

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

村松成司 高橋徹三 鈴木正敏*

The Effects of Dietary Protein Level and Energy Source on the Growth, Body Composition and Swimming Endurance Time in Rats

Shigeji MURAMATSU, Tetsuzo TAKAHASHI and Masatoshi SUZUKI

Abstract

The effects of dietary protein level and energy source on the growth, body composition and swimming endurance time was studied in rats. Twenty-four rats (SD strain, female) weighing about 130g were divided into two groups, low protein diet group (5% casein) and high protein diet group (40% casein). Each of the two groups was further divided into two groups, 5% soybean oil contained diet group and 17% soybean oil contained diet group. Low protein 5% oil, low protein 17% oil, high protein 5% oil and high protein 17% oil group was abbreviated to LPC (Low protein carbohydrate), LPF (low protein fat), HPC (high protein carbohydrate) and HPF (high protein fat) group, respectively. Casein content in low protein diet was increased from 5% to 9% on the 30th day of the experimental period. During 9 weeks of experimental period, all the rats were trained by swimming for 10 min. per day every two days. On the 9th week, swimming endurance time was measured five times in a week. At the first of 10th week, rats were sacrificed and liver, heart, lung, spleen, kidney, adrenals, adipose tissue and skeletal muscle were weighed. Glycogen in liver and skeletal muscle, protein in liver and skeletal muscle, crude fat and water in liver were also determined.

The results obtained were as follows:

- 1) Body weight gain was higher in high protein diet group (HPC and HPF) than in low protein diet group (LPC and LPF) throughout the experimental period. Any significant differences were not found between carbohydrate diet group (LPC and HPC) and fat diet group (LPF and HPF). The almost same results were obtained in the length of body and tail.
- 2) The weight of organs and tissue measured were heavier in high protein diet group than in low protein diet group. In the relative weight per 100g body weight, most of items measured did not have any significant differences among each diet group.
- 3) Protein content in liver was higher in high protein diet group than in low protein diet group, and in carbohydrate diet group than in fat diet group, respectively. Protein in skeletal muscle did not have any differences. Crude fat content in liver was significantly higher in fat diet group than in carbo-

*九州工業大学 (Kyushu Institute of Technology)

hydrate diet group. Notable differences were not found between low and high protein diet group. Water content in liver in high protein diet group was remarkably higher than in low protein diet group. Any significant differences were not found between carbohydrate diet group and fat diet group.

4) Glycogen content in liver was significantly higher in carbohydrate diet group than in fat diet group, and also in high protein diet group than in low protein diet group. Glycogen content in skeletal muscle was higher in high protein diet group than in low protein diet group in real contents, and higher in carbohydrate diet group than in fat diet group in relative content per 1g tissue weight.

5) Swimming endurance time was significantly longer in carbohydrate diet group than in fat diet group, respectively.

6) In correlation coefficient between swimming endurance time and all items measured, glycogen content in liver, weight, protein content and glycogen content in skeletal muscle, and heart weight were significantly correlated with swimming endurance time. Protein and glycogen content in liver in the relative content per 1g tissue weight also showed high significant correlation.

食餌タンパク質レベルのラットの遊泳持久力あるいは走持久力に及ぼす影響については、これまでタンパク質レベルの低い方が好影響があったとする報告が多い^{5,6,7)}。また、我々も先に同様な結果を観察した¹⁷⁾。この原因の1つは従来のこの種の研究において用いられている実験食ではタンパク質レベルの差は主として炭水化物で置換しており、したがって低タンパク食は一方において高炭水化物食となっていることにあると考えられる。高炭水化物食摂取は筋肉グリコーゲン濃度を高め、運動持久能力に有利であることがすでに報告されており¹³⁾。この種の実験における実験食では食餌中タンパク質レベルに加えて炭水化物および脂肪の含量についても十分に検討を加えなければならない。本実験では高タンパク食および低タンパク食に加えて炭水化物および脂肪によるエネルギー供給条件を変えてラットの発育、体成分、遊泳持久力について検討した。

実験方法

体重130g前後のSD系雌ラット(JCL)24匹を5%カゼイン食群と40%カゼイン食群の2群に分け、さらにそれぞれを大豆油5%を含む群と大豆油を17%含む群に分け、計4群(各群6匹づつ)で検討した。カゼイン、脂肪含量の差はコーンスターチで補った。以下カゼイン5%・大豆油5%群を低タンパク質・炭水化物食群(Low protein・

Carbohydrate diet group, 以下LPCと略す)、カゼイン40%・大豆油5%群を高タンパク質・炭水化物食群(High protein・Carbohydrate diet group, 以下HPCと略す)、カゼイン5%・大豆油17%群を低タンパク質・脂肪食群(Low protein・Fat diet group, 以下LPFと略す)、カゼイン40%・大豆油17%群を高タンパク質・脂肪食群(High protein・Fat diet group, 以下HPFと略す)と称することにする。なお、5%カゼイン食群は第1週目に体重が減少し、第2週目よりやや回復傾向を示したが遊泳運動訓練が困難と考え、30日目以後カゼイン含量を5%から9%に増加させた。各群は6匹ずつであるが遺伝的因子による影響を軽減するために6腹の同腹ラットを用い、各群に割り当てた。Pair-feedingにより各群の摂食量はほぼ同じになるようにし、水は自由に与えた。飼料は水を加えて適当な固さに練り、毎日午後8時に与えた。各実験食の組成を表1に示した。

ラットは実験食飼育開始後1日おきに7週間にわたり1日10分間の遊泳運動訓練をさせた。運動訓練は午後7時より午後8時の時間帯に行った。運動訓練ラットが安静ラットよりも持久的能力が優れていることはすでに観察している¹⁷⁾ので本実験では安静群は特別に設けなかった。実験食飼育第8週目より1日おきに計5回の遊泳持続時間を測定した。オールアウトの判定は先の我々の報告

Table 1 Composition of experimental diet

Ingredient	Group ^{a)}			
	LPC	HPC	LPF	HPF
Casein	5 (9)*	40	5 (9)	40
Cornstarch	83 (79)	48	56 (52)	21
Soybean oil	5	5	17	17
Mineral mixture ^{b)}	5	5	5	5
Vitamin mixture ^{c)}	1	1	1	1
Cellulose	1	1	1	1
Total (g)	100	100	85	85
Total energy (kcal)	400	400	400	400

- a) LPC (Low protein-carbohydrate diet group)
HPC (High protein-carbohydrate diet group)
LPF (Low protein-fat diet group)
HPF (High protein-fat diet group)
 - b) Jones Foster's mineral mixture.
 - c) (in 100g) Vitamin A-acetate 50000IU, Vitamin D₃ 10000IU, Vitamin B₁-HCl 120mg, Vitamin B₂ 400 mg, Vitamin B₆-HCl 80mg, Vitamin B₁₂ 0.05mg, Vitamin C 3000mg, Vitamin E-acetate 500mg, Vitamin K₃ 520mg, D-Biotin 2mg, Folic acid 20mg, Ca-Pantothenate 500mg, p-Aminobenzoic acid 500 mg, Nicotinic acid 600mg, Inositol 600mg, Choline chloride 20000mg, Cellulose powder others.
- * Protein content in low protein diet was increased to 9% and constarch was decreased by 4% on the 30th day of the experiment.

に従った¹⁷⁾。遊泳運動時の水温の影響についてはすでに多くの報告^{9, 11, 16)}があるが、今回は比較的短時間で運動訓練を行わせるなどの理由で比較的低温である22~23℃を採用した。ラットの遊泳運動時に身体の大きさの影響を補正するため体重に見合う分銅を取りつけ負荷を与えることが行われており⁹⁾、我々も先の実験¹⁷⁾ではこの方法を用いたがその後の検討の結果これはむしろ体重の軽い方が有利であることも考えられるので今回はこのような負荷は行わなかった。

実験動物は遊泳持久力測定後さらに4日間実験食で飼育した後断頭屠殺し、すみやかに解剖して肝臓、心臓、脾臓、腎臓、副腎および腓腹筋をとり重量を測定した。また貯蔵脂肪の動向を検討するためにその指標として腎周囲脂肪組織の重量を測定した。肝臓と腓腹筋についてはさらにグリコーゲン、窒素含量を測定した。肝臓は水分、脂肪含量をも測定した。組織グリコーゲン含量測定にはLoらによるフェノール・硫酸法¹⁰⁾を、窒素定

量にはセミマイクロケルダール法を、粗脂肪定量にはソックスレー法を、水分定量には凍結乾燥法をそれぞれ用いた。なお、解剖は午前9時より午前11時までの時間帯に毎日8匹づつ(各群2匹づつ)を3日間にかけて行った。

実験期間中ラットは室温22~24℃、湿度50~60%に空調された実験動物飼育室にて飼育した。

実験結果

実験食飼育期間中の体重の変動を図1に示した。低タンパク食群であるLPC群とLPF群では共に徐々に減少傾向を示し、第2週日よりやや回復傾向を示したが、遊泳運動訓練は困難と考え両群ともに30日目よりカゼイン量を9%に増加させた。その分コーンスターチを4%減少させた。その後体重増加は順調に上昇傾向を示した。LPC群とLPF群の両群の間には全実験期間を通じてほとんど差がみられなかった。高タンパク食群であるHPC群とHPF群では共に著しい体重増加を示した。この両群間ではHPC群の方が増加が大である傾向がみられたが有意な差は認められなかった。

解剖時の各群の最終体重、体長および尾長を表2に示した。最終体重、体長および尾長はいずれも高タンパク食群の方が低タンパク食群より優れていた。実験動物群4群をそれぞれ炭水化物食群(LPC群とHPC群)、脂肪食群(LPFP群とHPFP群)、低タンパク食群(LPC群とLPF群)および高タンパク食群(HPC群とHPF群)の4群に分類して比較してみると(表2)、いずれの3つの項目ともに食餌タンパク質レベルのちがいによる影響ではいずれも0.1%の危険率をもって高タンパク食群が優れていたが、炭水化物と脂肪とのちがいによる影響では有意な差はみられなかった。

各臓器および組織の実質重量および最終体重100gあたりの相対重量を表3に示した。実質重量ではいずれの臓器および組織ともに高タンパク群が有意に重かった。炭水化物食群と脂肪食群との間にはいずれの項目においても有意な差は認められなかった。相対重量においては肝臓で高タンパク食群と低タンパク食群の間に0.1%の危険率をもって、また脂肪組織で高タンパク食群と低タ

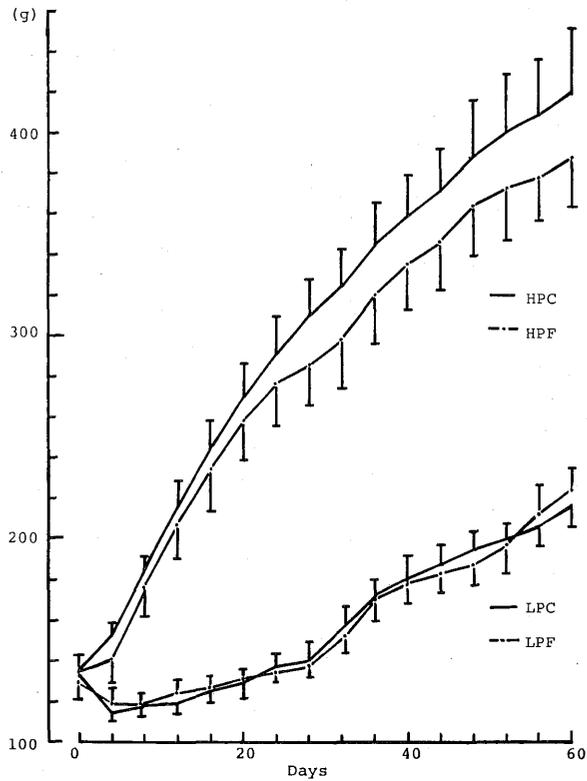


Fig. 1 Changes in body weight of rats fed experimental diets.
 LPC: Low protein-carbohydrate diet group.
 HPC: High protein-carbohydrate diet group.
 LPF: Low protein-fat diet group.
 HPF: High protein-fat diet group.

Table 2 Final body weight and length of body and tail of rats

Group	Final BW (g)	Length (cm)	
		Body	Tail
LPC	212.5 ± 15.8 ^{a)}	37.0 ± 1.55	16.7 ± 0.98
HPC	401.3 ± 37.8	44.0 ± 0.63	19.3 ± 0.52
LPF	220.8 ± 16.4	37.3 ± 1.51	16.5 ± 1.05
HPF	369.7 ± 32.8	42.3 ± 1.33	18.5 ± 1.05
Carbohydrate (LPC + HPC)	306.9 ± 102.4 } NS	40.5 ± 3.83 } NS	18.0 ± 1.58 } NS
Fat (LPF + HPF)	295.3 ± 81.6 }	39.8 ± 2.90 }	17.5 ± 1.45 }
Low protein (LPC + LPF)	216.7 ± 16.0 } ***	37.2 ± 1.47 } ***	16.6 ± 0.97 } ***
High protein (HPC + HPF)	385.5 ± 37.6 }	43.1 ± 1.35 }	18.9 ± 0.90 }

a) Mean ± SD.

*** p < 0.001

NS; No significance

Table 3 Weight of organs and tissues of rats.

(g or mg)	Liver (g)	Heart (g)	Kidney (g)	Spleen (g)	Adrenals (mg)	Adipose T. (g)	Skeletal M. (g)
LPC	7.69 ± 2.14	0.68 ± 0.08	1.41 ± 0.08	0.37 ± 0.06	27.33 ± 7.15	3.30 ± 0.83	1.58 ± 0.12
HPC	10.43 ± 0.89	1.19 ± 0.07	2.66 ± 0.13	0.68 ± 0.11	52.17 ± 6.27	8.93 ± 2.86	2.67 ± 0.14
LPF	9.25 ± 2.13	0.68 ± 0.09	1.52 ± 0.13	0.37 ± 0.04	32.00 ± 7.07	3.76 ± 0.51	1.51 ± 0.17
HPF	10.63 ± 1.08	1.09 ± 0.13	2.40 ± 0.30	0.70 ± 0.10	43.17 ± 10.96	7.87 ± 1.81	2.59 ± 0.27
Carbohydrate [#]	9.06 ± 2.12	0.93 ± 0.28	2.04 ± 0.66	0.52 ± 0.18	39.75 ± 14.48	6.12 ± 3.56	2.12 ± 0.58
Fat	9.94 ± 1.77	0.89 ± 0.24	1.96 ± 0.51	0.54 ± 0.19	37.58 ± 10.55	5.81 ± 2.50	2.05 ± 0.60
Low protein	8.47 ± 2.19	0.68 ± 0.08	1.47 ± 0.12	0.37 ± 0.05	29.67 ± 7.20	3.53 ± 0.70	1.55 ± 0.14
High protein	10.53 ± 0.95	1.14 ± 0.11	2.53 ± 0.26	0.69 ± 0.10	47.67 ± 9.73	8.40 ± 2.35	2.63 ± 0.21
(g or mg per 100g of body weight)							
LPC	3.59 ± 0.84	0.32 ± 0.05	0.67 ± 0.06	0.18 ± 0.04	12.83 ± 3.66	1.54 ± 0.29	0.74 ± 0.04
HPC	2.60 ± 0.09	0.30 ± 0.03	0.67 ± 0.04	0.17 ± 0.03	13.00 ± 2.19	2.20 ± 0.62	0.67 ± 0.05
LPF	4.15 ± 0.68	0.31 ± 0.02	0.69 ± 0.03	0.17 ± 0.02	14.33 ± 3.56	1.70 ± 0.19	0.69 ± 0.07
HPF	2.87 ± 0.14	0.30 ± 0.03	0.65 ± 0.04	0.19 ± 0.01	11.67 ± 2.34	2.13 ± 0.49	0.70 ± 0.05
Carbohydrate [#]	3.10 ± 0.77	0.31 ± 0.04	0.67 ± 0.05	0.17 ± 0.03	12.92 ± 2.87	1.87 ± 0.58	0.71 ± 0.06
Fat	3.51 ± 0.82	0.30 ± 0.02	0.67 ± 0.04	0.18 ± 0.02	13.00 ± 3.19	1.92 ± 0.42	0.69 ± 0.06
Low protein	3.87 ± 0.79	0.31 ± 0.03	0.68 ± 0.04	0.17 ± 0.03	13.58 ± 3.53	1.62 ± 0.25	0.72 ± 0.06
High protein	2.74 ± 0.18	0.30 ± 0.02	0.66 ± 0.04	0.18 ± 0.02	12.33 ± 2.27	2.17 ± 0.54	0.68 ± 0.05

Mean ± SD *** p < 0.001 and ** p < 0.01 (Significance between low protein diet group and high protein diet group. Any significant difference was not found between carbohydrate diet group and fat diet group.)

#: Carbohydrate (LPC + HPC), Fat (LPF + HPF), Low protein (LPC + LPF), High protein (HPC + HPF)

ソパク食群の間に1%の危険率をもって有意差を認めた以外はいずれの項目においても炭水化物と脂肪とのちがいあるいはタンパク質レベルのちがいによるどのような影響をも認めなかった。

肝臓中タンパク質、脂肪、水分および腓腹筋中のタンパク質含量を表4に示した。肝臓タンパク質含量はHPC群が最も高く、LPF群が最も低かった。先の分類法で比較してみると肝臓タンパク質含量は炭水化物と脂肪のちがいによる影響よりも食餌タンパク質レベルのちがいによる影響の方がより大きかった。一方、腓腹筋タンパク質含量はいずれの比較においても有意な差は認められなかった。肝臓脂肪含量はLPF群が最も高く、炭水化物食群であるLPC群とHPC群がいずれも低いレベルにあった。分類して比較してみると食餌タンパク質レベルのちがいによる影響では有意差は認められず、炭水化物と脂肪のちがいによる影響により有意な差がもたらされた。肝臓水分含量はLPC群とHPC群との間に、またLPF群とHPF群との間に有意差が認められており、分類

した場合にも高タンパク食群と低タンパク食群との間に有意差がみられた。

肝臓および腓腹筋中のグリコーゲン含量を表5に示した。肝臓および腓腹筋ともに低タンパク食群よりも高タンパク食群に高く、腓腹筋中の相対含量を除き有意差が認められた。炭水化物食群の方が脂肪食群より高い傾向がみられたが有意差はなかった。

遊泳持久力テストの結果を表6に示した。LPC群とHPC群、またLPF群とHPF群を比較した場合、いずれも高タンパク食群であるHPC群、HPF群がより長く泳ぐことが観察された。LPC群とLPF群ではLPC群が有意に長く、HPC群とHPF群では有意な差はみられなかった。分類して比較すると脂肪食群よりも炭水化物食群が、また低タンパク食群よりも高タンパク食群が有意に長く泳ぐことが示された。

本実験の各測定項目とラットの遊泳持続時間との相関を表7に示した。実質重量では肝臓グリコーゲン含量、腓腹筋における各測定項目、心臓重

Table 4 Protein, fat and water contents in liver and skeletal muscle of rats (%).

Group	Protein		Fat (Liver)	Water (Liver)
	(Liver)	(Muscle)		
LPC	20.8 ± 4.79	22.7 ± 1.17	17.2 ± 6.21	44.5 ± 5.18
HPC	28.6 ± 2.36	22.6 ± 1.09	18.5 ± 5.39	57.7 ± 2.60
LPF	18.8 ± 3.73	21.8 ± 1.83	44.0 ± 8.41	44.5 ± 5.66
HPF	23.7 ± 1.54	21.8 ± 1.94	34.7 ± 5.40	53.7 ± 2.89
Carbohydrate	24.7 ± 5.44	22.6 ± 1.08	17.9 ± 5.59	51.1 ± 7.90
Fat	21.3 ± 3.73	21.8 ± 1.80	39.3 ± 8.31	49.1 ± 6.43
Low protein	19.8 ± 4.22	22.2 ± 1.52	30.6 ± 1.57	44.5 ± 5.17
High Protein	26.2 ± 3.18	22.2 ± 1.56	26.6 ± 9.89	55.7 ± 3.35
Significance (p <)				
LPC vs HPC	0.01	NS	NS	0.001
LPF vs HPF	0.05	NS	0.05	0.01
LPC vs LPF	NS	NS	0.001	NS
HPC vs HPF	0.01	NS	0.001	NS
C vs HPF	0.05	NS	0.001	NS
H vs F	0.001	NS	NS	0.001

C; Carbohydrate (LPC + HPC), F; Fat (LPF + HPF), L; Low Protein (LPC + LPF)
H; High protein (HPC + HPF), NS; Not significant.

Table 5 Glycogen content in liver and skeletal muscle.

Group	mg		mg / 1g wet wt.	
	Liver	Muscle	Liver	S. Muscle
LPC	98.5 ± 10.5 ^{b)}	22.3 ± 1.64	12.2 ± 1.84	14.1 ± 2.41
HPC	219.8 ± 22.9	40.7 ± 4.86	20.8 ± 1.46	15.1 ± 1.25
LPF	84.7 ± 5.7	18.8 ± 0.67	10.0 ± 1.33	13.2 ± 1.62
HPF	191.8 ± 11.4	35.2 ± 4.30	17.3 ± 0.68	13.8 ± 3.70
Carbohydrate	159.2 ± 66.1	31.5 ± 10.3	16.5 ± 4.77	14.6 ± 1.01
Fat	138.3 ± 57.1	27.0 ± 9.08	13.7 ± 3.97	13.5 ± 1.14
Low protein	91.6 ± 10.8	20.6 ± 2.16	11.1 ± 1.91	13.6 ± 1.18
High protein	205.8 ± 22.6	37.9 ± 5.21	19.0 ± 2.11	14.4 ± 1.11
Significance (p <)				
LPC vs HPC	0.001	0.001	0.001	NS
LPF vs HPF	0.001	0.001	0.001	NS
LPC vs LPF	0.05	0.001	0.05	NS
HPC vs HPF	0.05	NS	0.001	0.05
C vs F	NS	NS	NS	0.05
L vs H	0.001	0.001	0.001	NS

Mean ± SD

C; Carbohydrate (LPC + HPC), F; Fat (LPF + HPF), L; Low protein (LPC + LPF)
H; High protein (HPC + HPF)

Table 6 Swimming endurance time of rats

Group	Time (sec) ^{a)}		
LPC	1459 ± 209	*** NS	
HPC	1635 ± 306]*
LPF	1090 ± 155]***
HPF	1497 ± 232		
Carbohydrate ^{b)}	1547 ± 274]***	
Fat	1294 ± 283]***	
Low protein	1275 ± 261		
High protein	1566 ± 277		

a) Swimming endurance test was carried out five times. Values represent mean ± SD of all measured for five times in each group of rats.

b) Carbohydrate (LPC + HPC), Fat (LPF + HPF) Low protein (LPC + LPF), High protein (HPC + HPF). * p < 0.05 *** p < 0.001

Table 7 Correlation coefficient between swimming endurance time and some other items measured of rats.

	(A)	(B)
Body weight	0.609	
Liver		
Weight	0.179	-0.571
Protein	0.160	0.650***
Lipid	-0.110	-0.700
Glycogen	0.710***	0.780***
Skeletal muscle		
Weight	0.650***	0.420
Protein	0.650***	-0.001
Glycogen	0.690***	0.400*
Heart	0.780***	0.300
Kidney	0.431	-0.118
Spleen	0.556**	0.181
Adipose tissue	0.420*	0.420*
Adrenals	0.403*	-0.113

(A); Actual weight or content.

(B); Relative weight or content.

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

量などに有意な高い相関が得られた。また相対重量では肝臓タンパク含量, グリコーゲン含量に高い有意な相関が得られた。

考 察

ラットの体重増加, 体長, 尾長に対して高タンパク栄養がすぐれていることはこれまでの多くの報告において認められている^{14, 15, 18)}。実験食飼育

初期に低タンパク食群ラットに体重減少がみられたが, これはこれらラットが実験食に慣れていないこと, および5%カゼイン食ではラットの体重を維持することが困難であることが原因として考えられる。本実験において高タンパク食群ラットが低タンパク食群ラットよりも終始発育がよかったことは従来の報告と一致する。炭水化物と脂肪の割合の相違による影響はラットの発育に対して著明ではなかった。体重に対して長さの発育の指標として測定した体長, 尾長ともに高タンパク食群と低タンパク食群に分類した時に有意な差を認めており, 長さの発育においても食餌タンパクレベルの影響が大であることが確認された。

臓器および組織重量は実質重量で明らかに高タンパク食群で重いことが示されたが, 体重100gあたりの相対重量にするとほとんどの項目において有意な差がみられなくなった。このことは臓器および組織重量は成長に比例して増加していることを示唆しており, 体重とこれら臓器重量とは非常に高い相関があるとした原田らの報告⁸⁾と一致するところである。

肝臓タンパク含量は高タンパク食群が低タンパク食群よりも有意に高かったことは多くの研究結果からみて当然のことと思われる。炭水化物食群が脂肪食群よりも有意に高い肝臓タンパク含量を示したが, このことは肝臓脂肪含量の結果と併せて検討しなければならない。すなわち, 脂肪食群はLPF群, HPF群ともかなり高い肝臓脂肪含量を示しており, このことが肝臓タンパク含量における炭水化物食群と脂肪食群との間の差をもたらした原因であると考えられる。腓腹筋中タンパク含量はいずれの群間にも有意差は認められず, 肝臓に比べ食餌タンパク含量のちがいによる影響を受けにくいと考えられる。肝臓中水分含量はLPC群とHPC群, あるいはLPF群とHPF群とで比較した場合, ともに高タンパク食群であるHPF群が有意に高いことが示された。炭水化物食群(LPC群, HPC群)と脂肪食群(LPFF群, HPF群)とで比較した場合どのような有意差もみられず, このことは食餌タンパクレベルのちがいが肝臓水分含量に大きく影響をもたらすことを示唆していると考えられる。

運動訓練^{2,4,12)}および高炭水化物食³⁾により肝臓および骨格筋中グリコーゲン含量が増加することはよく知られており、本実験で高タンパク食群、低タンパク食群ともに炭水化物食群であるHPC群がHPF群よりも、またLPC群がLPF群よりも高かったことは理解できる。しかし高タンパク食群の方が低タンパク食群よりも高い結果が得られた原因については不明である。

遊泳持続時間はHPC群>LPC群、HPF群>LPF群、LPC群>LPF群とそれぞれ長くなっており、HPC群とHPF群とでは有意な差はなかった。これらのことは炭水化物食群が脂肪食群よりも、また高タンパク食群が低タンパク食群よりも遊泳持久運動において有利であることを示している。従来の研究^{5,6,17)}では高タンパク食よりもむしろ低タンパク食の方が有利であるという報告も多く、本実験の結果は一致しなかった。また遊泳持久力測定時の体重と遊泳持続時間とはかなり高い相関を得た。これらのことは低タンパク食餌取ラットの体重が軽いことがラットの持久運動に有利であるというFuge⁶⁾およびCrewsら⁵⁾の報告と一致しない。その原因の一つとして本実験で遊泳持続時間測定時に体重に見合う分銅を負荷しなかったことが影響したと考えられる。また脂肪組織重量と遊泳持続時間とは正の相関を示した。本実験では遊泳持続時間測定時に水温を22~23℃と低くしていることから、体温低下による運動能力減少に対して体脂肪の多い群がかなり有利になっていることが考えられる。肝臓および腓腹筋グリコーゲン含量はともに遊泳持続時間と非常に高い相関を得た。このことは炭水化物食群の肝臓および骨格筋グリコーゲン含量が高いことから、ラットの遊泳持久力に対して炭水化物食が有利であるとしているAhbergらの報告¹⁾を支持するものである。また本実験では高タンパク食群に肝臓および腓腹筋グリコーゲン含量、および脂肪組織重量が高いことが観察され、このことが高タンパク食群の方が遊泳持続時間が長かった原因と考えられる。

要 約

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について検討した。SD系雌シロネズミ(体重約130g)を低タンパク食(5%カゼイン)群と高タンパク食(40%カゼイン)群の2群に分け、さらにそれらを大豆油5%を含む群と大豆油17%を含む群に分けた。以下低タンパク質・5%大豆油群、低タンパク質・17%大豆油群、高タンパク質・5%大豆油群および高タンパク質・17%大豆油群をそれぞれLPC群、LPF群、HPC群およびHPF群とした。なお、低タンパク食群においては30日目よりカゼイン含量を9%に増加し、コーンスターチをその分減らした。実験食飼育期間は9週間とし、1日おきに1日10分間の遊泳運動を行わせた。第9週目に全群のラットの遊泳持続時間を測定した。第10週目にラットを漸次解剖し各組織重量、肝臓および腓腹筋のグリコーゲン含量、肝臓タンパク質、脂肪、水分含量および腓腹筋タンパク質含量を測定した。結果は以下のとおりである。

1) 実験食飼育期間を通して高タンパク食群が低タンパク食群よりも発育はよかったが、炭水化物と脂肪による有意な影響はみられなかった。

2) 臓器重量は高タンパク食群が低タンパク食群よりも重かった。体重100gあたりの相対重量では差のみられない項目が多く、臓器は体重に比例して重くなっていることが示された。

3) 肝臓タンパク質含量は高タンパク食群が低タンパク食群よりも、また炭水化物食群が脂肪食群よりも有意に高かった。腓腹筋タンパク含量にはほとんど差がみられなかった。肝臓脂肪含量は脂肪食群が炭水化物食群よりも有意に高く、食餌タンパク質レベルによる影響は顕著でなかった。肝臓水分含量は高タンパク食群が低タンパク食群よりも有意に高く、炭水化物食群と脂肪食群の間には有意な差はみられなかった。

4) 肝臓グリコーゲン含量は脂肪食群よりも炭水化物食群に、低タンパク食群よりも高タンパク食群に高かった。腓腹筋グリコーゲン含量は実質では高タンパク食群が低タンパク食群よりも高く腓腹筋1gあたりの相対含量では脂肪食群よりも炭水化物食群の方が高かった。

5) 遊泳持久力では脂肪食群よりも炭水化物食

群が、また低タンパク食群よりも高タンパク食群の方が有意に長かった。

6) 各測定項目と遊泳持続時間との相関では、肝臓グリコーゲン含量、骨格筋各測定項目にかなり高い有意な相関を得た。相対含量では肝臓タンパク含量、グリコーゲン含量に高い有意な相関を得た。

なお、本研究は科学研究費補助金（研究者代表者 高橋徹三）を受けた。

参 考 文 献

- 1) Ahlberg, B., Bergstrom, J., Ekelund, L-G. and Hultman, E. : Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolong physical exercise. *Acta. Physiol. Scand.* **70**, 129-142 (1967)
- 2) Bergstrom, J. and Hultman, E. : Muscle glycogen synthesis after exercise; an enhancing factor localised in the muscle in man. *Nature*, **210**, 309-310 (1966)
- 3) Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E. and Saltin, B. : Diet, Muscle glycogen and physical performance. *Acta. Physiol. Scand.* **71**, 140-150 (1967)
- 4) Bergstrom, S., Falhén, A., Hjalmarsson, and Johnson, R. : Activities of rats muscle enzymes after acute exercise. *Acta. Physiol. Scand.* **90**, 544-554 (1974)
- 5) Crews III, E. L., Fuge, K. W., Oscari, L. B., Holloszy, J. B. and Shank, R. E. : Weight, food intake and body composition; effects of exercise and of protein deficiency. *Am. J. Physiol.*, **216** (2), 359-363 (1969)
- 6) Fuge, K. W., Crews III, E. L., Pattengale, P. K., Holloszy, J. L. and Shank, R. E. : Effects of protein deficiency on certain adaptive responses to exercise. *Am. J. Physiol.*, **215**(3), 660-663 (1968)
- 7) 合志慶一：筋労作持続時間を指標して観たタンパク質必要量について、*栄養と食糧*, **13** (6), 63-67 (1961)。
- 8) 原田邦彦, 岩垣丞恒, 酒井良介, 佐藤恒久, 中野昭一, 酒井敏夫：運動能と栄養条件(1) 食餌組成を変えた場合の中間代謝。 *体力科学*, **22**, 132-140 (1973)。
- 9) 細谷憲政, 印南敏, 五島孤郎(編)：小動物を用いる栄養実験, 第1 出版株式会社 (1980)。
- 10) Lo, S., Russell, J. C. and Taylor, A. W. : Determination of glycogen in small tissue samples. *J. Appl. Physiol.*, **28**(2), 234-236 (1970)
- 11) 村上哲男, 飯塚義富, 上田茂登子：第29回, 第30回日本栄養食糧学会総会(京都, 仙台)講演要旨集(1975, 1976)。
- 12) Procter, H. A., and Best, C. H. : Changes in muscle glycogen accompanying physical training. *Am. J. Physiol.*, **100**, 506-510 (1932)
- 13) Saltin, B. and Hermansen, L. : Glycogen stores and prolonged severe exercise in : Gunnar Blix, *Nutrition and Physical activity.* Almquist & Wiksells, Stockholm/Sweden. 32-46 (1967)
- 14) Slonaker, J. R. : The effect of different percents of protein in the diet. I, Growth. *Am. J. Physiol.*, **96**, 547-557 (1931)
- 15) Stevenson, J. A. F., Box, B. M., Feleki, V. and Beaton, J. R. : Bouts of exercise and food intake in the rats. *J. Appl. Physiol.* **21**(1), 118-122 (1966)
- 16) 杉浦躍子, 池田義雄, 溝部碩子：ラットの遊泳実験に関する2・3の検討, *体力科学*. **11** (4), 188-191 (1963)。
- 17) 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*第2巻, 131-138 (1979)。
- 18) 高橋徹三, 中川一郎, 小林克己, 大木フサ：食餌タンパク質量の成長, 寿命におよぼす影響, (1) 食餌タンパク質量のラットの成長におよぼす影響 *栄養と食糧*, **19** (2), 76-80 (1966)。