

다른 年齡 및 體重에서 에너지 制限이 成長中인 쥐의 體組成과 에너지 代謝에 미치는 影響

梁 良 漢

濟州大學校 自然科學大學 食品營養學科

Effects of Energy Restriction at various Ages and/or Body Weights on Body Composition and Energy Metabolism in growing Rats

Yang-Han Yang

Department of Food Science & Nutrition, Cheju National
University

Abstract

Effects of energy restriction at various ages and/or body weights on body composition and energy metabolism in growing rats were investigated.

A 48 male rats from Sprague Dawley were divided into six groups(8 rats/group).

The mean body weight of Group Ia~b and IIIa~b fed high energy level(HEL; $459 \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$) for feeding periods, were 120g and 180g, respectively, and the carcass composition of each control group(Ia and IIIa) was determined.

To get the same mean body weights and different ages for groups(Ia~b), and different mean body weights and same ages for groups(IIIa~b), groups IIa~b were fed low energy level(LEL; $349 \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$) for 26 days and HEL for 18 days.

Meanwhile, the experimental groups(I b, II b and III b) were fed with low energy level for 10 days. The crude protein contents of high and low energy level diets were 11.3% and 15.0%, respectively.

During feeding of LEL, total body water of Group I a, II b and III b were increased by 4.86g, 1.67g and 3.6g, respectively. The total body ashes increased by 0.6g, 0.47g and 0.59g, respectively. The total body proteins increased by 3.14g, 2.78g and 3.57g, respectively, but total body fats of Group I b and II b were decreased 0.6g and 0.66g, whereas that of Group III b inc-

Cheju App. Rad. Res. Inst. Ann. Report Vol. 11(1997)

reased by 2.3g.

The intake of metabolizable energy of LEL and HEL were 575kJ and 764kJ per metabolic body weight per day, and the energy deposited for body protein of Group I b, II b and III b were 56kJ, 67kJ and 58kJ, respectively. The energy deposited for body fat of Group I b and II b decreased by 12kJ and 14kJ, but that of Group III b increased by 29kJ, and the daily heat production of Group I b, II b and III b were 551kJ, 557kJ and 517kJ, respectively.

서 론

制限給餌란 일정기간 食餌를 제한하여 급여함을 말한다. 제한 급여후 비제한 급여시는 같은 체중 범위에서 대조군에 비해 식이 섭취량의 증가와 1일 증체량이 높게 나타나고, 식이 요구율이 현저히 감소한다. 이런 현상을 보상 성장 또는 따라잡기 성장이라 하는데, 이 현상을 생체 항상성의 기전으로 설명할 수 있으나, 아직 그 원인은 명확하게 규명되어 있지 않다. 식이의 제한 정도가 크면 클수록 체중이 크게 감소하게 되는데, 그 다음 식이를 비제한 급여하면 감소한 체중을 쉽게 만회한다고 하는데(Fried et al., 1983; Hill et al., 1984; Harris et al., 1984; Khan et al., 1979), 이 결과를 Haris 등(1984)과 Szepesi 등(1976)은 식이 제한후 비제한 기간중 비제한 대조군에 비해 식이 섭취량의 증가가 그 원인임을 지적하였으나, 비제한 급여 기간에 대조군과 동량의 식이를 급여하였을 때 이 현상은 나타난다고 하였다(Fried et al., 1983, Boyle et al., 1978). 그리고 사람에게서도 식이 제한으로 감소된 체중을 쉽게 회복하였다고 하였다(MacCuish et al., 1968).

Waterlow(1961)와 Jackson(1984)은 보상 성장 기간에 체성분중에서도 체단백질량이 증가했다는 보고가 있는 반면, 많은 인체 및 동물 실험에서 체단백질보다는 체지방량의 증가하였다고 한다. 그리고 MacLean과 Graham(1980)의 연구에서도 영양 결핍후 회복 단계에서 체중 증가는 체성분중에서도 체지방 축적의 증가에 기인하며, 무지방 체중을 기준으로 하는 회복군과 대조군 사이에 차이가 없었다고 한다.

본 실험에서는 고에너지 수준식사에서 저에너지 수준식으로 전환하여 급여했을 때, 연령과 체중이 증가함에 따라 대사체중당 1일 열발생량이 감소했다는 Yang(1995)의 결과에 대해서, 연령과 체중 중 어느 요인이 1일 열발생량에 크게 영향을 미치는지를 규명하기 위해서 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험 계획

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 50 마리를 4일 동안 고에너지 수준 식이(45g · kg^{-0.75} · d⁻¹)로 급여하여 실험동물 사육실에서 적응시킨 후 전 체 평균 체중에서 크게 벗어나는 쥐 두 마리를 본실험에서 제외시킨 다음 각 8마리씩 6개군으로 나누어 대사 케이지에 한 마리씩 완전 임의 배치하였다. 군 편성시 各群의 실험 동물의 체중은 평균과 표준 편차를 비슷하게 조정하였다.

본 실험에서 Ia, IIa, IIIa군은 각각 Ib, IIb, IIIb군의 대조군으로 하였다. Ia군과 Ib군은 평균 체중이 120g이 될 때까지, IIIa, IIIa군은 평균 체중이 180g이 될 때까지 고에너지 수준으로 식이를 급여하였다. 이때 대조군 Ia와 IIIa군은 희생시켰으며, 두 실험군은 10일 동안 저에너지 수준(34g · kg^{-0.75} · d⁻¹)으로 식이를 급여한 후 희생시켜 체성분을 분석하였다. IIa, IIa군은 I 군과는 연령이 다르면서 같은 체중을, III군과는 체중이 다르면서 같은 연령군을 얻기 위해서, 26일간 저에너지 수준 식이를 급여한 후 18일간 고에너지수준 식이를 급여하여 대조군 IIa는 희생시켰으며 실험군 IIb는 다른 실험군과 마찬가지로 10일간 저에너지 수준 식이를 급여한 후 희생시켜 체성분을 분석하였다.

2. 실험 식이

실험에 사용한 식이의 조성은 Table 1과 같다. 저에너지 수준 식이 및 고에너지 수준 식이의 조단백질 함량을 각각 15% 및 11.3%가 되도록 고형물 기준으로 배합하여, 조단백질 섭취량에 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준 식이에서 모두 대사 체중(kg^{0.75})당 1일 5.1g이 되도록 하였다.

식이 배합전에 식이 구성 원재료의 고형물 함량 및 casein, methionine과 옥수수 전분의 조단백질 함량을 분석하여, 식이에 포함될 casein 양과 옥수수 전분의 양을 계산하여 배합하였으며, 배합한 식이는 냉동실에서 보관하였다.

3. 실험 동물의 사육

실험 동물은 Plexy glass로 된 대사 케이지에 한 마리씩 사육하였으며, 체중은 2일마다 오전 8:00시에 동물 저울을 이용해 측정하였다.

2일마다 측정된 체중에 따라 대사 체중당 1일 고에너지 수준에서는 45g의 HEL 식이를, 저에너지 수준에서는 34g의

Table 1. Composition of experimental diets(q/kg)

Ingredients	Energy level	
	Low	High
Casein	148	111
DL-Methionine	8	6
Corn starch	574	613
Sucrose	100	100
Cellulose	40	40
Corn oil	50	50
Vitamin-Mix. ¹⁾	20	20
Mineral-Mix. ²⁾	60	60

1) Vitamin mix.(20g/kg diet) contained :

Vit. A, 5000 IU ; vit. D₃, 500 IU ; vit. E, 50mg ; vit. K₃, 1mg ; vit. B₁ · HCl, 20mg ; vit. B₂, 20mg ; vit. B₆ · HCl, 10mg ; calcium pantothenate, 50mg ; nicotinic acid 50mg ; cholin chloride, 1000mg ; folic acid, 2mg ; inositol, 100mg ; p-aminobenzoic acid, 100mg ; vit. B₁₂, 30^μg ; biotin, 200^μg ; sucrose powdered to make 20g

2) Mineral mix.(60g/kg diet) contained :

CaCO₃, 15g ; Ca₃(PO₄)₂, 14g ; K₂HPO₄(sicc.), 10g ; NaCl, 8g ; Na₂HPO₄(sicc.), 7g ; MgSO₄ · 7H₂O, 5g ; Fe-citrate, 0.48g ; MnSO₄ · 4H₂O, 0.45g ; ZnCO₃, 0.04g ; CuSO₄ · 5H₂O, 0.0195g ; KI, 0.0005g ; NaF, 0.010g

LEL식이를 고형물 기준으로 계산하여 급여하였다. 식이는 오후 4:00 시에 급여하였고, 아침 8:00 시에 식이통을 제거하여 섭취량을 측정하였다.

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

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

실험이 끝난 쥐는 오후 2시에 chloroform으로 희생시켜 냉동실에 보관하였다.

4. 시료 준비

실험이 끝난후 -18℃에 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 고형물 함량을 측정하였다. 그리고 냉동 건조할 때까지 나머지 시료를 -18℃의 냉동실에서 보관하였다. 냉동 건조시킨 시료는 분쇄기로 다시 곱게 분쇄하여 체성분 분석에 이용하였다.

5. 시료의 화학적 성분 분석

일반 시료의 고형물 함량은 2g~4g의 시료를 105°C로 고정된 drying oven에서 항량이 될 때까지 수분을 증발시킨 후 잔유물의 백분율로 구하였다. 균질기에서 분쇄한 쥐시료는 10g~15g을 취하여 48~72 시간 동안 건조시켜 고형물 함량을 측정하였다. 식이 및 시료의 조단백질, 조회분, 조지방 함량은 AOAC 방법에 따라서 측정하였고, 조단백질 함량은 Kjeldahl 방법에 의해 N 함량을 구한 후 6.25를 곱하여 계산하였다.

6. 통계 분석

본 실험의 자료는 SPSS(Schub and Uehlinger, 1984) program을 이용하여 통계 처리 하였다. 모든 연속성 자료에 대해 Kolmogrov-Smirnov Goodness of Fit Test(K-T-Test)로

정규 분포 여부를 검정 하였으며, 정규 분포를 이루지 않은 자료에 대해서는 Dixon 극한치 제외 검정(Sachs, 1968)으로 극한치를 제외 한 후, 정규 분포 검정을 다시 실시 하였다. 이 실험 자료는 분산 분석한 후, 각군의 평균치간의 유의성 검정은 Scheffe'-test로 유의수준 $p < 0.05$ 에서 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 실험 경과

실험은 실험 동물의 손실 없이 계획대로 진행되었으며, 실험 경과중의 체중을 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 결과와 같이 군편성후 각군의 체중은 53.8~54.1g 범위에 포함 되고 있다.

Table 2. The change of body weight during experimental period

Group		I a	I b	II a	II b	III a	III b
Energy level		H/-	H/L	L/H/-	L/H/L	H/-	H/L
Number of rats(n)		8	8	8	8	8	8
Feeding period(d)		26/-	26/10	26/18/-	26/18/10	44/-	44/10
Grouping (g)	Mean	54.0	54.1	53.9	54.0	54.1	53.8
	SD	3.8	3.9	3.9	3.9	3.7	4.1
Change of diet (g)	Mean		118.7		68.9	67.1/117.9	177.8
	SD		7.4		7.2	3.9/6.3	16.8
Final body weight (g)	Mean	120.1	126.7	119.2	124.5	180.8	188.2
	SD	7.1	8.6	11.5	7.2	12.0	19.3
Carcass weight (g)	Mean	115.7	124.5	118.6	122.2	175.5	185.3
	SD	7.3	8.2	13.0	7.4	12.2	19.0

I 군의 경우 26일 동안 고에너지 수준食이를 급여한 후의 대조군과 실험군의 평균 체중은 각각 120.1g 및 118.7g이었으며, 10일간 저에너지 수준으로 식이를 급여했을 때의 실험군의 체중은 126.7g으로서 체중이 5.6g 증가하였다. II 군의 경우 26일간 저에너지 수준으로 식이를 급여했을 때의 대조군과 실험군의 각각 68.9g, 67.1g 이었고, 이어서 18일간 고에너지 수준食이를 급여했을 때의 체중은 각각 119.2g, 117.9g이었으며, 그후 10일간 저에너지 수준으로 식이를 급여한 실험군 II b의 체중은 124.5g으로서 6.6g 증가하였다. III 군의 경우 44일간 고에너지 수준으로 식이를 급여했을 때 대조군과 실험군의 체중은 각각 180.8g, 177.8g이었으며, 이어 10일간 저에너지 수준食이를 급여한 쥐의 체중은 188.2g으로서 10.4g 증가하였다.

본 실험에서는 에너지 제한 정도가 크지 않았기 때문에 이 기간중에 실험 동물의 체중 감소는 관찰되지 않았지만, Mohan 등(1983)은 에너지 제한 초기에는 성장이 지연되며, 제한 정도가 클 경우는 체중 감소를 동반할 수 있다고 한다. 한편 초기 체중의 감소는 식이 급여 수준을 낮추는 과정에서 섭취량의 감소로 인한 장내용물의 감소도 부분적인 원인이라고 볼 수 있다.

실험 종료 체중은 오전 8시에, 공복 체중은 오후 2시에 측정 하였는데 이 체중의 차이는 물 섭취와 분과 오줌의 배설에 의한 것으로 볼 수 있으며, 저에너지 수준군에서 고에너지 수준군에서보다 체중 손실이 낮았으며, 두 수준에서도 체중이 낮을 수록 체중의 손실이 컸다.

Table 3. Feed intake, body weight gain and feed conversion of growing rats¹⁾

Group		I a	I b	II a		II b	III a	III b	
Range of body weight(g)		54-69	69-118	118-127	54-69	69-118	118-125	118-179	179-188
Energy level		High	High	Low	Low	High	Low	High	Low
Number of rats(n)		8	8	8	8	8	8	8	
Feeding period(d)		8	18	10	26	18	10	18	10
Feed intake	Mean	5.40 ^a	7.46 ^b	6.96 ^b	4.37 ^c	7.51 ^b	6.91 ^b	10.41 ^d	9.42 ^d
	(g/d) SD	0.27	0.34	0.35	0.86	0.61	0.27	0.55	0.68
Weight gain	Mean	1.96 ^a	2.80 ^b	0.80 ^c	0.68 ^c	2.98 ^b	0.66 ^c	3.59 ^d	1.05 ^c
	(g/d) SD	0.20	0.27	0.19	0.16	0.41	0.14	0.28	0.34
Feed intake/ Weight gain	Mean	2.77 ^a	2.68 ^a	9.09 ^b	6.59 ^b	2.52 ^a	10.85 ^b	2.91 ^a	9.50 ^b
	(g/g) SD	0.28	0.22	1.92	1.17	0.15	1.92	0.16	1.81

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

2. 식이 섭취량, 일증체량 및 식이 요구율

각 군별 식이 섭취량, 일증체량 및 식이요구율, 즉 9증체당 식이 소요량은 Table 3에 제시된 바와 같다.

본 실험에서는 동일한 단미 사료를 비율을 달리하여 배합했기 때문에, 식이 효율보다는 식이 요구율로서 실험 결과를 나타냈다. I a군과 II a군의 체중범위 54~69g에서 식이 섭취량은 각각 5.4g, 4.37g이었고 일증체량은 각각 1.96g, 0.68g으로서 고에너지 수준에서 1일증체량은 높게 나타났고, 식이 요구율은 각각 2.77g, 6.59g으로서 저에너지 수준에서 높았다. 이 두 군의 체중 범위 69~118g 범위 즉 보상 성장기에는 두 군간의 식이 섭취량 및 일증체량은 유이차가 인정되지 않았으나, 9증체당 식이 요구율에서는 II a군이 I a군보다 낮게 나타났다.

고에너지 수준으로 식이를 급여한 군 I a, 및 III a에서 식이

급여량을 대사 체중 기준으로 계산하여 급여했기 때문에 식이 섭취량은 체중이 증가함에 따라 많았고, 일증체량도 같은 비율로 상승하였지만, 19증체당 식이 요구량은 2.7g~2.9g 범위로서 차이가 없었다. 동일한 조건과 동일한 식이를 급여한 Yang (1987)의 실험 결과에서도 고에너지 수준으로 식이를 급여했을 때 일증체량은 뚜렷하게 증가하고 있으나, 9증체당 식이 요구량은 실험군간에 차이가 없었다. 이것은 체중이 증가함에 따라 식이 급여량의 증가가 높은 일증체량을 야기 시켰으나, 9증체당 식이 요구량은 변화 시키지 못했음을 의미한다. 고에너지 수준에서 저에너지 수준으로 낮춰 급여한 실험군 I b, II b와 III b에서 고에너지 급여군에서와 같이 식이 섭취량과 일증체량은 증가하였으나, 19증체당 식이 요구량은 9.1~10.9 g으로서 군간에 차이가 없었다.

Table 4. Chemical composition in growing rat¹⁾

Group		I a	I b	II a	II b	III a	III b
Energy level		H/-	H/L	L/H/-	L/H/L	H/-	H/L
Number of rats(n)		8	8	8	8	8	8
Feeding period(d)		26/-	26/10	26/18/-	26/18/10	44/-	44/10
Moisture	Mean	68.49 ^a	67.58 ^a	67.72 ^a	67.02 ^a	65.03 ^b	63.60 ^b
	(%) SD	0.71	0.86	0.73	1.02	1.15	1.72
Crude ash	Mean	3.83 ^a	4.04 ^{bc}	3.90 ^{ac}	4.14 ^b	3.61 ^d	3.76 ^d
	(%) SD	0.10	0.11	0.11	0.11	0.13	0.15
Crude fat	Mean	6.89 ^a	6.06 ^a	8.31 ^a	7.51 ^a	11.31 ^b	11.84 ^b
	(%) SD	0.87	0.44	0.75	1.35	1.27	2.17
Crude protein	Mean	19.61 ^a	20.77 ^b	19.03 ^a	20.74 ^b	19.34 ^a	20.26 ^b
	(%) SD	0.22	0.29	0.18	0.46	0.29	0.45

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

3. 체조성의 변화

고에너지 수준 및 저에너지 수준으로 급이한 각군의 도체의 화학적 조성은 Table 4와 같다.

고에너지 수준 식이에서 저에너지 수준 식이로 전환하여 10일간 사육하는 동안, 실험군 I b, II b 및 III b군에서 각 대조군에 비해 체수분 함량은 모두 감소하는 경향을 보였으나 유의차가 없었다. 체회분 함량과 체단백질 함량은 각각 대조군 I a, II a 및 III a 군에 비해 높았으나, 체회분 함량에서 III a와 III b간에는 유의성이 없었다. 그러나 체지방 함량은 I b군과 II b군에서 대조군에 비해 각각 감소하는 경향을 보였으며, III a 및 III b 군에서는 11.3% 및 11.84%로서 증가하는 경향을 보였으나 각각 대조군과 실험군간의 유의차는 없었다.

동일한 조건에서 진행된 Yang(1987)의 실험 결과에서도 체수분 함량은 저에너지 수준에서 실험 기간이 경과함에 따라 감소하였고, 고에너지 수준에서는 연령과 체중이 증가함에 따라 감소하였다. 조회분 함량은 저에너지 수준에서 연령이 증가함에 따라 3.1%에서 4.3%로 증가하였고, 고에너지 수준에서 연령과 체중이 증가함에 따라 3.9%에서 3.6%로 감소하였다. 체지방 함량은 연령과 체중이 증가함에 따라 5.1%에서 11.2%로 현저히 증가하는 반면, 저에너지 수준에서는 10일까지는 체지방 함량이 감소 하였으나, 그 이후는 낮은 증가를 보였다. 또한 고에너지 수준으로 식이를 급여한 실험에서 연령과 체중이 증가함에 따라 체지방 함량이 증가하는 만큼 체수분 함량이 감소하였다. 그리고 저에너지 수준으로 식이를 급여한 후 체단백질 함량은 10일까지 약간 증가하였으나, 그 이후는 변화를 보이지 않았으며, 고에너지 수준에서는 체단백질 함량은 연령과 체중이 증가해도 차이를 보이지 않았다.

4. 체성분 축적

고에너지 수준 및 저에너지 수준으로 급이한 실험 동물의 체성분 축적은 각각 Table 5에 나타났다. 여기서 총체성분 축적량은 대조군과 실험군의 체성분 총량의 차이로 구했다. 각 체성분의 1일 축적량은 체성분의 총축적량을 각각 실험 일수로 나누어 계산하였다. 저에너지 수준으로 급이하는 동안 체중은 감소하지않고 오히려 증가하였으므로, 체중과 체조성의 변화에 따른 체성분 총량을 비교해 보았다. 10일간 저에너지 수준으로 급여한 실험군의 체수분 축적량은 I b, II b 및 III b에서 각각 대조군에 비해 4.86g, 1.67g 및 3.6g이 증가하였고, 조회분은 각각 0.60g, 0.47g 및 0.59g 그리고 체단백량은 3.142g, 2.78g 및 3.57g이 증가하였다. 그러나 체지방량은 각 대조군에 비해 I b군은 0.6g, II b군에서는 0.66g 감소한 반면, III b군에서는 2.3g 증가하였으나 각 대조군과 실험군간의 유의차는 없었다.

Table 5. Deposition of chemical components in growing rats¹⁾

Group	I b	II b	III b	III a
Range of body weight(g)	118 - 127	118 - 125	179 - 188	118 - 179
Energy level	Low	Low	Low	High
Feeding period(d)	10	10	10	18
Deposition of Moisture(g)	4.86	1.67	3.60	34.87
(mg/d)	486 ^a	167 ^a	360 ^a	1937 ^b
Crude ash(g)	0.60	0.47	0.59	1.91
(mg/d)	60 ^{abc}	47 ^a	59 ^{ab}	106 ^{ab}
Crude fat(g)	-0.60	-0.66	2.30	11.79
(mg/d)	-60 ^a	-66 ^{ab}	230 ^{abc}	655 ^c
Crude protein(g)	3.14	2.78	3.57	11.25
(mg/d)	314 ^{ab}	278 ^a	357 ^{abc}	625 ^{bc}

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

5. 에너지 급여 수준 및 에너지 대사

Table 6은 대사 에너지 섭취량, 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지, 그리고 열발생량을 대사 체중 기준으로 나타내고있다. 본 실험에서 체단백질 및 체지방의 에너지 함량은 Brouwer (1965)의 측정치 23.9kJ/g 및 39.8kJ/g, 그리고 고에너지 수준 및 저에너지 수준 식이의 대사 에너지 함량은 Brüggemann (1984)의 측정치 17.0 kJ/g과 16.9 kJ/g을 이용하였다. 그리고 일 열발생량은 대사 에너지의 섭취량에서 체지방과 체단백질로 축적된 에너지량을 빼어 구하였다.

Table 6. Energy deposited for body fat and body protein, and heat production per metabolic body weight in growing rats¹⁾

Group	I b - I a	II b - II a	III b - III a	III a - I a
Mean of body weight(g)	120.7	119.4	180.4	142.5
Feeding period(d)	10	10	10	18
Energy level	Low	Low	Low	High
ME intake (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	575	575	576	764
Energy deposited for body fat (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	-12 ^a	-14 ^a	30 ^b	112 ^c
body protein (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	36 ^a	33 ^a	29 ^a	64 ^b
Heat Production (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	551 ^a	557 ^a	517 ^b	587 ^c

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

고에너지 수준 및 저에너지 수준에서의 대사 에너지 섭취량은 각각 평균 764kJ 및 575kJ로서 약 25%의 에너지 섭취를 제한하였으나, 대사 체중당 조단백질 섭취량은 두 에너지 수준에서 동일하게 1일 5.0g씩 섭취할 수 있도록 배합되었다. 세 실험군에서 체단백질로 축적된 에너지는 I b, II b 및 III b군에서 각각 36kJ, 33kJ 및 29kJ로서 차이를 보이지 않았다. 반면 연령이 낮은 군 I b에서는 대사체중당 1일 12kJ의 체지방이 감소하였고, II b군에서도 14kJ의 체지방이 감소하였으나, 체중이 높은군(III b)에서는 30kJ의 에너지가 체지방으로 축적되었다. 대사 체중당 1일 열발생량도 연령이 낮은 군(I b)에서 551kJ, II b군에서는 557kJ이었으나, 체중이 높은 군(III b)에서는 517kJ로서, 1일 열발생량은 연령과 체중이 증가함에 따라 약 10%가 감소하였는 Yang(1995)의 실험결과에 대해서 연령보다는 체중이 1일 열발생량에 더 크게 영향을 미친다고 해석할 수 있다.

연령과 체중이 증가함에 따라 열발생량의 감소는 고에너지 수준으로 식이를 급여했을 때 Yang(1987)의 결과에서도 볼 수 있었는데, 쥐의 체중 범위 60~90g과 150~180g에서 대사 체중당 1일 열발생량은 각각 624kJ 및 570kJ로서 8.6%가 감소하였다. 본 실험의 결과를 분석해볼 때, 연령과 체중이 증가함에 따라 대사 체중당 1일 열발생량의 감소하는 원인은 1) 유지 에너지의 감소 2) 체지방 및 체단백질의 합성을 위한 에너지 이용 효율의 증가 3) 이 두가지가 동시에 나타날 수 있으나, 이보다는 연령과 체중이 증가함에 따라 감소한 만큼의 유지 에너지가 체지방 및 체단백질 합성에 이용되므로 인해, 대사 에너지의 이용 효율을 증기시켰을 것이라 추정한다.

여러 실험 동물에서 연령과 체중이 증가함에 따라 대사 체중당 유지 에너지가 낮아진다고 보고하였다(Verstegen, 1970 ; Fuller and Boyne, 1972 ; Hoffmann et al., 1979 ; Gdeken et al., 1985 ; Barrows and Snook, 1987).

그밖의 많은 연구들이 실험 동물에서 에너지 제한 후 비제한했을 때, 비제한 대조군에서보다 실험군에서 많은 에너지가 체지방으로 축적되었다고 보고하였다(Meyer and Clawson, 1964 ; Szepesi and Epstein, 1976 ; Harris and Widdowson, 1978 ; Ozelci et al., 1978 ; Okasaki et al., 1981 ; Jger, 1985).

또한 Jäger(1985)의 실험 결과에 의하면 보상 성장 과정에서 대조군에 비해 식이를 같은 량 섭취한 경우에도, 10.6~16.4% 많은 에너지가 체성분으로 축적되었고, 대사 체중당 1일 열발생량은 감소하였다고 하였다. 식이 제한후 유지 에너지의 감소가 보상 성장 기간에도 어느 정도 지속되는지도 규명하여야할 과제이다.

적 요

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 48 마리를 4일 동안 고에너지 수준 식이($45g \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$)로 급여하여 실험동물 사육실에서 적응시킨 후 각 8마리씩 6개군으로 나누어 대사 케이지에 한 마리씩 완전 임의 배치하였다.

I a군과 I b군은 평균 체중이 120g이 될 때까지, III a, III b군은 평균 체중이 180g이 될 때까지 고에너지 수준으로 식이를 급여하였다. 대조군 I a과 III a군은 희생시켰으며, 각 실험군은 10일 동안 저에너지 수준($34g \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$)으로 식이를 급여한 후 희생시켜 분석하였다.

II a, II b군은 I 군과는 연령이 다르면서 같은 체중을, III 군과는 체중이 다르면서 같은 연령군을 얻기 위해서, 26일간 저에너지 수준 식이를 급여한 후 18일간 고에너지 수준 식이를 급여하여 대조군 II a는 희생시켰으며 실험군 II b는 다른 군과 마찬가지로 10일간 저에너지 수준 식이를 급여한 후 희생시켜 체성분 분석을 하였다.

조단백질 급여량은 에너지 수준에 관계없이 모두 대사 체중($kg^{0.75}$)당 1일 5.1g이 되도록 하였다.

10일간 저에너지 수준으로 급여한 실험군의 체수분 축적량은 I b, II b 및 III b에서 각각 대조군에 비해 4.86g, 1.67g 및 3.6g 증가하였고, 조회분은 각각 0.60g, 0.47g 및 0.59g 그리고 체단백량은 3.142g, 2.78g 및 3.57g 증가하였다. 그러나 체지방량은 각 대조군에 비해 I b군은 0.6g, II b군에서는 0.66g 감소한 반면, III b군에서는 2.3g 증가하였다.

저에너지 수준 및 고에너지 수준에서의 대사 에너지 섭취량은 각각 평균 575kJ 및 764kJ이었다. 세 실험군에서 체단백질로 축적된 에너지는 I b, II b 및 III b군에서 각각 36kJ, 33kJ 및 29kJ로서 차이를 보이지 않았다. 반면 연령이 낮은 군 I b에서는 대사 체중당 1일 12kJ의 체지방이 감소하였고, II b군에서도 14kJ의 체지방이 감소하였으나, 체중이 높은군(III b)에서는 29kJ의 에너지가 체지방으로 축적되었다. 대사 체중당 1일 열발생량도 체중이 낮은 군(I b)에서 551kJ, II b군에서는 557kJ이었고, 체중이 높은 군(III b)에서는 517kJ이었다.

참고 문헌

Barrow, K. and J. J. Snook, 1987. Effect of high-protein, very low-calorie diet on resting metabolism, thyroid hormones, and expenditure of obese middle-aged women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 45 : 391-398.

- 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.
- 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.
- Fuller, M. F. and A. W. Boyne, 1972. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 2. Energy metabolism. *Br. J. Nutr.* 28 : 373–384.
- Gdeken, D., Oslage, H. J. and H. Böhme, 1985. Untersuchungen zum energetischen Erhaltungsbedarf und zur Verwertung der umsetzbaren Energie für den Protein- und Fettansatz bei Ferkeln. *Arch. Tierernähr.* 35 : 481–494.
- Harris, P. M. and E. 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.
- Hoffmann, L., Schiemann, R., and W. Jentsch, 1979. Die Verwertung der Futterenergie durch wachsende Schweine. *Arch. Tierernähr.* 29 : 93–109.
- 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., 1985. Untersuchung an wachsenden Ratten zum Einfluß der Dauer einer zeitlich begrenzten Reduktion der Energiezufuhr auf den Proteinumschlag und den Stoffansatz. Diss. Uni. Bonn
- Khan, M. A. and A. E. Bender, 1979. Adaptation to restricted intake of protein and energy. *Nutr. Metab.* 23 : 449–457.
- 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.
- Mohan, P. F. and N. B. S. Rao, 1983. Adaptation to underfeeding in growing rats. Effect of energy restriction at two dietary protein levels on growth, feed efficiency, basal metabolism and body composition. *J. Nutr.* 113 : 79–85.
- 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.
- Sachs, L., 1968. Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. Sohar, E. and E. Sneh, 1973. Follow-up of obese patients 14 years after a successful reducing diet. *Am. J. Clin. Nutri.* 26 : 845–848.
- Schubö, W. and H. M. Uehlinger, 1984. SPSS Handbuch der Programmversion 2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Szepesi, B. and M. C. Epstein, 1976. Effect of severity of caloric restriction on subsequent compensatory growth. *Nutr. Rep.* 14 : 567–574.
- Verstegen, M. W. A., 1970. Heat production and energy balances of growing pigs at normal and low temperature, in : Energy metabolism of farm animals (Schüch, A. and C. Wenk ed.) EAAP-Publ. Nr. 13, Juris Druck + Verlag, Zürich, 173–176.
- 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.
- Yang, Y. H. 1987. Einfluß von Alter, Lebendmasse und Fütterungsniveau auf den Stoffansatz bei wachsenden Ratten. Diss. Uni. Bonn
- Yang, Y. H. 1995. Effects of energy restriction at different ages and body weights on body composition and energy metabolism in growing rats. *Cheju App. Rad. Res. Inst. Ann. Report Vol.* 9 : 33–42.