

# 식이제한이 성장중인 쥐의 성장 및 에너지 대사에 미치는 영향

양 양 한

제주대학교 자연과학대학 식품영양학과

## Influence of Food Restriction on Subsequent Body Weight Gain and Energy Metabolism in Growing Rats

Yang-Han Yang

Department of Food Science & Nutrition, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

### ABSTRACT

Influence of food restriction on subsequent body weight gain and energy metabolism in growing rats have been investigated. Rats were fed with high energy level ( $45\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) and low energy level ( $34\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) respectively. The proteins of diets were 11.33% and 15.0%, respectively. The daily feed intakes of control group (Ob), a group restricted protein and energy (Ib) and a group restricted energy (IIb) in the compensatory phase were 9.52g, 10.54g and 10.09g, and the daily weight gains were 3.36g, 4.44g, and 4.26g, respectively. The moisture depositions of Ob, Ib and IIb were 2339mg, 2772mg and 2530mg, and the deposition of crude ash were 99mg, 111mg and 113mg, and those of crude fat were 338mg, 787mg and 805mg, and those of crude protein were 843mg, 845mg and 593mg, respectively. The daily ME intake of the three groups per metabolic body weight were 764kJ, 761kJ and 762kJ, and energy depositions of crude fat were 63.7kJ, 133.5kJ and 141.8kJ, and those of crude protein were 95.5kJ, 86.0kJ and 62.7kJ, and

the daily heat productions were 604.8kJ, 541.5kJ and 577.5kJ, respectively.

**Key Words** : Rat, food restriction, body composition, heat production

## 1. 서 론

제한급이란 일정기간 식이를 제한하여 급여함을 말한다. 제한급이후 식이를 비제한하여 급여시는 같은 체중범위에서 대조군에 비해 식이섭취량이 증가하며, 따라서 1일 증체량이 높고, 식이요구율은 현저히 감소한다(Fried et al., 1983; Hill et al., 1984; Harris et al., 1984). 이 현상을 보상성장이라 하는 데 아직 그 원인은 명확히 규명되고 있지 않다. Harris 등(1984)과 Szepesi 등(1976)은 식이섭취량의 증가가 그 원인임을 지적하였으나, 비제한기간중 대조군과 동량의 식이를 섭취하였을 때도 이 현상이 나타난다고 보고하고 있다(Fried et al., 1983; Boyle et al., 1978). 그리고 사람에게도 식이제한으로 감소된 체중을 쉽게 회복하였다고 하였다(Sohar et al., 1973; MacCuish et al., 1968). 보상성장기간에 체단백질이 증가했다는 보고가 있는 반면(Waterlow, 1961; Jackson, 1984), 많은 인체 실험 및 동물실험에서 체단백질보다는 체지방이 증가하였다고 한다. 그리고 MacLean과 Graham (1980)의 연구에서도 영양결핍후 회복단계에서 체중증가는 체성분중에서도 체지방의 증가에 기인하며 무지방기준으로는 회복군과 대조군간에 차이가 없었다고 한다. 본 실험에서는 단백질과 에너지 또는 에너지만을 쥐에게 제한하여 급여했을 때, 보상성장기에 증체량 및 체조성이 대조군과 어떤 차이를 보이는지 직접 실험해 보고자 했다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험 계획

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 60 마리를 사육실에서 6일 동안 표준식이수준( $45\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ )으로 급이하여 적응기를 둔 후, 48 마리를 선발하여 8 마리씩 6개군으로 나누었다. Oa군은 실험시작 전에 체성분 분석을 위해 도살하였고, 나머지 군은 대사케이지에 한 마리씩 완전임의배치하였다. 군편성시 각 군의 실험 동물

의 체중은 평균과 표준편차를 비슷하게 조정하여 배치하였다.

Table 1. Experimental design

Group	Oa	Ob	Ia	Ib	IIa	IIa
Protein level <sup>1)</sup>	-	Low	Low	Low/ Low	High	High/ Low
Energy level <sup>2)</sup>	-	High	Low	Low/ High	Low	Low/ High
Feeding period (d)	0	10	10	10/10	10	10/10
Number of rats (n)	0	8	8	8	8	8

<sup>1)</sup>High protein level(15.00% CP)

Low protein level(11.33% CP)

<sup>2)</sup>High energy level(  $45\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  )

Low energy level(  $34\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  )

실험계획은 Table 1과 같다. 고단백질수준은 15%, 저단백질수준은 11.33% 조단백질을 포함하고 있다(Table 2).

그리고 고에너지수준은 대사체중당 1일 45g의 고행물식이( $45\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ )를 저에너지수준은 ( $34\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 대사체중당 1일 34g의 고행물식이를 각각 급여하였다. 실험이 끝난 군은 희생하여 체성분분석에 이용하였다.

## 2.2 실험동물의 사육

실험동물은 Plexiglass로 된 대사케이지에 한 마리씩 사육하였으며, 체중은 2일마다 오전 8:00시에 동물저울을 이용해 측정하였다.

2일마다 측정된 체중을 기준으로 고에너지수준은 대사체중당 1일 45g의 식이를 저에너지수준에서는 34g의 식이를 고행물기준으로 계산하여 급여하였다. 아침 8:00시에 식이통을 제거하여 섭취량을 측정하였고, 식이는 오후 3:00시에 급여하였다.

실험이 진행되는 동안의 사육실온도는  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 로, 상대습도는 50~70%로 유지하였고, 물은 임의로 섭취할 수 있도록 하였다.

명암주기는 12 시간간격(점등시간 06:00~18:00, 소등시간 18:00~06:00)으로 조절하였다.

실험이 끝난 쥐는 장내용물을 최소화하기 위해 식이 섭취후 약 16시간 경과후 오후 2시에 chloroform으로 희생시켰다.

Table 2. Composition of experimental diets (g/kg)

Ingredient	Protein level	
	Low	High
Casein	116.3	151.7
DL-Methionine	6	8
Corn starch	640.7	603.3
Sucrose	100	100
Cellulose	40	40
Corn oil	50	50
Vitamin mix. <sup>1)</sup>	10	10
Mineral mix. <sup>2)</sup>	35	35
Choline chloride	2	2

<sup>1)</sup> AIN vitamin mixture(mg/kg mixture) : Thiamine · HCl 600, Riboflavin 600, Pyridoxine · HCl 700, Nicotinic acid(Nicotinamide is equivalent) 3,000, D-Calcium pantothenate 1,600, Folic acid 200, D-Biotin 20, Cyanocobalamine(Vitamin B<sub>12</sub>) 1, Retinyl palmitate or acetate(Vitamin A) as stabilize powder to provide 400,000IU vitamin A activity or 120,000 retinol equivalents, Tocopheryl acetate(Vitamin E) as stabilized powder to provide 5,000IU vitamin E activity, Cholecalciferol(100,000IU, may be in powder form) 2.5, Menaquinone(Vitamin K, Menadione) 5, Sucrose finely powdered, to make 1,000

<sup>2)</sup> AIN mineral mixture(g/kg mixture) : Calcium phosphate, dibasic(CaHPO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) 500, Sodium chloride(NaCl) 74, Potassium sulfate(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 220, Magnesium oxide(MgO) 52, Manganous carbonate (43-48% Mn) 24, Ferric citrate(16-17% Fe) 3.5, Zinc carbonate(70% ZnO) 6, Cupric carbonate(53-55% Cu) 1.6, Potassium iodate(KIO<sub>3</sub>) 0.3, Sodium selenite (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O) 0.01, Chromium potassium sulfate [CrK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12H<sub>2</sub>O] 0.55, Sucrose finely powdered, to make 1,000

## 2.3 시료준비

실험이 끝난 후 -18 °C에 냉동보관한 쥐를 1L의 밀폐 용기에 넣어서 Autoclave에서 121 °C, 1 bar로 3시간 처리한 후 상온에서 식힌 다음 균질기로 잘게 분쇄하였다. 분

쇄한 시료에서 10~15g씩 2개 시료를 취하여 고형물함량을 측정하였다. 그리고 냉동건조할 때까지 나머지 시료를 -18℃의 냉동실에서 보관하였다. 냉동건조한 시료를 다시 곱게 분쇄기로 분쇄하여 체성분분석하였다.

2.4 시료의 화학적 성분분석

일반시료의 고형물함량은 3g~4g의 시료를 105℃로 고정된 drying oven에서 항량이 될 때까지 수분을 증발시킨 후 잔류물의 백분율로 구하였다. 균질기에서 분쇄한 쥐시료는 10g~15g를 취하여 48~72 시간동안 건조시켜 고형물함량을 측정하였다. 식이 및 시료의 조단백질, 조회분, 조지방 함량은 AOAC 방법에 따라서 측정하였다. 조단백질함량은 Kjeldahl 방법에 의해 N 함량을 구한 후 6.25를 곱하여 계산하였다.

2.5 통계 분석

각 군간의 유의성은 유의수준 p<0.05에서 분산분석한 후, 각 군의 평균치간의 유의성 검정을 Scheffe'-test로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

Table 3에 나타낸 결과와 같이 군편성후 평균체중은 112.97g으로서 각 군간에 유사하게 편성되었다. 그리고 실험종료시 Oa군, Ia군, IIa군의 체중은 각각 122.96g, 123.97g 및 119.75g이었고, Ob군, Ib군 및 IIb군의 종료시 체중은 각각 149.06g, 170.71g 및 161.21g이었다.

Table 3. The change of body weight during experimental period<sup>1)</sup>

Group		Oa	Ob	Ia	Ib	IIa	IIb
Initial body weight	Mean	112.96	112.99	113.04	112.80	113.06	112.95
	SD	4.29	4.25	4.12	3.79	3.74	3.90
Final body weight	Mean	122.96 <sup>a</sup>	149.06 <sup>b</sup>	123.97 <sup>a</sup>	170.71 <sup>c</sup>	119.75 <sup>a</sup>	161.21 <sup>c</sup>
	SD	4.29	5.92	5.59	8.47	4.82	1.47
Cacass weight	Mean	109.83	146.55	124.89	166.24	116.49	156.90
	SD	4.20	5.64	9.00	8.33	4.62	1.47

<sup>1)</sup> Values with different alphabet within a row were significant different at p<0.05

실험종료체중은 오전 8시에, 사후체중은 오후 2시에 각각 측정하였는데, 이 체중의 차이는 물의 섭취와 분과 오줌의 배설에 의한 것으로 볼 수 있다.

2.2 식이 섭취량, 일증체량 및 식이 요구율

각 군별 식이섭취량, 일증체량 및 식이요구율은 Table 4에 제시된 바와 같다. 그리고 식이요구율은 g 증체당 식이소요량으로 나타내었다.

Table 4. Feed intake, body weight gain and feed conversion<sup>1)</sup>

Group		0b	Ia	Ib	IIa	IIb
Feed intake	Mean	9.52 <sup>a</sup>	6.76 <sup>b</sup>	10.54 <sup>c</sup>	6.73 <sup>b</sup>	10.09 <sup>c</sup>
	(g/d) SD	0.25	0.19	0.36	0.17	0.11
Body weight gain	Mean	3.63 <sup>a</sup>	1.09 <sup>b</sup>	4.44 <sup>c</sup>	0.68 <sup>b</sup>	4.26 <sup>c</sup>
	(g/d) SD	0.53	0.34	0.50	0.25	0.34
Feed conversion	Mean	2.70 <sup>a</sup>	6.16 <sup>b</sup>	2.40 <sup>a</sup>	11.57 <sup>c</sup>	2.39 <sup>a</sup>
	(g/g) SD	0.41	3.05	0.25	4.95	0.22

<sup>1)</sup> Values with different alphabet within a row were significant different at p<0.05

일식이섭취량은 Ob군, Ib군, IIb군이 각각 9.52g, 10.54g 및 10.09g으로서, Ob군이 Ib군과 IIb군에 비해 낮았다. 그리고 저에너지수준 Ia군과 IIa군은 각각 6.76g 및 6.73g으로서 두 군간에 유의차가 없었다.

일증체량은 저에너지수준에서 Ia군 및 IIa군 1.09g 및 0.68g이었다. 고에너지수준에서 Ob군이 3.63g으로서 Ia군

과 IIb군의 일증체량 4.44g, 4.26g보다 낮았다. Ia군과 IIa군이 Ob군에 비해 일식이섭취량과 일증체량이 높게 나타났다. 한편 식이요구율은 Ob군이 2.70으로서 Ia, IIa군과 유의차가 없었다.

### 3.4 체성분 측정

체수분, 조회분, 조지방 및 조단백질의 실험기간내의 일축적량은 Table 5에 나타내었다. 각 체성분축적량은 각 군의 대조군과의 차이로 계산하였다. 그리고 각 체성분의 1일 축적량은 체성분축적량을 실험일수로 나누어 계산하였다.

Table 5. Deposition of chemical components

Group		Ob-Oa	Ib-Ia	IIb-IIa
Deposition of	Moisture (g)	23.39	27.72	25.30
		(mg/d)	2339	2772
Crude ash	(g)	0.99	1.11	1.13
	(mg/d)	99	111	113
Crude fat	(g)	3.38	7.87	8.05
	(mg/d)	338	787	805
Crude protein	(g)	8.43	8.45	5.93
	(mg/d)	843	845	593

체수분의 일축적량은 Ob군, Ib군 및 IIb군이 각각 2339mg, 2772mg 및 2530mg이었고, 조회분의 일축적량은 각각 99mg, 111mg 및 113mg, 조지방의 일축적량은 각각 338mg, 787mg 및 805mg, 그리고 조단백질의 일축적량은 각각 843mg, 845mg 및 593mg이었다. 체수분, 조회분 및 체단백질은 축적량에서 군간에 차이가 적었으나, 체지방 축적량의 경우는 Ib군과 IIb군에서 Ob군보다 약 2.3배 높았다.

### 3.5 에너지 급여 수준 및 에너지 대사

Table 6은 대사에너지섭취량, 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지, 그리고 열발생량을 대사체중기준으로 나타내고 있다. 그리고 체단백질 및 체지방의 에너지 함량은 Brouwer (1965)가 측정한 각각 23.9 kJ/g 및 39.8 kJ/g을 이용하여 계산하였다. 그리고 식이의 대사에너지 함량은 Brüggemann(1984)의 측정치 17.0 kJ/g을 이용하여 계산하였다. 1일 열발생량은 대사에너지섭취량에서 체

지방과 체단백질로 축적된 에너지를 빼어 계산하였다.

Table 6. Energy deposited for body fat and body protein, and heat production per metabolic body weight

Group	Ob	I b	II b
Energy level	High	High	High
Feeding period (d)	10	10	10
Mean of body weight (g)	125.7	144.8	137.6
ME intake (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	764	761	762
Energy deposited for body fat (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	63.7	133.5	141.8
body protein (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	95.5	86.0	62.7
Heat production (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	604.8	541.5	577.5

Ob군, Ib군, IIb군의 대사체중당 1일 대사에너지섭취량은 각각 764kJ, 761kJ, 762kJ이었고, 체지방으로 축적된 에너지는 각각 63.7kJ, 133.5kJ 및 141.8kJ이었고, 체단백질로 축적된 에너지는 각각 95.5kJ, 86.0kJ, 62.7kJ이었다. 대사체중당 1일 열발생량은 Oa, Ib군, IIb군에서 각각 604.8kJ, 541.5kJ, 577.5kJ이었다. 체지방으로 축적된 에너지는 Ib군과 IIb군에서 Ob군보다 각각 2배, 2.2배 높았다.

양(1998)의 결과에 의하면 에너지제한기간이 길면 길수록 보상성장기에 많은 에너지가 체지방으로 축적되었고, 대사체중당 1일 열발생량은 감소하는 경향을 보였다. 그리고 실험동물에서 에너지를 제한했을 때 비제한한 대조군 보다 보상성장기에 많은 에너지가 체지방으로 축적되었다는 보고가 많이 있다(Meyer and Clawson, 1964; Szepesi and Epstein, 1976; Harris and Widdowson, 1978; Ozelci et al., 1978; Okasaki et al., 1981).

## 4. 참고 문헌

- Boyle, P.C., Storlien, L. H. and R. E. Keesey, 1978. Increased efficiency of food utilization following weight loss. *Physiol. Behav.* 21: 261-264.

- Brouwer, E., 1965. Report of sub-committee on constants and factors, Energy metabolism, EAAP-publ., Academic Press, London, Nr.II: 441-443
- Brüggemann, E., 1984. Untersuchung an wachenden Ratten zum Einfluß der Energie- und Proteinversorgung und des kompensatorischen Wachstums auf den Proteinumschlag. Diss., Univ. Bonn
- Fried, S. K., Hill, J. O., Nickell, M. and M. DiGirolamo, 1983. Prolonged effects of fasting-refeeding on rat adipose tissue lipoprotein lipase activity: influence of caloric restriction during refeeding. *J. Nutr.* 113: 1861-1869.
- Harris, P. M. Widdowson, 1978. Deposition of fat in the body of the rat during rehabilitation after early undernutrition. *Br. J. Nutr.* 39: 201-211.
- Harris, R. B. S. and R. J. Martin, 1984. Recovery of body weight from below "set point" in mature female rats. *J. Nutr.* 114: 1143-1150.
- Hill, J. O., Fried, S. K. and M. DiGirolamo, 1984. Effects of fasting and restricted refeeding on utilization of injected energy in rats. *Am. J. Physiol.* 242: 318-327.
- Jackson, A. A., 1984. Nutritional adaptation in disease recovery. In: Blaxter K, Waterlow, J. C. eds. Nutritional adaptation in man. London, John Libbey, 111-126.
- MacCuish, A. C. Munro, J. F. and L. P. J. Duncan, 1968. Follow-up study of refractory obesity treated by fasting. *Br. Med. J.* I: 91-92.
- MacLean, W. C. and G. G. Graham, 1980. The effect of energy intake on nitrogen content of weight gained by recovering malnourished infants. *Am. J. Clin. Nutri.* 33: 903-909.
- Meyer, J. H. and W. J. Clawson, 1964. Undernutrition and subsequent realimentation of rats and sheep. *J. Anim. Sci.* 23: 214-224.
- Okasaki, S., Matsueda, S., Ohnaka, M. and Y. Niiyama, 1981. Effects of various period of protein restriction immediately after weaning on subsequent catch-up growth in rats. *Nutr. Rep. Int.* 23: 471-484.
- Ozelci, A., Romsos, D. R. and G. A. Leveille, 1978. Influence of initial food restriction on subsequent body weight gain and fat accumulation in rats. *J. Nutr.* 108: 1724-1732.
- Sohar, E. and E. Sneh, 1973. Follow-up of obese patients 14 years after a successful reducing diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 26: 845-848.
- Szepesi, B. and M. C. Epstein, 1976. Effect of severity of caloric restriction on subsequent compensatory growth. *Nutr. Rep.* 14: 567-574.
- Waterlow, J. C. 1961. The rate of recovery of malnourished infants in relation to the protein and calorie levels of diet. *J. Trop. Paediatr.* 7: 16-22.
- 양양한, 1998. 에너지 제한 섭취 기간이 성장중인 쥐의 체조성 및 에너지 대사에 미치는 영향. 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고 12: 20-28.