

# 에너지 제한이 성장중인 쥐의 성장 및 에너지 대사에 미치는 영향

양 양 한

제주대학교 자연과학대학 식품영양학과

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

Yang-Han Yang

Department of Food Science & Nutrition,  
Cheju National University

### Abstract

Influence of energy restriction on subsequent body weight gain and energy metabolism in growing rats have been investigated. Rats were fed with a high energy ( $45\text{g DM} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) and a low energy diet ( $34\text{g DM} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ), respectively. The proteins level in diets were 11.3 and 15.0%, respectively. The daily feed intakes of the control group (Ib) and the low energy group (IIb) during the compensatory growth phase were 9.90 and 10.10g, and the daily weight gains were 2.81, and 4.20g, respectively. The depositions of moisture, crude ash, crude fat, and crude protein for group Ib and IIb were 1,965 and 2,627, 92 and 114, 289 and 764, and 711 and 770mg, respectively. The daily ME intakes of the two groups per metabolic body weight were 764 and 762kJ, and energy depositions of crude fat were 54 and 134kJ, and the depositions of crude protein were 97 and 100kJ, and the daily heat productions were 613 and 528kJ, respectively.

**KEY WORDS** : rat, energy restriction, body composition, heat production

### 서 론

제한 급이란 일정 기간 식이를 제한하여 급여함을 말한다. 제한 급이후 식이를 비제한하여 급여하는 대조군에 비해 식이 섭취량이 증가하며, 따라서 1일 증체량이 높고, 식이 요구율은 현저히 감소한다(Fried et al., 1983; Hill et al., 1984; Harris et al., 1984). 이 현상을 보상 성장이라 하는 데, 아직도 그 원인은 명확히 규명되고 있지 않다. Harris 등(1984)과 Szepesi 등(1976)은 식이 섭취량의 증가가 그 원인임을 지적하였으나, 비제한 기간중 대조군과 동량의 식이를 섭취하였을 때도 이 현상이 나타난다고 보고하고 있다(Fried et al., 1983; Boyle et al., 1978). 그리고 사람에서도 식이 제한으로 감소된 체중을 쉽게 회복하는 현상을 볼 수 있는 데(Sohar et al., 1973; MacCuish et al., 1968), 이것을 요요 현상이라 한다. 그리고 보상 성장 기간에 체단백질이 증가했다는 보고가 있는 반면에(Waterlow, 1961; Jackson, 1984), 많은 인체 실험 및 동물 실험에서 체단백질보다는 체지방이 증가하였다고 한다. 그리고 MacLean과 Graham(1980)의 연구에서도 영양 결핍후 회복 단계에서의 체중 증가는 체성분중에서도 체지방의 증가에 기인하며, 무지방 기준으로는 회복군과 대조군간에 차이가 없었다고 한다. 본 실험에서는 에너지만을 쥐에게 제한하여 쥐에게 급여했을 때, 보상 성장기에 나타나는 증체량 및 체조성이 대조군과 어떤 차이를 보이는지 직접 실험해 보고자 했다.

### 재료 및 방법

#### 1. 실험 계획

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 50마리를 사육실에서 4일 동안 고에너지 수준( $45\text{g DM} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ )으로 급여하여 적응기를 둔 후, 32마리를 선발하여 8마리씩 4개군으로 나누었다. Ia군은 실험 시작 전에, 그리고 Ib군은 16일간 고에너지 수준으로 급이후 체성분 분석을 위해 도살하였다. IIa군과 IIb군은 8일간 저에너지 수준( $34\text{g DM} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ )으로 급이한 후 IIa군은 도살하였고, IIb

군은 16일간 더 고에너지 수준으로 식이를 급여한 후 도살하여, 체성분을 분석하였다. 군편성시 각 군의 실험 동물의 체중은 평균과 표준 편차를 비슷하게 조정하여 케이지에 한 마리씩 완전 임의 배치하였다. 그리고 식이 조성은 Table 1과 같다. 조단백질 함량은 고에너지 수준에서 11.3%, 저에너지 수준에서는 15.0% 가 되도록 식이를 배합하였다. 그리고 두 에너지 수준에서, 모두 대사 체중 ( $\text{kg}^{0.75}$ )당 1일 5.1g의 조단백질을 급여하였다.

**Table 1. Composition of experimental diets(g/kg)**

Ingredient	Energy level <sup>1)</sup>	
	Low	High
Casein	144.6	116.4
DL-Methionine	8	6
Corn starch	610.4	640.6
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

<sup>3)</sup> LEL=low energy level( 34g DM·kg<sup>0.75</sup>·d<sup>-1</sup>)

HEL=high energy level( 45g DM·kg<sup>0.75</sup>·d<sup>-1</sup>)

## 2. 실험 동물의 사육

실험 동물은 철제 케이지에 한 마리씩 사육하였으며, 체중은 2일마다 오전 8:00시에 동물저울을 이용해 측정하였다.

2일마다 측정된 체중을 기준으로 고에너지 수준(45g DM·kg<sup>-0.75</sup>·d<sup>-1</sup>)은 대사 체중당 1일 45g의 식이를 저에너지 수준(34g DM·kg<sup>-0.75</sup>·d<sup>-1</sup>)에서는 34g의 식이를 고품질 기준으로 계산하여 급여하였다. 아침 8:00 시에 식이통을 제거하여 섭취량을 측정하였고, 식이는 오후 3:00 시에 급여하였다.

실험 기간 동안 사육실 온도는 23±1℃로, 상대습도는 50~70%로 유지하였고, 물은 임의로 섭취할 수 있도록 하였다.

명암 주기는 12시간 간격 (점등 시간 06:00~18:00, 소등 시간 18:00~06:00)으로 조절하였다.

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

## 3. 시료 준비

실험이 끝난 후 -18℃에서 냉동 보관한 쥐를 1L의 밀폐 용기에 넣어서 Autoclave에서 121℃, 1 bar로 3시간 처리한 후 상온에서 식힌 다음, 균질기로 잘게 분쇄하였다. 분쇄한 시료에서 10~15g씩 2개 시료를 취하여 고품질 함량을 측정하였다. 그리고 냉동 건조할 때까지 나머지 시료를 -18℃의 냉동실에서 보관하였다. 냉동 건조한 시료를 다시 곱게 분쇄기로 분쇄하여 체성분 분석에 이용하였다.

## 4. 시료의 화학적 성분 분석

일반 시료의 고품질 함량은 3g~4g의 시료를 105℃로 고정된 drying oven에서 향량이 될 때까지 수분을 증발시킨 후, 잔류물의 백분율로 구하였다. 균질기에서 분쇄한 쥐 시료는 10g~15g를 취하여 48~72시간 동안 건조시켜 고품질 함량을 측정하였다. 식이 및 시료의 조단백질, 조회분, 조지방 함량은 AOAC 방법에 따라서 측정하였다. 조단백질 함량은 Kjeldahl 방법에 의해 N 함량을 구한 후 6.25를 곱하여 계산하였다.

## 5. 통계 분석

두 표본 평균간의 유의성은 t-검정으로 하였고, 3개

이상의 표본간은 분산 분석한 후, 각 평균치간의 유의성 검정을 Scheffe'-test로 하였다 (유의수준  $p < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 1. 실험 경과

Table 2에 나타낸 결과와 같이 군편성후 평균 체중은 109.70~109.84g으로서 각 군간에 유사하게 편성되었다. 그리고 실험 종료시 Ia군과 IIa군의 체중은 각각 109.68g, 102.12g으로서, Ia군과 8일간 저에너지 수준으로 급이한 IIa군은, 체중에서 차이가 없었다. 그러나 Ib군과 IIb군의 실험 종료시 체중은 각각 159.7g 및 178.12g으로서, IIb군이 18.42g 높게 나타났다.

실험 종료시의 체중은 오전 8시에, 사후 체중은 오후 2시에 각각 측정하였는데, 이 체중의 차이는 물의 섭취와 분과 오줌의 배설에 의한 것으로 볼 수 있다.

Table 2. The change of body weight during experimental period<sup>1)</sup>

Group	Ia	Ib	IIa	IIb
Energy level <sup>2)</sup>	-	HEL	LEL	LEL/HEL
Number of rat(n)	8	8	8	8
Feeding period(d)	0	16	8/-	8/16
Initial body weight (g)				
mean	109.68 <sup>a</sup>	109.70 <sup>a</sup>	109.74 <sup>a</sup>	109.84 <sup>a</sup>
SD	2.16	2.14	1.94	1.77
Body weight in change of diet(g)				
mean	-	-	-	111.03
SD				4.06
Final body weight (g)				
mean	109.68 <sup>a</sup>	159.70 <sup>b</sup>	109.12 <sup>a</sup>	178.12 <sup>c</sup>
SD	2.18	7.00	10.91	11.22
Carcass weight(g)				
mean	106.37 <sup>a</sup>	155.75 <sup>b</sup>	105.06 <sup>a</sup>	173.46 <sup>c</sup>
SD	2.18	6.72	10.57	11.41

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

<sup>2)</sup> HEL=high energy level(45g DM · kg<sup>0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)  
LEL=low energy level(34g DM · kg<sup>0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)

### 2. 식이 섭취량, 일증체량 및 식이 요구율

각 군별 식이 섭취량, 일증체량 및 식이 요구율은 Table 3에 제시된 바와 같다. 그리고 식이 요구율은 g 증체당 식이 소요량으로 나타내었다.

일식이 섭취량은 Ib군 및 IIb군에서 9.90g 및 10.10g으로서 유의차가 없었다. 그러나 일증체량은 Ib군 및 IIb군에서 각각 2.81g 및 4.20g으로서, IIb군이 Ib군에 비해 현저히 높게 나타났다. 반면 식이 요구율은 Ib군이 3.52, IIb군이 2.40으로서, IIb군이 Ib군에 비해 현저히 낮게 나타났다.

Table 3. Feed intake, body weight gain and feed conversion<sup>1)</sup>

Group	Ib	IIb
Energy level <sup>2)</sup>	HEL	HEL
Number of rats(n)	8	8
Feeding period(d)	16	16
Feed intake(g/d)		
mean	9.90 <sup>a</sup>	10.10 <sup>a</sup>
SD	0.47	0.54
Body weight gain(g/d)		
mean	2.81 <sup>a</sup>	4.20 <sup>b</sup>
SD	0.38	0.52
Feed conversion(g/g)		
mean	3.52 <sup>a</sup>	2.40 <sup>b</sup>
SD	0.60	0.27

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

<sup>2)</sup> HEL=high energy level(45g DM · kg<sup>0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)

### 4. 체성분 축적

체수분, 조희분, 조지방 및 조단백질의 실험 기간내의 일축적량은 Table 4에 나타내었다. 체성분 축적량은 각 군과 대조군과의 차이로 계산하였다. 그리고 각 체성분의 1일 축적량은 총체성분 축적량을 실험 일수로 나누어 계산하였다.

IIa군은 Ia군에 비해, 저에너지 수준으로 식이를 급여하는 동안 체수분은 1일 180.0mg 그리고 체지방은 1일 327.5mg 감소하였으나, 조희분과 조단백질은 1일 35.0mg 및 248.8mg 증가하였다. Jäger(1986)의 실험 결과에 의하면, 쥐를 저에너지 수준으로 5, 10, 15, 20, 30 및 40일간 급여하는 동안, 대조군에 비해 체지방량은 -2, -3.4, -3.3,

-2.2, 0.4 및 3.0g의 변화가 있었다. 즉 체지방이 10일 동안만 감소하였고, 그 이후에는 서서히 증가하였는데, 이 현상을 유지 에너지의 감소에 기인한 것이라고 하였다.

또한, Ib군과 IIb군은 각각 대조군에 비해서 고에너지 수준으로 식이를 급여하는 동안, 체수분은 1일 각각 1,965mg, 2,626.9mg, 조희분은 1일 각각 91.9mg, 113.8mg, 조단백질은 1일 각각 711.3mg, 770.6mg, 그리고 체지방은 1일 각각 288.8mg, 764.4mg이 증가하였다. 조희분 및 체단백질은 축적량에서 군간에 차이가 적었으나, 체지방 및 체수분의 축적량인 경우 군간의 차이가 크게 나타났다. Yang(1987)의 실험 결과에 의하면, 쥐를 고에너지 수준으로 60~90, 90~120, 120~150 그리고 150~180g 체중 범위에서 식이를 급여하는 동안, 체지방량은 대조군에 비해서 각각 2.64, 3.56, 3.86 및 6.64g으로, 150~180g 체중 범위에서 체지방이 급격히 증가하였는데, 이 현상을 연령과 체중이 증가함에 따라 유지 에너지가 감소하는데 그 원인이 있는 것으로 추정하고 있다.

**Table 4. Deposition of chemical components in growing rats<sup>1)</sup>**

Difference	IIa-Ia	Ib-Ia	IIb-IIa
Energy level <sup>2)</sup>	LEL	HEL	HEL
Number of rats(n)	8	8	8
Feeding period(d)	8	16	16
Deposition for			
moisture (g)	-1.44	31.44	42.03
(mg/d)	-180.0 <sup>a</sup>	1965.0 <sup>b</sup>	2626.9 <sup>c</sup>
crude ash (g)	0.28	1.47	1.82
(mg/d)	35.0 <sup>a</sup>	91.9 <sup>b</sup>	113.8 <sup>b</sup>
crude fat (g)	-2.62	4.62	12.23
(mg/d)	-327.5 <sup>a</sup>	288.8 <sup>b</sup>	764.4 <sup>c</sup>
crude protein (g)	1.99	11.38	12.33
(mg/d)	248.8 <sup>a</sup>	711.3 <sup>b</sup>	770.6 <sup>c</sup>

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

<sup>2)</sup> HEL=high energy level(45g DM · kg<sup>0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)  
LEL=low energy level(34g DM · kg<sup>0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)

5. 에너지 급여 수준 및 에너지 대사

Table 5는 대사 에너지 섭취량, 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지, 그리고 열발생량을 대사 체중 기준으로 나타내고 있다. 체단백질 및 체지방의 에너지 함량은 Brouwer (1965)가 측정한 각각 23.9 kJ/g 및 39.8 kJ/g을 이용하여 계산하였고, 고에너지 수준 식이 및 저에너지 수준 식이의 대사 에너지 함량은 Brüggemann(1984)의 측정치 17.0 kJ/g과 16.9kJ/g을 이용하여 계산하였다. 1일 열발생량은 대사 에너지 섭취량에서 체지방과 체단백질로 축적된 에너지를 빼어 계산하였다.

**Table 5. Energy deposited for body fat and body protein, and heat production per metabolic body weight<sup>1)</sup>**

Difference	IIa-Ia	Ib-Ia	IIb-IIa
Energy level <sup>2)</sup>	LEL	HEL	HEL
Number of rats(n)	8	8	8
Feeding period(d)	8	16	16
Mean of body weight(g)	109.11	128.55	137.99
ME intake (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	571	764	762
Energy deposited for body fat (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	-69 <sup>a</sup>	54 <sup>b</sup>	134 <sup>c</sup>
body protein (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	38 <sup>a</sup>	97 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>
Heat production (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	602 <sup>a</sup>	613 <sup>a</sup>	528 <sup>b</sup>

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

<sup>2)</sup> HEL=high energy level( 45g DM · kg<sup>-0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)  
LEL=low energy level( 34g DM · kg<sup>-0.75</sup> · d<sup>-1</sup>)

IIa군, Ib군 및 IIb군의 대사 체중당 1일 대사 에너지 섭취량은 각각 571kJ, 764kJ 및 762kJ이었고, 체지방으로 축적된 에너지는 각각 -69kJ, 54kJ 및 134kJ 이었으며, 체단백질로 축적된 에너지는 각각 38kJ, 97kJ 및 100kJ이

었다. 대사 체중당 1일 열발생량은 IIa, Ib군 및 IIb군에서 각각 602kJ, 613kJ 및 528kJ이었다. 체지방으로 축적된 에너지는 IIb군에서 Ib군보다 2.5배 높았다.

양(1998)의 결과에 의하면 에너지 제한 기간이 길면 길수록 보상 성장기에 많은 에너지가 체지방으로 축적되었고, 대사 체중당 1일 열발생량은 감소하는 경향을 보였다. 또한 실험 동물에서도 에너지를 제한했을 때 비제한한 대조군 보다 보상 성장기에 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; Dulloo and Girardier, 1993).

## 참고 문헌

- Boyle, P.C., Storlien, L. H. and R. E. Keeseey, 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 des kompensatorischen Wachstums auf den Proteinumschlag. *Diss. Univ. Bonn*
- Dulloo A. G. and L. Girardier, 1993. Adaptive role of energy expenditure in modulating body fat and protein deposition during catch-up growth after early undernutrition. *Am. J. Clin. Nutri.* 58: 614-621.
- 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.
- Jäger, K., 1986. Untersuchung an wachsenden Ratten zum Einfluß der Dauer einer zeitlich begrenzten Reduktion der Energiezufuhr auf den Proteinumschlag und den Stoffansatz. *Diss. Uni. Bonn.*
- 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. Niyama, 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. Int.* 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. Periatr.* 7: 16-22.
- Yang, Y. H., 1987. Einfluß von Alter, Lebendmasse und Fütterungsniveau auf den Stoffansatz bei wachsenden Ratten. *Diss. Univ. Bonn*
- 양양환, 1998. 에너지 제한 섭취 기간이 성장중인 쥐의 체조성 및 에너지 대사에 미치는 영향. 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고 12: 20-28.