

에너지 제한 섭취의 기간이 성장중인 쥐의 체조성 및 에너지 대사에 미치는 영향

양양한

제주대학교 자연과학대학 식품영양학과

Effects of Energy Restriction at Different Periods 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 different periods on body composition and energy metabolism in growing rats have been investigated. The 66 male rats from Spague dawley were divided into eight groups; group O involved 10 rats and the other groups with 8 rats each. Group Ib fed with energy level(HEL; $45\text{g}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{d}^{-1}$) for the feeding period have been reached 180g. IIa-b, IIIa-b and IVa-b were fed with low energy level (LEL; $34\text{g}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{d}^{-1}$) for 10, 17 and 24 days respectively, and then the carcass composition of each control groups(IIa, IIIa and IVa) was determined. Meanwhile, the experimental groups(IIb, IIIb and IVb) fed with high energy level for the various feeding periods have been reached 180g. The crude proteins of high and low energy levels of diets were 11.3% and 15.0%, respectively, and the intake of crude protein of LEL and HEL were 5.1g per metabolic body weight. The daily weight gains of Ib, IIb, IIIb and IVb were 3.08g, 3.77g, 3.99g and 4.35g, respectively, and feed conversion were 3.01, 2.58, 2.49 and 2.37, respectively. The daily moisture depositions of Ib, IIb, IIIb and IVb were 1744mg, 2055mg, 2077mg and 2308mg, and the daily deposition

of crude ash were 130mg, 105mg, 117mg and 100mg, and those of crude fat were 211mg, 610mg, 717mg and 830mg, and those of crude protein were 647mg, 615mg, 506mg and 585mg, respectively. The daily heat productions of Ib, IIb, IIIb and IVb per metabolic body weight were 618 kJ, 579 kJ, 558 kJ and 537 kJ, respectively.

Key Words : Energy restriction, Body composition, Heat production

서론

제한 급여란 일정 기간 식이를 제한하여 급여함을 말한다. 제한 급여후 식이를 비제한 급여시는 같은 체중 범위에서 대조군에 비해 식이 섭취량이 증가하며, 따라서 1일 증체량이 높고, 식이요구율도 현저히 감소한다. 이런 현상을 보상 성장이라 하는데, 이 현상을 생체 항상성의 기전으로 설명할 수 있으나, 아직 그 원인은 명확하게 규명되어 있지 않다. 식이를 제한 급여했을 때 제한 정도가 크면 체중이 감소하게 되는데, 그 다음 식이를 비제한 급여하면 감소한 체중을 빨리 만회한다(Fried et al., 1983; Hill et al., 1984; Harris et al., 1984; Khan et al., 1979). Harris 등(1984)과 Szepesi 등(1976)은 식이 제한후 비제한 급여 기간중 비제한 대조군에 비해 식이 섭취량의 증가가 그 원인임을 지적하였으나, 비제한 급여 기간중 대조군과 동량의 식이를 급여하였을 때도 이 현상은 나타난다고 하였다(Fried et al., 1983, Boyle et al., 1978). 그리고 사람에게 있어서도 식이 제한으로 감소된 체중을 쉽게 회복하였다고 하였다(Sohar et al., 1973; 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 회복군과 대조군 사이에 차이가 없었다고 한다. 본 실험에서는 에너지 섭취제한 기간의 1일 증체량 및 체조성의 변화와 대사 에너지의 이용에 대해 밝히고자 했다.

재료 및 방법

1. 실험 계획

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 66마리를 사육실에서 6일동안 적응기를 둔 후 8개군으로 나누었다. O군의 10마리는 대조군으로 실험 시작전에 체성분 분석을 위해 도살하였고, 나머지군은 각각 8마리씩 균편성하여 대사 케이지에 한 마리씩 완전 임의 배치하였다. 균편성시 각군의 실험 동물의 체중은 평균과 표준 편차를 비슷하게 조정하여 실험군에 배치하였다.

군은 180g이 될 때까지 고에너지 수준(45g·kg^{-0.75}·d⁻¹)으로 식이를 급여하였다. IIa와 IIb군은 10일간, IIIa와 IIIb는 17일간, IVa와 IVb는 24일간 각각 저에너지 수준(34g·kg^{-0.75}·d⁻¹)으로 식이를 급여한 후 각각의 대조군인 IIa, IIIa, IVa군은 희생하였고, 실험군인 IIb, IIIb, IVb군은 각각 평균 체중이 180g이 될 때까지 고에너지 수준으로 식이를 급여하였다. 실험이 끝난 군은 희생하여 체성분 분석에 이용하였다.

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 섭취량은 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서 모두 대사 체중(kg 0.75)당 1일 5.1g이 되도록 하였다.

Table 1. Composition of experimental diets (g/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. (20 g/kg diet) contained

Vit. A, 5000 IU; vit. D3, 500 IU; vit. E, 50 mg;

vit. K3, 1 mg; vit. B1HCl, 20mg; VIT. B2, 20mg;
vit. B6.HCO, 10mg; calcium pantothenate, 50mg;
nicotinic acid 50mg; cholin chloride, 100mg;
folic acid, 2mg; inositol, 100 mg;
p-aminobenzoic acid, 100mg; vit. B12, 30 μg;
biotin, 200 μg; sucrose powdered to make 20 g

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

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

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 체중을 기준으로 대사 체중당 1일 고에너지 수준에서는 대사 체중당 45g의 HEL 식이를, 저에너지 수준에서는 대사 체중당 1일 34g의 LEL 식이를 고형물 기준으로 계산하여 급여하였다. 식이는 오후 4:00시에 급여하였고, 아침 8:00시에 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 12시간 간격 (점등 시간 06:00~18:00, 소등 시간 18:00~06:00)으로 조절하였다.

실험이 끝난 쥐는 장 내용물을 최소화하기 위해 식이 섭취 후 약 16시간 경과후 오후 2시에 chloroform으로 희생시켰다.

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 냉동

실에서 보관하였다. 냉동 건조시킨 시료를 다시 곱게 분쇄기로 분쇄하여 채성분 분석하였다.

5. 시료의 화학적 성분 분석

일반 시료의 고형물 함량은 2g~4g 의 시료를 105℃ 로 고정된 drying oven에서 항량이 될 때까지 수분을 증발시킨 후 잔유물의 백분율로 구하였다. 균질기에서 분쇄한 쥐시료는 10g~15g을 취하여 48~72시간 동안 건조시켜 고형물 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.

6. 통계 분석

본 실험의 자료는 SPSS program을 이용하여 통계 처리하였다. 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 제외한 후, 정규 분포 검정을 다시 실시 하였다. 각 군간의 유의성은 유의 수준 $p < 0.05$ 에서 분산 분석한 후, 각군의 평균치간의 유의성 검정을 Scheffe'-test로 하였다.

결과 및 고찰

1. 실험 경과

실험 동물의 손실 없이 본실험은 실험 계획대로 진행되었다. 실험 경과중의 체중은 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 결과와 같이 군편성후 각군의 평균체중은 104.5~104.9g 범위로서 각 군간에 유사하게 편성되었다. 그리고 실험 종료시 Ia, IIb, IIIb, IVb군의 평균 체중은 각각 181.1g, 180.2g, 183.1g 및 181.3g이었고, IIa, IIIa 및 IVa군의 평균 체중은 각각 106.2g, 113.1g 및 124.7g 이었다.

본 실험에서는 에너지 제한 정도가 컸기 때문에 실험 개시 후 2일동안 실험 동물의 체중 감소는 관찰되었다. Mohan 등(1983)도 에너지 제한 초기에는 기초 대사량을 감소 시키지 않고 성장이 지연되나, 제한 정도가 클 경우는 체중 감소를 동반 할 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 각각 측정 하였는데, 이 체중의 차이는 물 섭취와 분과 오줌의 배설에 의한 것으로 볼 수 있다.

Table 2. The change of body weight during experimental period

Group		O	I b	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVa	IVb
Energy level		—	H	L	L/H	L	L/H	L	L/H
Number of rats(n)		10	8	8	8	8	8	8	8
Feeding period(d)		0	27	10	10/20	17	17/18	24	24/13
Grouping (g)	Mean	104.5	104.7	104.7	104.6	104.8	104.8	104.9	104.9
	SD	7.2	7.1	6.4	6.6	6.3	6.3	5.8	6.0
Final body weight (g)	Mean	—	181.1	106.2	180.2	113.1	183.1	124.7	181.3
	SD	—	10.6	4.3	13.5	10.3	11.0	8.0	10.6
Carcass weight (g)	Mean	99.9	173.7	104.4	172.8	108.4	171.5	120.4	171.5
	SD	6.4	9.7	5.7	12.6	10.0	9.2	7.8	9.5

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.

과함에 따라 증가하였다. 양(1994)의 실험 결과에서도 저에너지 수준 급이한 쥐의 체수분 함량은 연령이 증가함에 따라 감소하였고, 조회분 함량은 연령이 증가함에 따라 3.1%에서 4.3%로 증가 하였으며, 체지방 함량은 저

Table 3. Feed intake, body weight gain and feed conversion¹⁾.

Goup	I b	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVa	IVb	IIb	IIIb	IVb
Energy level	H	L	L	L	L	L	L	H	H	H
Number of rats(n)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Feeding period(d)	27	10	10	17	17	24	24	20	18	13
Feed intake Mean (g/d)	9.26	5.86	5.92	5.97	5.86	6.34	6.33	9.74	9.97	10.30
SD	0.34	0.25	0.26	0.31	0.34	0.17	0.24	0.55	0.39	0.45
Weight gain Mean (g/d)	3.08 ^a	1.24 ^b	1.32 ^b	0.98 ^b	0.95 ^b	1.25 ^b	1.31 ^b	3.77 ^c	3.99 ^c	4.35 ^d
SD	0.21	0.53	0.23	0.33	0.15	0.23	0.27	0.46	0.17	0.42
Feed intake/weight gain Mean (g/d)	3.01 ^a	4.73 ^b	4.48 ^b	6.09 ^b	6.17 ^b	5.07 ^b	4.83 ^b	2.58 ^c	2.49 ^c	2.37 ^c
SD	0.17	2.83	0.70	1.51	0.87	0.93	1.16	0.24	0.08	0.26

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

일증체량은 고에너지 수준 식이를 급여한 모든 군에서 저에너지 수준으로 급이한 군보다 높게 나타났으며, 에너지 제한 기간이 길면 길수록 보상성장 기간에 Ib군보다 일증체량이 높았으나, IIb, IIIb, IVb군간에 유의차는 없었다. 이 결과는 에너지 제한 기간이 길면 길 수록 대사 체중당 유지 에너지 감소가 식이 이용 효율을 증가시켰다고 볼 수 있다.

한편 식이 요구율은 고에너지 수준으로 급이한 모든 군에서 저에너지 수준으로 식이를 급여한 군보다 모두 낮게 나타났다. 그리고 에너지 제한후 보상에 Ib군보다 식이 요구율은 낮았으나, IIb, IIIb, IVb군간에는 유의차가 없었다.

3. 체조성의 변화

저에너지 수준으로 식이를 급여한 군 및 저에너지 수준으로 식이를 급여한 후 고에너지 수준으로 식이를 급여한 군의 도체의 체조성은 Table 4와 같다.

저에너지 수준으로 급이한 쥐의 체수분 함량은 10일, 17일 및 24일후에 각각 71.7%, 70.6% 및 69.9%로서 감소하는 경향을 보였다. 그러나 조회분 함량과 조단백질 함량은 어떤 변화도 보이지 않았으나, 조지방 함량은 시간이 경

에너지 수준으로 식이를 급여한 실험에서는 10일까지는 체지방 함량이 감소 하였으나, 그 이후는 낮은 증가를 보였다. 저에너지 수준으로 식이를 급여한 후 체단백질 함량은 10일후 16.7%에서 20.6%로 증가하였으며 그 이후는 변화를 보이지 않았다.

저에너지 수준으로 각각 0일, 10일, 17일 및 24일 동안 식이를 급여한 후 180g까지 고에너지 수준으로 급이한 쥐의 조회분과 조단백질 함량은 차이를 보이지 않았으나, 체수분 함량은 감소하는 경향을 보였고, 체지방 함량은 Ib군에 비해 증가하는 경향을 보였다.

4. 체성분 축적

체수분, 조회분, 조지방 및 조단백질의 실험 기간내의 일 축적량은 Table 5에 나타내었다. Ib군, IIa군, IIIa군 및 IVa군은 실험 개시후 희생한 O군과의 차이로, 그리고 IIb군, IIIb군 및 IVb군은 각각 IIa, IIIa 및 IVa군과의 차이로서 체성분 축적량을 계산하였다. 각 체성분의 1일 축적량은 체성분의 총축적량을 각각 실험 일수로 나누어 계산하였다.

체수분의 일축적량은 고에너지 수준에서 저에너지 수준

Table 4. Chemical composition¹⁾.

Group		O	I b	II a	II b	III a	III b	IV a	IV b
Energy level		--	H	L	L/H	L	L/H	L	L/H
Number of rats (n)		10	8	8	8	8	8	8	8
Feeding period(d)		0	27	10	10/20	17	17/18	24	24/13
Moisture (%)	Mean	71.3 ^a	68.1 ^{bc}	71.7 ^a	67.1 ^b	70.6 ^a	66.4 ^b	69.9 ^{ac}	66.6 ^b
	SD	0.6	1.3	0.6	1.6	0.5	0.8	0.5	1.0
Crude ash (%)	Mean	3.1 ^a	3.8 ^b	4.1 ^{bc}	3.7 ^c	4.1 ^{bc}	3.8 ^b	4.3 ^c	3.8 ^b
	SD	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1
Crude fat (%)	Mean	7.2 ^a	7.4 ^a	2.9 ^b	8.8 ^{ac}	2.9 ^b	9.7 ^c	3.7 ^a	8.9 ^{ac}
	SD	0.7	1.5	0.8	1.7	0.8	0.9	0.7	1.0
Crude protein (%)	Mean	16.8 ^a	19.6 ^c	20.3 ^c	19.4 ^c	21.2 ^b	18.7 ^c	21.0 ^b	19.2 ^c
	SD	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3

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

Table 5. Deposition of chemical components¹⁾.

Group		I b	II a	II b	III a	III b	IV a	IV b
Energy level		--	L	L/H	L	L/H	L	L/H
Number of rats (n)		8	8	8	8	8	8	8
Feeding period(d)		27	10	10/20	17	17/18	24	24/13
Deposition of Moisture (%)	(%)	47.1	3.6	41.1	5.3	37.4	12.9	30.0
	(mg/d)	1744 ^a	362 ^b	2055 ^c	309 ^b	2,077 ^c	539 ^b	2308 ^c
Crude ash (%)	(%)	3.5	1.1	2.1	1.2	2.1	2.0	1.3
	(mg/d)	130 ^a	109 ^a	105 ^b	73 ^c	117 ^a	82 ^c	100 ^a
Crude fat (%)	(%)	5.7	-4.2	12.2	-4.0	12.9	-2.8	18.8
	(mg/d)	211 ^a	-421 ^b	610 ^a	-237 ^b	717 ^c	-116 ^c	830 ^a
Crude protein (%)	(%)	17.2	4.4	12.3	6.2	9.1	8.6	7.6
	(mg/d)	647 ^a	439 ^b	615 ^a	365 ^b	506 ^a	356 ^b	585 ^a

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

에서 보다 높았으나, 저에너지 수준 식이의 급여 기간에 따른 차이는 없었다. 보상 성장기에는 저에너지 수준 식이 급여 기간이 길면 길수록 일체수분 축적량은 많았다.

조희분의 일축적량은 고에너지 수준에서 저에너지 수준으로 굶이한 군보다 높았으나, 저에너지 수준 식이와 고에너지 수준 식이의 급여 기간에 따른 차이는 없었다.

조지방의 일축적량은 저에너지 수준에서는 각각 421mg, 237mg 및 116mg이 감소한 반면, 보상 성장기에는 저에너지

수준으로 굶이한 기간이 길면 길 수록 많은 양의 조지방이 축적되었다.

조단백질의 일축적량은 고에너지 수준에서 저에너지 수준 보다 높았으며, 저에너지 수준간 및 고에너지 수준간에는 차이를 보이지 않았다.

양(1994) 실험결과에 의하면 총체지방 축적량은 저에너지 수준으로 식이를 급여할 때 5일 후에는 2.0g, 10일 후에는 3.4g 각각 감소 하였으나, 실험 기간이 지속됨에 따라

체지방 총량은 더 이상 감소하지 않고 서서히 증가함을 보여주고 있다. 그리고 체수분 총량도 체지방과 함께 5일 까지 감소 하였다. 총회분 축적량은 저에너지 수준으로 급이 하는 동안 0.5g 에서 3.0g까지, 체단백질 축적량은 2.2g에서 12.0g으로 증가 하였다.

5. 에너지 급여 수준 및 에너지 대사

Table 6은 대사 에너지 섭취량, 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지, 그리고 열발생량을 대사 체중 기준으로 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 고에너지 수준 및 저에너지 수준 식이의 대사 에너지 함량은 Brüggemann(1984)의 측정치 17.0 kJ/g과 16.9 kJ/g을 이용하여 계산하였다. 1일 열발생량은 대사 에너지 섭취량에서 체지방과 체단백질로 축적된 에너지를 빼어 계산하였다.

체지방으로 축적된 에너지는 1일 대사 체중당 IIa, IIIa, IVa 군이 각각 92 kJ, 52 kJ 및 24 kJ 감소하였다. 그러나 Ib, IIb, IIIb 및 IVb군은 각각 36 kJ, 101 kJ, 124 kJ 및 130 kJ로서 에너지 제한기간이 길면 길어질수록 보상 성장기에 많은 에너지가 체지방으로 축적되었다.

대사체중당 1일 열발생량은 IIa, IIIa 및 IVa군이 각각 614 kJ, 583 kJ 및 560 kJ로서 저에너지 수준의 급이 기간이 길면 길수록 감소하는 경향을 보였고, Ib, IIb, IIIb 및 IVb군은 각각 618 kJ, 579 kJ, 558 kJ 및 537 kJ로서 에너지 제한 길이가 길면 길수록 보상 성장기에 1일 열발생량이 감소하는 경향을 보였다.

양(1994)의 결과에 의하면, 저에너지 수준에서 급이 기간이 경과함에 따라서, 대사 체중당 체단백질로 축적된 에너지는 낮게 감소하는 경향을 보였다. 그러나 체지방으로 축적된 에너지는 실험 개시후 10일까지 감소했으나, 그 이후는 낮게 증가하는 경향을 보였다. 일 열발생량은 실험 기간이 경과 할수록 감소하는 경향을 보였다.

Table 6. Energy deposited for body fat and body protein, and heat production per metabolic body weight¹⁾.

Group	I b	II a	II b	III a	III b	IV a	IV b
Energy level	27	10	20	17	18	24	13
Number of rats (n)	H	L	H	L	H	L	H
Feeding period(d)	142	104	149	106	149	110	162
ME intake (kJ·kg ^{-0.75} ·d ¹)	720	579	758	578	732	580	721
Energy deposited for body fat (kJ·kg ^{-0.75} ·d ¹)	36 ^a	-92 ^b	101 ^c	-52 ^d	124 ^c	-24 ^d	130 ^e
body protein (kJ·kg ^{-0.75} ·d ¹)	66 ^a	57 ^{ab}	61 ^{ac}	47 ^b	50 ^{ac}	44 ^b	54 ^{ac}
Heat production (kJ·kg ^{-0.75} ·d ¹)	618	614	579	583	558	560	537

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

고에너지 수준 및 저에너지 수준의 대사 에너지 섭취량은 각각 평균 733 kJ 및 579 kJ이었다.

체단백질 축적된 에너지는 IIa, IIIa 및 IVa군에서 각각 대사 체중당 1일 57 J, 47 kJ 및 44 kJ로서 저에너지 수준 간에는 차이를 보이지 않았다. Ib, IIb, IIIb 및 IVb군에서 체단백질로 축적 에너지는 각각 66 kJ, 61 kJ, 50 kJ 및 54 kJ로서 고에너지 수준에서도 차이를 보이지 않았다.

그밖의 많은 연구들이 실험 동물에서 에너지 제한 후 비제한했을 때 비제한 대조군에서 보다 실험군에서 많은 에너지가 체지방으로 축적되었다고 보고하였다(Meyer and Clawson,1964, Szepesi and Epstein,1976, Harris and Widdowson, 1978, Ozelci 등, 1978, Okasaki 등, 1981, Jger,1986). Corbett 등(1986)은 쥐를 고에너지 식이를 급여했을 때 실험 종료시 체중은 26%, 지방 세포의 크기는

61% 그리고 지방 세포수는 48%가 저에너지 식이를 급여한 쥐에서보다 증가하였으나, 에너지 제한 후는 지방 세포의 크기만 적었다고 하였다. 여러 실험 동물에서 연령과 체중이 증가함에 따라 대사 체중당 유지 에너지가 낮아진다고 보고 하였으나(Verstegen, 1970; Fuller and Boyne, 1972; Hoffmann 등, 1979; G deken 등, 1985; Barrows and Snook, 1987), Walker 와 Garret (1970)은 저에너지 수준으로 급이한 동물에서 유지를 위한 에너지 요구량이 고에너지 수준으로 급이한 경우 보다 낮았는데(Forsum 등, 1981), 이 감소한 유지 에너지 요구량의 일부가 보상 성장 과정에서 나타났을 것이라 추정했다.

그리고 많은 연구들이 에너지 제한이 기초 대사량, 유지 에너지가 대조군에 비해 감소했다고 보고하고 있으나, 에너지 제한 이후 어느 연령 단계 또는 체중 단계까지 영향을 미쳤는지에 대한 연구도 필요하다 여겨진다.

적 요

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 66마리를 8개군으로 나누었다. O군의 10마리는 대조군으로 실험 시작전에 체성분 분석을 위해 도살하였고, 나머지군은 각각 8마리씩 대사 케이지에 한마리씩 완전 임의 배치하였다.

Ib군은 180g이 될 때까지 고에너지 수준($45g \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$)으로 식이를 급여하였다. IIa와 IIb군은 10일간, IIIa와 IIIb는 17일간, IVa와 IVb는 24일간 각각 저에너지 수준($34g \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$)으로 식이를 급여한 후 각각의 대조군인 IIa, IIIa, IVa군은 희생하였고, 실험군인 IIb, IIIb, IVb군은 각각 평균 체중이 180g이 될 때까지 고에너지 수준으로 식이를 급여하였다. 실험이 끝난 군은 희생하여 체성분 분석에 이용하였다.

저에너지 수준 식이 및 고에너지 수준 식이의 조단백질 함량을 각각 15% 및 11.3%가 되도록 고형물 기준으로 배합하여, 조단백질 섭취량은 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서 모두 대사 체중($kg^{0.75}$)당 1일 5.1g이 되도록 하였다.

Ib, IIb, IIIb 및 IVb군의 일증체량은 각각 3.08g, 3.77g, 3.99g 및 4.35g이었고, 식이 요구율은 각각 3.01, 2.58, 2.49 및 2.37이었다.

Ib, IIb, IIIb 및 IVb군의 체수분의 일축적량은 각각 1744mg, 2055mg, 2077mg 및 2308mg이었고, 조지방분의 일축적량은 각각 130mg, 105mg, 117mg 및 100mg이었으며, 체지방의 일축적량은 각각 211mg, 610mg, 717mg 및 830mg, 그리고 체단백질의 일축적량은 각각 647mg, 615mg, 506mg 및 585mg이었다.

대사 체중당 1일 열발생량은 IIa, IIIa 및 IVa군이 각각 614 kJ, 583 kJ 및 560 kJ로서 저에너지 수준의 급이 기간이 길면 길수록 감소하는 경향을 보였고, Ib, IIb, IIIb 및 IVb군은 각각 618 kJ, 579 kJ, 558 kJ 및 537 kJ로서 에너지 제한 길이가 길면 길수록 보상 성장기에 1일 열발생량이 감소하는 경향을 보였다.

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. 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.*
- Forsum, E., Hillmann, P. E. and M.C. Nesheim, 1981. Effect of energy restriction on total heat production, basal metabolic rate, and specific dynamic action of food in rats. *J. Nutr.* 111: 1691-1697.
- 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.
- Güdeken, D., Oslage, H. J. and H. B. hme, 1985. Untersuchungen zum energetischen Erhaltungsbedarf und zur Verwertung der umsetzbaren Energie für den Protein– und Fettansatz bei Ferkeln. *Arch. Tierern hrg.* 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. Tierern hr.* 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
- J ger, K., 1986. Untersuchung an wachsenden Ratten zum Einflu 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 efficieney, 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 cath–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 Acculation in rats. *J. Nutr.* 108: 1724–1732.
- Sachs, L., 1968. *Statistische Auswertungsmethoden.* Soringer 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. 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.

Verstegen, M. W. A., 1970. Heat production and energy balances of growing pigs at normal and low temperature, in: *Energy metabolism of farm animals* (Sch ch, A. and C. Wenk ed.) EAAP-Publ. Nr. 13, Juris Druck + Verlag, Zurich, 173-176.

Walker, J. J. and W. N. Garrett, 1970. Shift in the

energy metabolism of male rats during their adaptation to prolonged undernutrition and during their subsequent realimentation, in: *Energy metabolism of farm animal* (Sch ch, A. and C. Wenk ed.) F 82, Juris Druck + Verlag, Zurich, 193-196.

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

양양환, 1994. 성장중인 쥐에서 에너지 급여 수준이 체조성 및 에너지 대사에 미치는 영향. *제대논문집(자연)*, 39: 69-80