

다른 연령과 체중에서 에너지 섭취의 감소가 성장중인 쥐의 체조성 및 에너지 대사에 미치는 영향

양 양 한

제주대학교 자연과학대학 식품영양학과

Effects of Energy Restriction at different Ages and 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 different ages and body weights on body composition and energy metabolism in growing rats have been investigated. Fifty- male Sprague-Dawley rats were divided into six groups; group Ia involved 10 rats and the other groups each 8 rats. The mean body weight of Ia~b, IIa~b and IIIa~b fed high energy level(HEL; $45\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$) during feeding periods have been reached 65g, 115g and 165g respectively, and then carcass composition of each control group(Ia, IIa and IIIa) was determined. On the other hand, the experimental groups(Ib, IIb and IIIb) were fed with low energy level diet(LEL; $34\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$) for 10 days. The crude protein of high and low energy levels of diets were 11.3% and 15.0%, respectively. During feeding of LEL, total body water of Ia,IIb and IIIb has been increased to 8.4g, 13.7g and 14.3g, total body ash increased to 0.7g, 1.0g and 1.1g, and total body protein increased to 3.2g, 5.5g and 6.6g, respectively, but total body fat of Ib and IIb decreased to 0.8g and 0.5g, IIIb increased to 3.0g. The intake of metabolizable energy of HEL and LEL were 758kJ and 573kJ per metabolic body weight per day, the energy deposited for body

protein of Ib, IIb and IIIb were 56kJ, 67kJ and 58kJ. The energy deposited for body fat of Ib and IIb decreased by 24kJ and 11kJ, but IIIb increased by 30kJ, and the daily heat production decreased by 10% with increasing of ages body weights.

서론

영양 섭취의 형태와 정도는 유전적 잠재력내에서 개인차가 있지만 성장과 발달에 영향을 미친다. 영양 결핍 유아 및 어린이에게 충분한 영양을 공급했을 때 초기의 성장속도가 적정량의 영양을 섭취하는 유아 및 어린이보다 높다. 이런 현상을 보상 성장 또는 따라잡기 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). Haris 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 사람에게서도 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 다른 연령과 체중에서 고에너지 수준에서 저에너지 수준으로 에너지 수준만을 제한했을 때 체조성의 변화 및 대사 에너지의 이용에 대해 밝히므로서, 연령과 체중이 증가함에 따라 유지 에너지와 에너지 이용 효율의 변화를 살펴보려 했다.

재료 및 방법

1. 실험 계획

4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 50 마리를 사육실에서 6일동안 고에너지 수준 식이($45\text{g}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{d}^{-1}$)로 적응기를 둔 후 6개군으로 나누어, Ia군은 10 마리, Ib, IIa, IIb, IIIa군과 IIIb군은 8 마리씩 각각 대사 케이지에 완전 임의 배치하였다. 군편성시 각군의 실험 동물의 체중은 평균과 표준 편차를 비슷하게 조정하여 실험군에 배치하였다.

본 실험에서 Ia, IIa, IIIa군은 각각 Ib, IIb, IIIb군의 대조군으로 하였다. Ia군과 Ib군은 평균 체중이 65g이 될 때까지, IIa군과 IIb군은 평균 체중이 115g이 될 때까지, 그리고 IIIa군과 IIIb군은 평균 체중이 165g이 될 때까지 고에너지 수준으로 식이를 급여하였다. 각각 위 체중에 도달했을 때 대조군은 희생시켰으며, 각 실험군은 10일 동안 저에너지 수준($34\text{g}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{d}^{-1}$)으로 식이를 급여한 후 희생시켜 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 섭취량은 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서 모두 대사 체중($\text{kg}^{0.75}$)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 측정하였고, 동물의 움직임으로 인한 체중의 오차를 보정하기 위해 20번 반복하여 자동으로 측정된 후 평균을 기록하게 하였다.

2일마다 측정된 체중을 기준으로 대사 체중당 1일 고에너지 수준에서는 대사 체중당 45g의 HEL 식이를, 저에너지

수준에서는 대사 체중당 1일 34g의 LEL식이를 고형물 기

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, 20 mg; vit.B₂, 20 mg;
vit.B₆HCl, 10mg; calcium pantothenate, 50 mg;
nicotinic acid 50 mg; cholin chloride, 1000 mg;
folic acid, 2 mg; inositol, 100 mg;
p-aminobenzoic acid, 100 mg; vit.B₁₂, 30 µg;
biotin, 200 µg; sucrose powdered to make 20 g

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

CaCO₃, 15g; Ca₃(PO₄)₂, 14g; K₂HPO₄(sicc.), 10 g;
NaCl, 8 g; Na₂HPO₄(sicc.), 7 g; MgSO₄7H₂O, 5 g;
Fe-citrate, 0.48 g; MnSO₄4H₂O, 0.45 g;
ZnCO₃, 0.04 g; CuSO₄5H₂O, 0.0195 g;
KJ, 0.0005 g; NaF, 0.010 g

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

실험 기간 동안 사육실 온도는 $23\pm 1^\circ\text{C}$ 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 장 내용물을 최소화하기 위해 식이 섭취 후 약 16시간 경과 후 오후 2시에 chloroform으로 희생시켰다.

4. 시료 준비

실험이 끝난 후 -18°C 에 냉동 보관한 쥐를 1L의 밀폐 용기에 넣어서 Autoclave에서 121°C , 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°C 의 냉동실에서 보관하였다. 냉동 건조시킨 시료를 다시 곱게 분쇄기로 분쇄하여 체성분 분석하였다.

5. 시료의 화학적 성분 분석

일반 시료의 고형물 함량은 2g~4g의 시료를 105°C 로 고정된 drying oven에서 함량이 될 때까지 수분을 증발시킨 후 잔유물의 백분율로 구하였다. 균질기에서 분쇄한 쥐 시료는 10g~15g을 취하여 48~72 시간 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 계산 하였다.

5. 통계 분석

본 실험의 자료는 SPSS (Schubö 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 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 실험 계획대로 진행되었으며, 실험

경과중의 체중을 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타난 결과와 같이 군편성 후 고에너지 수준으로 8일간 식이를 급여했을 때 Ia군과 Ib군의 평균 체중은 각각 64.9g과 65.1g이었으며, 고에너지 수준으로 24일간 식이를 급여했을 때 IIa군과 IIb군의 평균체중은 각각 114.4g과 114.0g, 그리고 고에너지 수준으로 37일간 식이를 급여한 군 IIIa와 IIIb군의 평균 체중은 각각 168.6g 및 168.3g으로서, 각 대조군과 각 실험군의 평균 체중은 유사하였다.

본 실험에서는 에너지 제한 정도가 크지 않았기 때문에 이 기간중에 실험 동물의 체중 감소는 관찰되지 않았지만, Hohán 등(1983)은 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 측정 하였는데 이 체중의 차이는 물 섭취와 분과 오줌의 배설에 의한 것으로 볼 수 있으며, 고에너지 수준의 식이 급여군 Ia는 5.7%, IIa는 4.7% 및 IIIa는 4.2% 감소하였고, 저에너지 수준의 식이 급여군 Ib, IIb 및 IIIb는 각각 3.3%, 32.6% 및 2.8% 감소하였으며, 저에너지 수준군에서 고에너지 수준군에서보다 체중 손실이 낮았으며, 두 수준에서도 체중이 낮을 수록 체중 손실율이 컸다.

2. 식이 섭취량, 일증체량 및 g증체당 식이 요구량

각 군별 식이 섭취량, 일증체량 및 g증체당 식이 소요량은 Table 3에 제시된 바와 같다.

본 실험에서는 동일한 단미 사료를 비율을 달리하여 배합했기 때문에, 식이 효율보다는 식이 요구율로서 실험 결과를 나타냈다.

고에너지 수준으로 식이를 급여한 군 Ia, IIa 및 IIIa에서 식이 급여량을 대사체중 기준으로 계산하여 급여했기 때문에 식이섭취량은 체중이 증가함에 따라 많았고, 일증체량도 같은 비율로 상승하였지만, 1g증체당 식이 요구량은 2.3g~2.5g 범위로서 차이가 없었다. 동일한 조건과 동일한 식이를 급여한 Yang(1987)의 실험 결과에서도 고에너지 수준으로 식이를 급여했을 때 일증체량은 두렷하게 증가하고 있으나 g증체당 식이 요구량은 실험군간에 차이가 없었다. 이것은 체중이 증가함에 따라 식이 급여량의 증가가 높은 일

Table 2. The change of body weight during experimental period.

Group		Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
Energy level		H/-	H/L	H/-	H/L	H/-	H/L
Number of rats (n)		10	8	8	8	8	8
Feeding period (d)		8/-	8/10	24/-	24/10	37/-	37/10
Grouping (g)	Mean	64.9	65.1	65.0	65.0	64.9	64.9
	SD	3.8	2.6	2.7	2.7	3.0	3.1
Change of diet (g)	Mean		65.1		114.0		168.3
	SD		2.6		5.3		9.2
Final body weight (g)	Mean	64.9	75.2	114.4	132.8	168.6	190.5
	SD	3.8	3.6	5.6	7.2	10.4	10.2
Carcass weight (g)	Mean	61.2	72.7	109.0	129.3	161.5	185.2
	SD	3.5	3.4	5.0	6.8	9.8	10.5

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

Group		Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
Range of body weight (g)		56-65	65-73	65-114	114-123	114-168	168-184
Energy level		High	Low	High	Low	High	Low
Number of rats(n)		10	8	8	8	8	8
Feeding period (d)		4	10	10	10	16	13
Feed intake (g/d)	Mean	5.29 ^a	4.53 ^b	7.04 ^c	6.96 ^c	10.00 ^d	9.18 ^c
	SD	0.22	0.13	0.26	0.26	0.45	0.37
Weight gain (g/d)	Mean	2.13 ^a	1.00 ^b	3.08 ^c	1.78 ^a	4.19 ^d	2.23 ^a
	SD	0.28	0.19	0.22	0.34	0.33	0.34
Feed intake/ Weight gain (g/g)		Mean	2.53 ^a	4.64 ^b	2.29 ^a	4.01 ^b	2.40 ^a
		SD	0.31	0.77	0.11	0.60	0.09

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

Table 4. Chemical composition in growing rat¹⁾

Group		Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
Number of rats(n)		10	8	8	8	8	8
Energy level		H/-	H/L	H/-	H/L	H/-	H/L
Feeding period(d)		8/-	8/10	24/-	24/10	37/-	37/10
Moisture (%)	Mean	71.06 ^a	71.48 ^a	68.52 ^b	68.52 ^b	66.61 ^c	65.76 ^c
	SD	0.58	0.59	0.56	1.13	1.03	1.17
Crude ash (%)	Mean	3.89 ^a	4.29 ^b	3.71 ^{ac}	3.89 ^a	3.53 ^c	3.67 ^c
	SD	0.08	0.19	0.12	0.10	0.08	0.07
Crude fat (%)	Mean	4.71 ^a	2.85 ^b	7.76 ^c	6.14 ^c	9.89 ^d	9.79 ^d
	SD	0.56	0.75	0.81	1.24	1.21	1.48
Crude protein (%)	Mean	18.83 ^a	20.23 ^b	18.96 ^a	20.49 ^b	18.84 ^a	19.96 ^b
	SD	0.33	0.37	0.41	0.22	0.25	0.42

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

Table 5. Deposition of chemical components in growing rats¹⁾

Group		Ib	IIb	IIIb	IIa	IIIa
Range of body weight (g)		65-73	114-123	168-184	65-114	114-168
Energy level		Low	Low	Low	High	High
Feeding period (d)		10	10	10	16	13
Deposition of						
Moisture	(g)	8.40	13.69	14.30	31.34	32.65
	(mg/d)	840 ^a	1369 ^{ab}	1430 ^{abc}	1959 ^{bcd}	2512 ^d
Crude ash	(g)	0.73	0.97	1.09	1.68	1.64
	(mg/d)	73 ^a	97 ^{ab}	109 ^{ab}	105 ^{ab}	126 ^{bc}
Crude fat	(g)	- 0.79	-0.50	2.03	5.59	7.59
	(mg/d)	-79 ^a	-50 ^a	203 ^b	349 ^{bc}	584 ^c
Crude protein	(g)	3.18	5.76	6.57	9.12	69
	(mg/d)	318 ^a	576 ^b	657 ^b	576 ^b	745 ^b

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

증체량을 야기 시켰으나, g증체당 식이 요구량은 변화시키지 못했음을 의미한다.

고에너지 수준에서 저에너지 수준으로 낮춰 급여한 실험군 Ib, IIb와 IIIb에서 고에너지 급여군에서와 같이 식이 섭취량과 일증체량은 증가하였으나, 1g증체당 식이 요구량은 4.0~4.6g으로서 군간에 차이가 없었다.

고에너지 수준으로 사육한 모든 군에서 저에너지 수준으로 식이를 급여한 모든 군에 비해 식이 섭취량은 약간 낮았으나, 일증체량과 g증체당 식이 요구량은 현저히 낮았다. 본 결과에서 조단백질 섭취량을 동일하게 하면서 에너지 섭취량만을 제한하여 급여했을 때, 일증체량뿐만 아니라 g증체당 식이 요구량에도 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

3. 체조성의 변화

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

고에너지 수준 식이에서 저에너지 수준식으로 전환하여 10일간 사육하는 동안, 실험군 Ib, IIb 및 IIIb군에서 각 대조군에 비해 체수분 함량에는 변화가 없었으나, 체지방 함량과 체단백질 함량은 각각 대조군 Ia, IIa 및 IIIa 군에 비해 높았다. 그러나 체지방 함량은 연령과 체중이 낮은 군 Ia, Ib에서 각각 4.7% 및 2.9%로서 유의하게 낮았으나, 연령과 체중이 높은 군 IIIa 및 IIIb 군에서는 9.89% 및 9.79%로서 두 군간에 차이가 없었다. 조지방 함량은 각각 대조군에 비해 증가하는 경향을 보였다. 그 증가 정도는 연령과 체중이 낮은 군에서는 유의차가 인정되었으나, 연령과 체중이 높은 군에서는 유의성이 없었다. 한편 체단백질 함량은 세 실험군에서 각 대조군에 비해 높게 나타났다.

고에너지 수준으로 급여한 군 Ia, IIa 및 IIIa에서 연령과 체중이 증가할 수록 체수분 함량과 조지방 함량의 감소 정도가 낮았으나, 체지방 함량의 증가는 높게 나타난 반면 체단백질 함량에서는 차이를 보이지 않았다. 이 결과를 분석해볼 때 에너지 제한은 다른 연령과 체중에서, 각각 체조성의 변화에 다르게 영향을 미침을 알 수 있다.

동일한 조건에서 진행된 Yang(1987)의 실험 결과에서도 체수분 함량은 저에너지 수준에서 실험 기간이 경과함에 따라 감소하였고, 고에너지 수준에서는 연령과 체중이 증가함에 따라 감소하였다. 조지방 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 수준으로 식이를 급여한 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. 비제한 식이 급여에서 저에너지 수준으로 전환한 후 10일까지 체수분 함량과 체지방 함량은 감소하였다.

그리고 저에너지 수준으로 식이를 급여한 후 체단백질 함량은 10일후 20.6%로서 약 3% 증가하였으며, 그 이후는 변화를 보이지 않았으나, 고에너지 수준에서는 체단백질 함량은 연령과 체중이 증가해도 차이를 보이지 않았다.

4. 체성분 측정

고에너지 수준 및 저에너지 수준으로 급여한 실험 동물의 체성분 측치는 각각 Table 5에 나타났다. 여기서 총체성분 측정량은 대조군과 실험군의 체성분 총량의 차이로 구했다. 각 체성분의 1일 측정량은 체성분의 총측정량을 각각 실험 일수로 나누어 계산하였다. 저에너지 수준으로 급여하는 동안 체중은 감소하지않고 오히려 증가하였으므로, 체중과 체조성의 변화에 따른 체성분 총량을 비교해 보았다.

10일간 저에너지 수준으로 급여한 실험군의 체수분 측정량은 Ib, IIb 및 IIIb에서 각각 대조군에 비해 8.4g, 13.7g 및 14.3g 증가하였고, 조지방은 각각 0.7g, 1.0g 및 1.1g 그리고 체단백질은 3.2g, 5.5g 및 6.6g 증가하였다. 그러나 체지방량은 각 대조군에 비해 Ib군은 0.8g, IIb군에서는 0.5g 감소한 반면, IIIb군에서는 2.0g 증가하였으나 IIb와 IIIb군에서 각 대조군간에 유의차는 없었다.

식이를 비제한 급여에서 저에너지 수준으로 전환했을 때 5일후에는 2.0g, 10일후에는 3.4g 각각 감소 하였으나, 실험 기간이 지속됨에 따라 체지방 총량은 더 이상 감소하지않고 서서히 증가함을 Yang(1987)의 실험 결과에서 보여주고 있다. 이런 현상은 에너지 제한 정도가 클 수록 체지방 총량의 감소 정도도 클 수 있음을 의미한다. 본 실험의 결과에서 보는 바와 같이, 에너지 섭취의 감소는 연령과 체중이 낮은 군 Ib에서는 체지방 총량이 감소하였으나, 연령과 체중이 높은군 IIIb에서는 오히려 체지방 총량이 증가하였다.

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

Difference	Ib-Ia	IIb-IIa	IIIb-IIIa	IIa-Ia	IIIa-IIa
Mean of body weight (g)	68.7	121.2	174.8	85.3	135.5
Feeding period (d)	10	10	10	16	13
Energy level	Low	Low	Low	High	High
ME intake (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	571	573	574	758	762
Energy deposited for body fat (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	-24 ^a	-11 ^{ab}	30 ^b	88 ^c	103 ^c
body protein (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	56 ^a	67 ^{abc}	58 ^{ab}	87 ^c	79 ^{bc}
Heat Production (kJ · kg ^{-0.75} · d ⁻¹)	539 ^{ab}	517 ^{ab}	486 ^a	583 ^b	580 ^b

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

한편 고에너지 수준에서 성장중인 쥐의 체수분, 회분 및 체단백질의 일축적량을 서서히 증가하나, 체지방의 일 축적량은 연령과 체중이 증가함에 따라 현저하게 증가하였다.

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.

고에너지 수준 및 저에너지 수준에서의 대사 에너지 섭취량은 각각 평균 758kJ 및 573kJ로서 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 Ib, IIb 및 IIIb군에서 각각 56kJ, 67kJ 및 58kJ로서 차이를 보이지

않았다. 반면 연령과 체중이 낮은 군 Ib에서는 대사체중당 1일 24kJ의 체지방이 감소하였고, IIb군에서도 11kJ의 체지방이 감소하였으나, 연령과 체중이 높은군(IIIb)에서는 30kJ의 에너지가 체지방으로 축적되었다. 대사 체중당 1일 열발생량도 연령과 체중이 낮은 군(Ib)에서 539kJ, 연령과 체중이 높은 군(IIIb)에서는 486kJ로, 열발생량은 연령과 체중이 증가함에 따라 약 10%가 감소하였다.

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. 이 감소 정도는 본 실험에서 보여준 10%와 유사하게 나타났다. 본 실험에서 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, 연령과 체중이 증가에 따라 감소한 만큼의 유지 에너지가 체지방 및 체단백질 합성에 이용되므로 인해, 대사 에너지의 이용 효율을 증기시켰을 것이라 추정한

다.

대사 에너지의 축적율은 대사 에너지 섭취량에 대해 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지의 백분율로서, 저에너지 수준에서 연령과 체중이 증가함에 따라 5.6%에서 15.3%까지 증가하였다. 한편 고에너지 급여군에서는 체중범위 65g~115g 과 115~65g에서 각각 23.1% 및 23.9%로서 체지방과 체단백질로 각각 축적된 에너지량이 달랐을 뿐, 체지방과 체단백질로 축적된 에너지총량은 차이가 없었다. 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. 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; Ozci et al., 1978; Okasaki et al., 1981; Jäger, 1985).

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

한편 Hoffmann과 Schieman(1962)의 쥐체중 65~180g에서 연구 발표에 의하면 성장중인 쥐의 유지 에너지 요구량 및 에너지 대사에서 대사 체중 ($\text{kg}^{0.75}$)의 지수 0.75보다는 0.67이 더 적합하다고 보고하였는데, 연령과 체중 두 요인중 어떤 요인이 유지 에너지 요구량 및 에너지 대사에 더 영향을 미치는지에 대해서도 연구가 필요하다 생각된다.

적 요

4주령의 Sprague-Dawley 계 수컷 흰쥐 50 마리를 Ia군은 10 마리, Ib, IIa, IIb, IIIa군과 IIIb군은 각각 8 마리씩 각군에 배치시켰다. 본 실험에서 Ia, IIa, IIIa군은 각각 Ib, IIb, IIIb군의 대조군으로 하였다. Ia군과 Ib군은 평균 체중이 65g이 될 때까지, IIa군과 IIb군은 평균 체중이 115g이 될 때까지, 그리고 IIIa군과 IIIb군은 평균 체중이 165g이 될 때까지 고에너지 수준으로 식이를 급여하였다. 각각 위 체중에 도달했을 때 대조군은 희생시켰으며, 각 실험군은 10일 동안 저에너지 수준($34\text{g}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{d}^{-1}$)으로 식이를 급여한

후 희생시켜 분석하였다. 저에너지 수준 식이 및 고에너지 수준 식이의 조단백질 함량은 각각 15% 및 11.3%가 되도록 배합하여, 조단백질 급여량은 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서 모두 대사 체중 ($\text{kg}^{0.75}$)당 1일 5.1g이 되도록 하였다. 10일간 저에너지 수준으로 급여한 실험군의 체수분 축적량은 Ib, IIb 및 IIIb에서 각각 대조군에 비해 8.4g, 13.7g 및 14.3g 증가하였고, 조지방은 각각 0.7g, 1.0g 및 1.1g, 그리고 체단백질량은 3.2g, 5.5g 및 6.6g 증가하였다. 그러나 체지방량은 각 대조군에 비해 Ib군은 0.8g, IIb군에서는 0.5g 감소한 반면, IIIb군에서는 2.0g 증가하였으나, IIb와 IIIb군에서 각 대조군간에 유의차는 없었다. 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서의 대사 에너지 섭취량은 각각 평균 573kJ 및 758kJ이었다. 세 실험군에서 체단백질로 축적된 에너지는 Ib, IIb 및 IIIb군에서 각각 56kJ, 67kJ 및 58kJ로서 차이를 보이지 않았다. 반면 연령과 체중이 낮은 군 Ib에서는 대사 체중당 1일 24kJ의 체지방이 감소하였고, IIb군에서도 11kJ의 체지방이 감소하였으나, 연령과 체중이 높은군(IIIb)에서는 30kJ의 에너지가 체지방으로 축적되었다. 대사 체중당 1일 열발생량도 연령과 체중이 낮은 군(Ib)에서 539kJ, 연령과 체중이 높은 군(IIIb)에서는 486kJ로 열발생량은 연령과 체중이 증가함에 따라 약 10%가 감소하였다.

참 고 문 헌

- 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.
- 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.
- Gädeken, 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., Klein, M. and R. Schieman, 1982. Untersuchung zum Energieerhaltungsbedarf und zum Energiebedarf den Proteinansatz an wachsenden Ratten und Broilern. 1. Mitteilung: Untersuchung zum Energieerhaltungsbedarf wachsenden Ratten. *Arch. Tierernährung.* Bd. 32: 165-184.
- Hoffmann, L., Schieman, 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., 1986. 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. Nutr.* 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. Nutr.* 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.

Walker, J. J. and W. N. Garrett. 1970. Shift in the energy metabolism of male rats during their adaptation to prolonged undennutrition and during their subsequent realimentation. In: Energy metabolism of farm animal (schürch, 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

Yang, Y. H. 1987. Einfluß von Alter, Lebendmasse und Fütterungsniveau auf den Stoffansatz bei wachsenden Ratten. Diss. Uni. Bonn