDH in serum (Mean±SD)

		H	M	L	(C•E) <sup>a</sup>
CPK (IU/l)	C	314±60.5	287±43.3	283±73.9	294±59.4
	E	285±43.4	248±52.7	245±57.1	260±52.6
	(Diet) <sup>b</sup>	300±52.9	268±50.6	264±66.7	
GOT (IU/l)	C	97.4±15.9	85.6±12.5	89.0±15.9	90.7±15.0
	E	104.4±20.1	91.8±22.5	92.9±11.4	96.3±18.7
	(Diet) <sup>b</sup>	100.9±17.9	88.7±17.9	90.9±13.5	
GPT (IU/l)	C	22.1±5.72	19.8±4.65	20.8±2.19	20.9±4.36
	E	25.1±7.26	21.0±4.51	19.5±4.60	21.9±5.90
	(Diet) <sup>b</sup>	23.6±6.50	20.4±4.51	20.1±3.54	
LDH (IU/l)	C	1945±450	1799±332	1946±274	1896±350
	E	1667±232	1475±321	1866±159	1669±286
	(Diet) <sup>b</sup>	1806±374	1641±360	1906±220	

H; High protein group

M; Middle protein group

L; Low protein group

C; Control group

E; Exercise group

a; Each of C and E group includes H, M and L groups.

b; Each of H, M and L group includes both control and exercise groups.

Table 7 Creatinine (Cre), Total protein (TP), Albumin (Alb), A/G ratio and Blood urea nitrogen (BUN) in serum (Mean±SD)

		H	M	L	(C·E) <sup>a</sup>
Cre (mg/dl)	C	0.39±0.07	0.42±0.05	0.46±0.05	0.42±0.06
	E	0.42±0.06	0.46±0.06	0.46±0.07	0.46±0.06
	(Diet) <sup>b</sup>	0.42±0.07	0.44±0.06	0.46±0.06	
TP (g/dl)	C	6.46±0.25	6.73±0.70	6.35±0.38	6.51±0.49
	E	6.80±0.42	6.58±0.32	6.39±0.39	6.59±0.40
	(Diet) <sup>b</sup>	6.63±0.38	6.65±0.53	6.37±0.37	
Alb (g/dl)	C	3.86±0.14	3.91±0.22	3.68±0.21	3.82±0.21
	E	4.13±0.25	3.99±0.12	3.81±0.22	3.98±0.24
	(Diet) <sup>b</sup>	3.99±0.24	3.95±0.18	3.74±0.22	
A/G ratio	C	1.47±0.15	1.41±0.18	1.39±0.15	1.42±0.16
	E	1.54±0.13	1.54±0.09	1.50±0.19	1.53±0.14
	(Diet) <sup>b</sup>	1.50±0.14	1.47±0.15	1.45±0.18	
BUN (mg/dl)	C	23.9±3.44	14.9±2.02	8.9±2.11	15.9±6.78
	E	25.5±3.98	16.3±2.80	9.6±2.08	17.3±7.27
	(Diet) <sup>b</sup>	24.7±3.69	15.6±2.47	9.2±2.06	

H; High protein group

M; Middle protein group

L; Low protein group

C; Control group

E; Exercise group

a; Each of C and E group includes H, M and L groups.

b; Each of H, M and L group includes both control and exercise groups.

クレアチニン, 総タンパク質, アルブミン, A/G比では, クレアチニンは運動群が対照群より有意に高いこと, 総タンパク質では運動群においてH群がL群より有意に高いこと, アルブミンは, 運動群においてL群がH群より有意に低く, 運動群と対照群を合わせた場合はL群は, H, Mの両群より有意に低いこと, アルブミン, A/G比ともに運動群が対照群より, 有意に高値を示した以外には, 有意差はなかった。

血中尿素窒素 (BUN) は食餌群別ではH群>M群>L群の順で, いずれも有意差があった。運動群の方が対照群より高い傾向があったが, 有意差は認められなかった。

血中グルコース, ヘモグロビンでは, 有意差は

なく, ヘマトクリットでは低タンパク食で, 運動群は対照群より有意に低く, また, 運動群内ではL群が有意にH群より低かった以外には有意差はなかった。

#### 考 察

ラットの体重増加は対照群 (C群) が運動群 (E群) に比べ有意に優れていた。これは先の研究<sup>19,29)</sup> および Jonesら<sup>12)</sup>, 鈴木ら<sup>27)</sup> の報告と一致していた。食餌群別ではL群がH群, M群に比べ有意に劣り, H群とM群の間には有意差は認められなかった。自発運動開始後, 運動群の各群は体重増加が停滞あるいは減少傾向を示したが, これは自発運動の影響であると考えられる。その後, 14日目より運

Table 8 Blood glucose, Hemoglobin (Hb) and Hematocrit (Ht) (Mean±SD)

		H	M	L	(C•E) <sup>a</sup>
Glucose (mg/dl)	C	215.8±31.4	191.8±24.4	197.8±19.1	201.6±26.3
	E	181.6±30.7	209.5±37.8	191.9±37.9	194.3±35.9
	(Diet) <sup>b</sup>	198.5±34.5	200.6±32.1	194.8±29.2	
Hb (g/dl)	C	15.9±1.62	15.9±2.21	15.4±1.22	15.7±1.68
	E	16.1±3.28	15.7±1.88	14.1±2.37	15.1±2.58
	(Diet) <sup>b</sup>	15.8±2.50	15.8±1.99	14.7±1.94	
Ht (%)	C	44.1±1.8	43.9±2.3	44.6±1.9	44.3±1.9
	E	46.3±2.9	43.9±1.6	43.0±1.0	44.4±2.4
	(Diet) <sup>b</sup>	45.2±2.6	43.9±1.9	43.8±1.7	

H; High protein group

M; Middle protein group

L; Low protein group

C; Control group

E; Exercise group

a; Each of C and E group includes H, M and L groups.

b; Each of H, M and L group includes both control and exercise groups.

動群に観察された体重の増加の原因としては自発運動に対する慣れが考えられる。3週目の後半には対照群を上回っていた。このことは自発運動に対してラットが慣れることによってエネルギー消費量を補うに十分な摂食量を獲得することが可能であることを示している。このことは先の実験においても認められた。対照群の摂食量は全期間を通じてほぼ安定していたが、遊泳持久力テスト後では減少がみられた。Thomasら<sup>32)</sup>は強制運動後にみられる摂食量の低下は強制運動に対するストレスによるものであるとしている。今回の結果も同じ理由であると考えられる。しかしながら、運動群においてはむしろ増加しており、遊泳持久力テストの影響が対照群ほどではなかったことが考えられる。

自発運動量は先の実験に比較して著しく少なかった。これは成長の激しい幼若ラットと成熟ラットのちがいであると考えられる。勝田ら<sup>13)</sup>は長期にわたってラットに自発運動を行わせることにより、自発運動量のピークは4～6週目にあり、それ以後は徐々に減少することを報告している。また、橋本ら<sup>6)</sup>、鈴木ら<sup>28)</sup>も同様な事実を報告している。

運動訓練によって心臓、腎臓、腓腹筋重量は増

加の傾向を示すことが報告されている。今回の測定結果においても、相対重量において、心臓、肺、腎臓、副腎、腓腹筋において運動群が対照群に対して有意に優っていた。しかし、肝臓、脾臓においては有意差は認められなかった。このことはHearnら<sup>7)</sup>、Hadsonら<sup>5)</sup>によってすでに報告されている。心臓においてはKarpovich<sup>15)</sup>は運動をさせた動物の心臓は非運動動物の心臓より重いことを報告しており今回の結果はこれと一致した。

高炭水化物や持久性運動訓練によってヒトおよびラットの骨格筋のグリコーゲン貯蔵量を増加させることが報告されている。<sup>2,4,30,31)</sup>今回は有意差は観察されなかったが、平均では運動群が対照群より肝臓および腓腹筋のグリコーゲン含量が多かった。一方、食餌群別にみるとM群が高値を示した。高炭水化物食であるL群の方がM群より低い値を示したことは予想に反した。遊泳持久力と肝臓および腓腹筋中グリコーゲン含量の間に有意な相関があった。

これまで運動は動物及びヒトの組織あるいは血漿脂質に変動をもたらすことが報告されている。<sup>1,4)</sup>

トリグリセライド (TG) は対照群が運動群より高値を示していることから運動による血清TGの



低下が認められる。これは伊藤ら<sup>10)</sup>の報告と一致する傾向である。食餌群別にみると有意差は認められなかったがL群>M群>H群の順に高くなっており血清中のTG濃度は低カゼイン群の方が高いという中館ら<sup>23)</sup>の報告を裏づけている。また尚ら<sup>26)</sup>はラットにおける実験でショ糖によるTGの増加を報告している。今回L群はタンパク質(カゼイン)含量の少ない分だけショ糖含量の多い食餌であるので、尚らの報告<sup>26)</sup>と一致している。

血清総コレステロールは運動群が対照群に対し高値を示した。運動の血清総コレステロール値に及ぼす影響についてはこれまで種々の報告があり、ヒトでの実験で低下するもの<sup>10,11)</sup>、変らないとするもの<sup>8,14)</sup>がある。Lewisら<sup>17)</sup>はラットで運動群が非運動群よりも血漿コレステロール量が多いことを報告している。今回の結果はそれと一致するものであった。食餌群別にみるとH群>M群>L群の順に高い結果を示した。ラットを用いた実験で食餌タンパク質レベルの増加は血漿コレステロール濃度を増加させるという報告がある<sup>9)</sup>。しかし、血漿コレステロールの濃度調節に対する食餌タンパク質の役割については動物の種類や実験法の相違などによって必ずしも一致した結果が得られていない。

FFAは運動群が対照群よりも高値を示し、運動によってTGが減少しFFAが増加するというKonttinenら<sup>16)</sup>、Papadopoulosら<sup>21)</sup>の観察と一致した。食餌群別ではL群>H群>M群の順であったが、有意差はなかった。

GOT, GPTは運動群が対照群より高値を示した。Nikkilaら<sup>24)</sup>はラットを用いた8週間のトレッドミル走トレーニングの実験によりラットの血中GOTおよびGPTが高値を示したと報告している。今回の結果はそれと一致するものであった。しかし、運動負荷による血中GOT, GPTなどの逸脱酵素の変動については様々な報告があり必ずしも一致していない。これは運動の質, 量, 期間などの内容の相違あるいは個体差によるものと考えられる。

CPK, LDHは対照群が運動群よりも有意に高値を示した。Ravenら<sup>25)</sup>はラットを用いた実験においてLDH値は激しい運動直後は運動群, 安静群ともに著しい増加をみるが、運動後の安静レベルでは対照群の方が運動群より高値を示すことを報告

している。本実験では対照群に対し採血数日前に遊泳持久力テストを行ったほかは運動を負荷しておらず、えられた傾向はRavenらのそれと一致するものであった。

総タンパク質(TP), アルブミン, A/G比, 血中尿素窒素(BUN), クレアチニンの各項目においてすべて運動群が対照群を上回っていた。山地<sup>24)</sup>は運動によるTPの減少は主としてアルブミンの減少によるものであるとし、またYoshimura<sup>36)</sup>、宇佐美<sup>33)</sup>は運動訓練時に貯蔵タンパク質である血漿タンパク質が筋組織のタンパク質合成のために動員されその主役である血清アルブミンの減少が起こると述べている。今回はこれらの報告とは逆の結果がえられているが、その原因が何であるかは不明である。本実験は成熟ラットを用いた比較的短期の実験であり、運動量が週令の関係から成長期にあるラットに比べて少なかったことは考慮する必要があると思う。アルブミンにおいてはH群>M群>L群の順に高く、H群とL群の間、M群とL群の間において有意差を認めた。横沢ら<sup>35)</sup>は食餌中のタンパク(カゼイン)含量を変えた場合には、総タンパク質, アルブミンレベルともに無タンパク食, 低タンパク食では低いレベルを示し、カゼイン25%含有食まではほぼ直線的に上昇するが、それ以上では増加率が劣る傾向にあることを示している。

血中尿素窒素(BUN)は食餌群別にみるとH群>M群>L群の順に高く各群間において有意差が認められた。これはカゼイン含量の増加とともにBUN値がほぼ直線的に上昇を示すという横沢ら<sup>35)</sup>の報告に一致する。運動群別にみるとE群がC群を上回る結果を示した。これは運動によるタンパク質代謝の昂進を示唆している。

クレアチニンは運動群が対照群に対して有意に高値を示したが、このことは運動あるいは筋肉の発達により血中クレアチニン量は増加するという報告<sup>22)</sup>から十分に理解できる。

## 要 約

成長速度の遅くなった成熟ラットを用い形態的, 生化学的測定値および運動持久力に対する食餌タンパク質レベルと自発運動の影響を検討した。SD系雄ラット(平均体重481g)60匹を高タンパク食群(H群), 中タンパク食群(M群), 低タンパク

食群 (L群) の3群に分け、通常のケージで各実験食で1週間飼育して後さらに各食餌群を対照群と運動群の2群に分けた。対照群は通常のケージで、運動群は回転式自発運動装置のついたケージで3週間飼育した。遊泳持久力のほか、摂食量、体重、臓器、組織重量、肝臓、筋肉中グリコーゲンおよび血液性状について測定した。

結果は以下のとおりである。

- 1) 体重増加は食餌群別ではL群がH, Mの両群より有意に劣り、また運動群は対照群に対して有意に劣っていた。
- 2) 摂食量は運動群で第2週目に減少をみたが、その後増加し、第4週ではすべての群間にほとんど差がみられなかった。
- 3) 3週間通しての1日あたりの平均自発運動量はL>M>H群の順であったが、いずれの群間にも有意差はみられなかった。
- 4) 心臓、肺、腎臓、副腎、腓腹筋重量は運動群が対照群を有意に上回っていた。脂肪組織は逆に対照群が運動群を有意に上回っていた。肝臓および脾臓においては有意差はみられなかった。食餌群別では顕著な傾向はえられなかった。
- 5) 肝臓グリコーゲン含量はいずれの場合もM群が高く、また、全体的に運動群が対照群を上回っていた。しかし、有意差はなかった。腓腹筋においても同様な傾向がみられた。
- 6) 遊泳持久力テストは食餌群別ではM>L>H群の順に長かったが、有意差は認められなかった。対照群と運動群の間にはほとんど差がみられなかった。
- 7) 遊泳持久力と肝臓および筋肉グリコーゲン含量の間に高い相関がみられた。
- 8) トリグリセライドは食餌群別ではL>M>H群の傾向がみられ、また対照群は運動群よりも高い傾向がみられたが、いずれも有意差はなかった。総コレステロールはトリグリセライドと逆の傾向がみられた。遊離脂肪酸は各群間に大差はなかった。
- 9) CPK, GOT, GPT, LDHは平均値ではいくつかの傾向がみられたが、有意差がみられたのはCPK, LDHが対照群よりも運動群で低かったことだけであった。
- 10) クレアチニン、総タンパク質、アルブミン、A/G比をみると、クレアチニンは運動群が対照

群よりも有意に高く、総タンパク質では運動群においてH群がL群より有意に高く、アルブミンは運動群においてL群がH群よりも有意に低く、対照群と運動群を合わせた場合はL群がH, M群より有意に低かった。血中尿素窒素は食餌群別ではH>M>L群の順で、差はいずれも有意であった。また、運動群が対照群よりも高い傾向がみられたが有意差はなかった。

- 11) 血中グルコース、ヘモグロビンでは有意差はみられなかった。ヘマトクリットでは低タンパク食で運動群が対照群よりも有意に低く、運動群内ではL群がH群よりも有意に低かった以外には有意差はなかった。

### 参 考 文 献

- 1) Carlson, L. A. and Folke, M.; Acute effects of prolonged heavy exercise on the concentration of plasma lipids and lipoprotein in man. *Acta. physiol. Scand.* 62, 51 (1964)
- 2) Eylar, A. W., Lappage, R. and Rao, S.; Skeletal muscle glycogen stores after submaximal and maximal work. *Med. Sci. Sports.* 3, 75 (1971)
- 3) Gollnick, P. D., Soule, E. G., Tayler, A. W., Williams, C. and Ianuzzo, C. D.; Exercise-induced glycogenolysis and lipolysis in the rat: hormonal influence. *Am. J. physiol.* 219, 729 (1970)
- 4) Gollnick, P. D.; Chronic effect of exercise on liver cholesterol of normal and hypercholesteremic rats. *Am. J. physiol.* 205, 453 (1963)
- 5) Hadson, D. L., Lorenzen, J. A., Morris, A. E., Ahrens, R. A. and Wilson, J. E. Jr; Effect of fat intake and exercise on serum cholesterol and body composition of rats. *Am. J. physiol.* 213, 347 (1967)
- 6) 橋本 勲, 樋口 満, 山川喜久江, 鈴木慎次郎; 日常の定期的運動の血圧上昇抑制因子の研究—強制と自由運動の違いがラットの血圧に及ぼす影響. *体力科学.* 30, 206 (1981)
- 7) Hearn, G. R. and Wainio, W. W.; Succinic dehydrogenase activity of the heart and skeletal muscle of exercised rats. *Am. J. physiol.* 18, 347 (1956)
- 8) Hurter, R., Swale J., Peyman, M. A. and Barnett, C. W. H.; Some immediate and long-term effects of exercise on the plasma lipids. *Lancet.* 30, 671 (1972)

- 9) 堀 康二, 藤田修二, 菅野道広, 和田正太; 食餌タンパク質レベルと白ネズミのコレステロールエステル化. 栄養と食糧. 26, 33(1973)
- 10) 伊藤 朗, 金刺喜美子, 井川幸雄; 肥満症の作業能力向上及び高脂血症改善のための運動処方. 体育科学. 2, 248 (1974)
- 11) 伊藤 朗, 高橋徹三, 田崎洋佑, 鈴木慎次郎; 高脂血症の予防・改善のための運動処方. 運動処方研究. 173 (1982)
- 12) Jones, F. M., Menteye, H. J., Johnson, P. B., Martin, S. M. J. M., Huss, W. D. V. and Cederquist, D.; Effects of exercise and food restriction on serum cholesterol and liver lipids. *Am. J. physiol.* 207, 460 (1964)
- 13) 勝田 茂, 高橋徹三, 高松 薫, 緒方道彦, 吉野芳夫, 橋本 勲, 村松成司, 樋口 満; 成熟ラットの持久性トレーニング効果に関する性差の検討. 運動処方研究. 107 (1982)
- 14) 紅露恒男, 野田汎史, 小川新吉, 伊藤良雄, 小林太刀夫, 木村 登; 高血圧治療のための運動処方. 運動処方研究. 155 (1982)
- 15) Karpovich, P. V.; *Physiology of muscular activity.* W. B. Saunders Company. 1 (1962)
- 16) Kontinen, A., and Nikkila, E. A.; Effect of acute exercise on serum triglycerides and free fatty acids. *Proc. Symp. Phys. Activity of Heart, Helsinki.* 205 (1964)
- 17) Lewis, L. A., Page, I. H. and Brown, H. B.; Effect of exercise on serum and hepatic lipids in rats fed high fat diets. *Am. J. physiol.* 20, 4 (1961)
- 18) Lo, S., Russell, J. C. and Taylor, A. W.; Determination of glycogen in small tissue samples. *J. Appl. Physiol.* 28, 234 (1970)
- 19) 村松成司, 高橋徹三, 鈴木正敏; ラットの成長, 体成分, 遊泳持久力に及ぼす食餌タンパク質レベルおよびエネルギー供給源の影響. 筑波大学体育科学系紀要. 5, 163 (1982)
- 20) 村松成司, 高橋徹三, 鈴木正敏, 小尾裕志, 宮元章次; ラットの成長, 摂食量, 体組成, 遊泳持久力および血液性状におよぼす運動訓練法の影響. 筑波大学体育科学系紀要. 6, 217 (1983)
- 21) Papadopoulos, N. M., Bloor C. M. and Standefer, J. C.; Effects of exercise and training on plasma lipids and lipoprotein in the rat. *J. Appl. physiol.* 26, 760 (1969)
- 22) 日本人ならびに日本産業医学実験動物の解剖学および生理学計数; 解剖生理計数表刊行会 (1956)
- 23) 中館興一, 高橋ミツ子; 高脂肪・高コレステロール食餌におけるカゼイン, 食塩の含量と白ネズミの血清ならびに肝コレステロール濃度との関連について. 栄養と食糧. 4, 217 (1973)
- 24) Nikkila, E. A., Taskinem, M. R., Rehunen, S. and Harkonen, M.; Lipoprotein lipase activity in adipose tissue and skeletal muscle of runner. Relation to serum lipoprotein. *Metabolism.* 27, 1661 (1978)
- 25) Raven, D. B., Thomas, J. C. and Engene, Evonk.; Effects of exercise on plasma lactic dehydrogenase isozymes and catecholamines. *J. Appl. physiol.* 29, 374 (1972)
- 26) 尚 弘子, 山崎幾子; 白ネズミの血清コレステロールおよび血清トリグリセライドに及ぼす砂糖の影響. 栄養と食糧. 6, 462 (1972)
- 27) 鈴木正成, 小柳達男; 運動と栄養に関する研究(第2報), 長期間運動訓練のラットの臓器, 脂肪組織および脂肪組織の脂肪酸組成に及ぼす影響. 栄養と食糧. 21, 55 (1968)
- 28) 鈴木次太郎; 高血圧ラットに対する運動の効果. からだの科学. No89, 127 (1979)
- 29) 高橋徹三, 酒井正男, 村松成司; 食餌タンパク質量および運動訓練のラットの成長と遊泳持久力に及ぼす影響. 筑波大学体育科学系紀要. 2, 131 (1979)
- 30) Taylor. A. W., Thayer, R. and Rao, S.; Human skeletal muscle glycogen synthetase activity with exercise and training. *Can. J. physiol. pham.* 50, 411 (1972)
- 31) Taylor. A. W., Second, D. C., Murray, P. and Baily, G.; The effects of castration and repositol testosterone treatment on exercise-induced glycogen and free-fatty acid mobilization. *Endokrinologie.* 61, 13 (1973)
- 32) Thomas, B. M. and Miller, T. JR.; Adaptation to forced exercise in the rat. *Am. J. physiol.* 193, 350 (1958)
- 33) 宇佐美駿一; 筋労作時の蛋白代謝に関する研究(第4報). 日本生理学雑誌. 19, 468 (1957)
- 34) 山地廉平; 筋労作時の蛋白質代謝に関する研究(第2報). 日本生理学雑誌. 13, 481 (1951)
- 35) 横沢隆子, 長沢哲郎, 大浦彦吉, 中川 晔, 末原久美子; 血清総タンパク, アルブミンレベルに及ぼす摂取タンパク質の影響について. 栄養と食糧. 33, 9 (1980)
- 36) Yoshimura, H., Inoue. T., Yamada, T. and Shiraki, K.; Anemia during hard physical training (Sports anemia) and its causal mechanism with special reference to protein nutrition. *Wld. Rev. Nutri and Diet.* 35, 1 (1980)