

흰쥐에게 식이를 무제한 공급 또는 공급시간을 제한하였을때 영양소의 선택적 섭취행동과 체지방 축적과의 관계

남혜경 · 조재현 · 김선희

국민대학교 가정교육학과

Relations Between Self-Selected Intake of Nutrients and Body Fat Accumulation in Rats Fed Ad Libitum or for 8-hours a Day

Hae Koung Nam · Jae Hyun Cho · Sun Hee Kim

Department of Home, Economics, Kookmim University

ABSTRACT

This study was aimed to investigate the relations between self-selected intake of 3 macronutrients and body weight gain and body fat accumulation in male rats given three isocaloric diets differing carbohydrate, protein and fat contents, concurrently. Also, the effect of dietary restriction was observed. Forty two male rats of Sprague-Dawley strain weighing 68.7 ± 6.1 g were randomly divided into 2 groups and were allowed to have foods from 3 different cups for 8-hours a day or ad libitum. After 12 weeks, they were decapitated and their brains were quickly removed and frozen until they were assayed for serotonin and its metabolite, 5-HIAA. The carcass was dried at $105 \pm 2^\circ\text{C}$ and measured the contents of body water and body fat. The animals chose a moderately high and constant carbohydrate level and showed the increase of percent protein intake with age and great individual variations. Protein in the diet seemed to trigger appetite and increase food intake which resulted in higher weight gains and in more fat deposition in the body. The concentration of brain serotonin did not show any correlations with the intake of nutrients, the accumulation of body fat and the gain of body weight.

KEY WORDS : self-selected intake · body fat · body weight gain.

서 론

현대사회에서 문제가 되고 있는 비만증과 관련 하여 영양소의 선택과 식이섭취량을 스스로 조절 하는 능력에 대한 연구가 동물을 대상으로 많이 채택일 : 1992년 2월 17일

이루어져 왔다. 식이섭취량과 영양소의 선택적 섭취의 조절능력에 대한 연구는 1918년 Osborne과 Mendel¹⁾이 단백질 함량이 다른 두 종류의 식이를 흰쥐에게 제공하여 선택하게 한 실험이 보고되면서 꾸준히 이루어져 오고 있다. 또한 흰쥐에게 두 가지 이상의 식이를 공급하고 영양소의 선택을 관찰해

보면 열량의 섭취와는 상관없이 자신의 신체적 상태에 따라 탄수화물²⁾이나 단백질³⁾의 섭취량을 조절하는 능력이 있음이 밝혀졌다.

동물의 식이섭취의 조절은 뇌의 신경전달물질(neurotransmitter)의 작용에 의해서도 이루어진다고 알려져 있으며 뇌에서 합성되는 신경전달물질 중 serotonin, catecholamines, acetylcholine 등 몇 가지는 식이를 통해 섭취되는 전구물질의 함량에 직접적인 영향을 받아 뇌중 농도가 변화되는 것으로 보고 있다. 이들 중 tryptophan을 전구물질로 하는 serotonin의 뇌중 수준은 식이내 함유된 tryptophan의 함량 뿐 아니라 혈액내 tryptophan과 고분자 중성아미노산(large neutral amino acid; LNAA)의 비율에 따라서도 변화되는데 이는 혈액내 tryptophan이 뇌속으로 이동하는 과정에서 혈액-뇌 장벽(blood-brain barrier)을 통과할 때 혈액내 존재하는 다른 LNAA와 경쟁이 일어나기 때문이다⁴⁾. 그러므로 Trp/LNAA의 비율이 높을 수록 뇌속의 tryptophan이 많아지며 serotonin의 합성수준도 높아진다. 탄수화물과 단백질의 섭취조절에 관여하는 serotonin의 합성이나 방출이 뇌에서 감소하면 탄수화물에 대한 욕구를 높여서 serotonin의 합성을 증가시키며⁵⁾⁶⁾ serotonin의 뇌중 농도가 높으면 탄수화물에 대한 욕구를 감소시키고 단백질에 대한 욕구를 증가시켜 serotonin의 수준을 감소시키는 기전이 있다고 본다⁷⁾. Serotonin의 뇌중 수준은 식이 뿐 아니라 낮밤의 주기에 따라서도 변화되므로 식이섭취 제한시간에 따라 탄수화물과 단백질의 섭취수준도 변화되리라 본다.

식이에 의한 열량의 과잉섭취와 그로 인한 지방의 축적은 비만증을 이끌게 되는데 고지방식이나 고탄수화물 식이의 섭취는 체내 지방세포의 수를 증가시킬 뿐 아니라 체중을 증가시켜서 비만증을 야기한다. 한편, 흰쥐의 식이에 설탕을 첨가해 주었더니 열량 섭취가 약 20% 증가하여 체중 뿐 아니라 체지방이 증가되었다⁹⁾. 일부 비만한 사람에게서 탄수화물에 대한 욕구가 특정한 시간대에 더 강하게 일어난다고 하는데 이는 뇌중 serotonin 조절기전에 이상이 있어서 일어난 현상이라고

알려져 있다¹⁰⁾. 또한 이들에게 serotonin의 방출을 증가시키고 재흡수를 방해하는 약제인 fenfluramine을 섭취시켰을 때 식욕이 감퇴하며 특히 단백질 보다 탄수화물의 섭취율이 감소한 것으로 나타났다¹¹⁾.

본 실험실에서는 단백질 함량은 18%로 동일하게 하고 탄수화물 함량이 각기 15%, 70%로 다른 두 종류의 식이를 제공하고 식이의 하루중 공급기간을 4, 8, 12 시간으로 제한하여 무제한 공급과 비교하였을 때 식이공급기간이 탄수화물에 대한 기호를 변화시켜서 탄수화물에 대한 단백질의 비율이 달라짐을 보고한 바 있다¹²⁾. 그 경우에 체중은 식이공급기간이 짧아도 24시간의 무제한 급여군의 체중과 유의적 차이가 없었다. 그러나 단백질의 함량이 다른 세 종류의 식이를 제공하면서 하루 중 8시간 또는 24시간의 무제한 공급을 하였더니 8시간 식이섭취군이 무제한 식이섭취군에 비하여 실험 처음부터 체중이 계속 낮았다¹³⁾. 이로 볼 때 식이공급 기간과 단백질의 섭취량 및 섭취비율이 체중증가에 영향을 미칠 뿐 아니라 3대 영양소의 선택을 임의로 하게 하였을 때 영양소의 선택량과 체중, 체지방의 축적은 달라질 수 있다고 생각되었으며 다시 한번 실험을 반복하여 결과를 재확인할 필요를 느꼈다. 한편 단백질의 섭취량과 탄수화물에 대한 단백질의 섭취비율은 일반적으로 실험동물이 성장하면서 증가하는 경향이고, 실험동물간에 차이가 많아서 총섭취열량에 대한 단백질의 비율은 2배까지도 차이가 있으며 그에 따른 체중의 증가량도 2배이상의 차이가 있음을 보고¹⁴⁾한 바 있다.

그러므로 본 실험은 탄수화물, 단백질 및 지방의 함량이 각기 다르면서 열량은 동일한 세 가지 식이를 성장기 흰쥐에게 공급하여 탄수화물, 단백질, 지방의 섭취량과 비율, 체중증가 및 체지방 축적의 관계를 알아 보고자 하였으며 식이섭취시간을 하루 중 8시간으로 제한하였을 때 무제한 식이섭취와 비교하여 차이가 있는지를 알아보고자 하였다. 또한 탄수화물과 단백질의 섭취비율이 뇌중 serotonin 및 그의 대사물질인 5-HIAA의 농도와 상관관계가 있는지도 살펴보고자 하였다.

실험계획 및 방법

1. 동물실험 및 식이

이유 직후의 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐 42마리에게 고형사료를 제공하면서 12시간 주기의 밤(09:00~21:00)과 낮(21:00~09:00)에 6일간 적응시킨 후 평균체중이 68.7±6.1g인 실험동물을 체중에 따라 무작위로 21마리씩 8시간 식이공급군과 무제한 식이공급군의 두 실험군으로 나누어서 흰쥐 마리당 세 종류의 실험식이를 제공하고 12주간 사육하였다.

실험식이는 3대 열량소의 비율이 다르면서 단위 무게당 열량의 함량은 같은 세 종류의 식이 즉, 탄수화물과 단백질과 지방이 40%와 5%와 23.9%, 40%와 45%와 6.1% 및 70%와 5%와 10.6%의 세가지가 사용되었다. 이 세종류 식이내의 3대 열량소의 구성비율은 여러가지 구성비율을 흰쥐에게 주어서 사육해 본 결과 본 비율이 한 종류의 식이만을 치우쳐서 섭취하게 하지 않으면서 이상적이라고 생각하여 결정되었다. 열량소 중 한 종류, 특히 단백질의 함량이 필요량에 근접하고 적합한 비율일 때는 그 식이의 섭취량이 다른 종류의 식이에 비하여 늘어나므로 열량소의 함량을 필요한 수준보다 지나치게 많거나 적게하여 흰쥐 마리당 세 종류의 식이를 제공하고 스스로 선택할 수 있게끔 조정하였다. 이들 세 종류의 식이는 모두 1g당 3.95Kcal의 동일한 열량을 함유하였으며, 열량을 동일하게 하기 위하여 섬유소를 세 식이에서 가감하였고 무기질(Rogers-Harper Formulation, Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.)은 4%, 비타민 혼합물(ICN Formulation, Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.)는 2.2%를 첨가하였다. 이때 탄수화물은 옥수수 전분(미원식품), 단백질은 casein(Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.) 그리고 지방은 corn oil(동방유량)로 이용하였다. 실험식이의 형태는 4% 한천용액을 가열하여 식이 성분과 1:1로 섞은 후 굳힌 젤리형태로 하였으며 세종류의 식이는 약 41%의 수분을 함유하였다.

실험실 환경은 12시간(09:00~21:00)은 빛을 차단하고 12시간(21:00~09:00)은 빛을 공급하

여 12시간 주기의 낮밤이 되도록 통제하였고 실내온도는 22±2℃, 상대습도는 65±5%로 유지시켰다.

실험동물은 각 장에 한 마리씩 넣어 분리시켜 사육하였으며 식이는 매일 09:00에 각 장에 새로운 식이 세 종류를 한꺼번에 넣어 공급하였으며 제한 식이공급군은 09:00~17:00까지 식이를 섭취하도록 하였으며 무제한 식이공급군은 계속 공급하였다. 식이를 한 방향으로만 주었을 때 습관적으로 먹는 것을 막기 위하여 밥그릇의 위치를 매일 바꾸어 주었으며 물은 무제한으로 공급하였다. 식이섭취량은 전 실험기간 동안 매일 일정한 시간에 동일한 저울로 각각의 식이를 구별하여 측정하였다. 체중은 실험 전기간 동안 매주 2회 일정한 시간에 측정하였다.

2. 생화학적 분석

1) 체내수분과 지방함량

실험 동물은 실험전날 모두 절식시켜 실험당일 공복상태에서 단두기로 머리를 절단하고 뇌중물질의 측정을 위하여 뇌를 채취하여 즉시 dry ice에 넣어 냉동시키고 그외의 모든 머리, 장기, 몸체와 같은 신체부분은 체지방과 수분함량을 측정하기 위하여 사용되었다. 혈액은 되도록 유실되지 않도록 모두 모았다. 동물의 사체는 신체를 열고 105±2℃의 건조기에서 체중의 변동이 없는 일정한 수준에 도달할 때까지 건조시킨 후 체내수분 함량을 측정하였다.

체내지방 함량은 methanol과 chloroform을 1:2의 비율로 혼합한 후 Soxhlet법을 이용하여 추출하였으며 지방 혼합물은 evaporator로 증발시킨 후 측정하였다¹⁵⁾.

2) 뇌중 serotonin과 5-HIAA 함량

채취한 즉시 dry ice에 넣어 냉동시킨 뇌는 일주일 이내에 serotonin과 그의 대사물질인 5-HIAA함량의 분석에 사용하였다. Serotonin과 5-HIAA는 Curzon과 Green 법¹⁶⁾에 의해 뇌조직을 homogenize하여 2℃에서 6000r.p.m.으로 냉장 원심분리시킨 후 acidified-butanol과 heptane으로 처리하고 o-phtha-

aldehyde와 반응시켜 fluorescence를 측정하여 정량하였다.

Table 1. Food intake

Period (week)	Group	
	Ad lib. feeding (n=21)	8-hour feeding (n=21)
1	24.1±3.3 ¹⁾	15.5±3.9 ^{**}
2	25.8±4.8	19.9±4.9 ^{**}
3	30.3±4.9	23.1±4.2 ^{**}
4	32.9±5.2	28.5±4.4 ^{**}
5	34.6±6.2	28.7±4.0 ^{**}
6	36.0±5.7	28.5±3.7 ^{**}
7	36.0±5.3	28.9±5.0 ^{**}
8	38.1±5.5	29.4±4.9 ^{**}
9	35.0±5.4	29.5±4.2 ^{**}
10	32.4±5.1	27.6±3.9 ^{**}
11	34.9±5.6	27.5±4.5 ^{**}
12	34.6±8.7	29.9±5.3 ^{**}

1) : Values are means±S.D.

** : Significantly different(p<0.01) from ad lib. feeding group by student t-test.

3. 자료의 통계처리

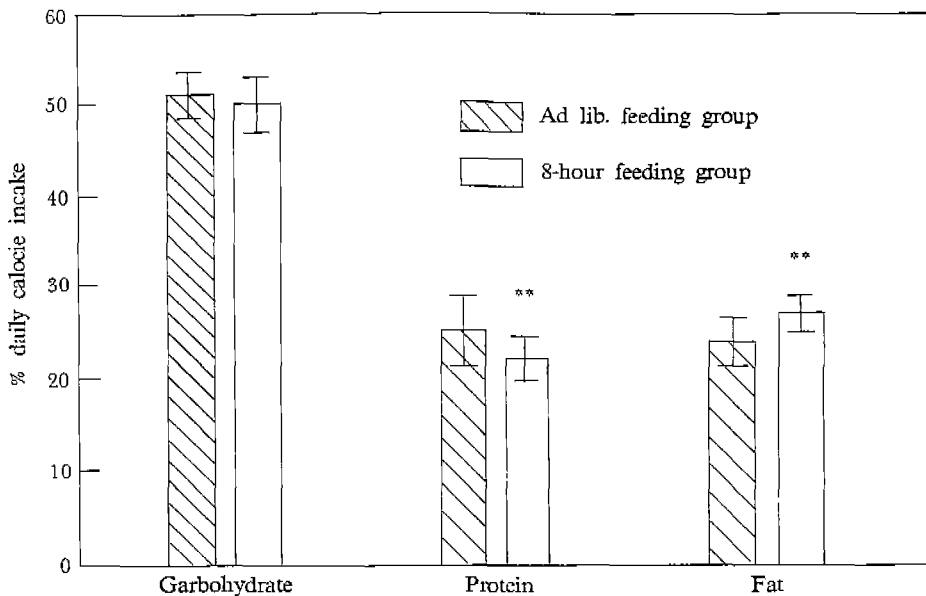
본 실험의 모든 자료는 변인들간의 상관관계는 회귀분석 또는 상관계수를 구하여 분석하였으며 두 실험군의 평균과 표준편차를 구하여 student t-test에 의하여 평균치간의 유의성도 검증하였다¹⁷⁾.

실험결과

1. 식이섭취량과 열량소의 구성비율

식이섭취량은 Table 1에서 보면, 처음 5주간은 증가하다가 점차 일정하게 유지되었다. 식이공급 기간에 따라 두 군으로 나누어 보면 8시간 제한 식이공급군은 무제한식이공급군에 비하여 유의적으로(p<0.01) 적은 량의 식이를 섭취하였는데 실험 12주 동안 무제한식이공급군은 하루 평균 32.9±5.5g을 섭취하였으며, 제한식이공급군은 26.4±4.4g의 적은 량을 섭취하였다.

총 식이섭취량에 대한 3대 열량소의 구성비율은 전체적으로 탄수화물에서 총 열량의 50.6±2.8%,



Values are means±S.D.

** : Significantly different(p<0.01) from ad lib. feeding group by student t-test.

Fig. 1. Percent nutrient intake.

영양소의 선택적 섭취행동과 체지방 축적과의 관계

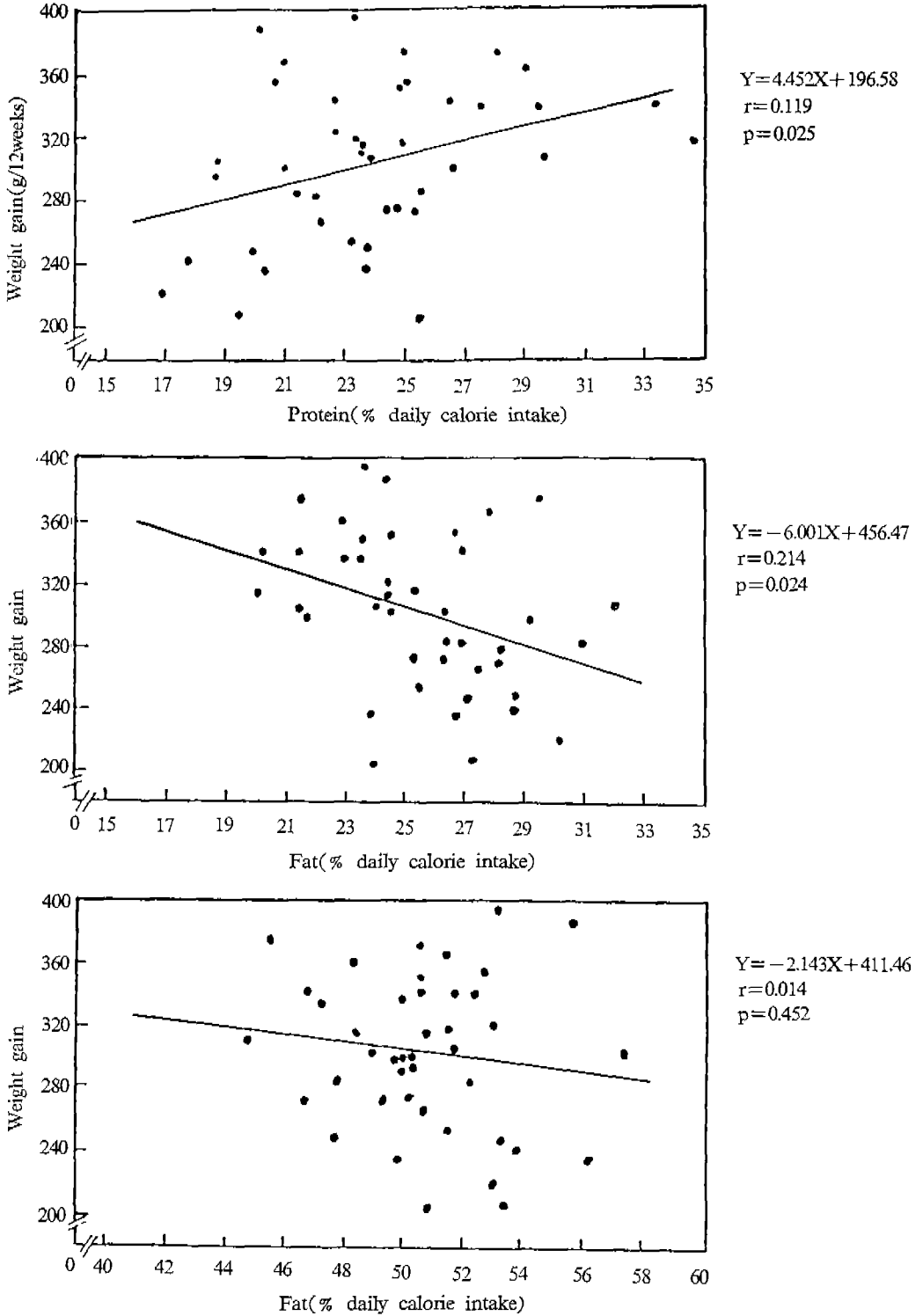


Fig. 2. Weight gain versus percent nutrient intake.

단백질에서 $23.9 \pm 3.3\%$, 지방에서 $25.6 \pm 2.3\%$ 였다. 탄수화물로 부터 섭취한 열량의 비율은 실험 초기에는 제한식이공급군이 무제한식이공급군에 비해 다소 높았으나 실험 3주 부터는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 전 실험기간에 제한식이공급군의 열량소 섭취를 무제한 식이공급군에 비교해 보면 Fig. 1에서와 같이 탄수화물에서 무제한식이공급군이 $50.7 \pm 2.8\%$, 8시간 제한식이공급군이 $50.4 \pm 2.8\%$ 로 차이가 없으나 단백질은 제한식이공급군이 $22.3 \pm 2.5\%$ 로 무제한식이공급군의 $25.5 \pm 4.3\%$ 에 비하여 유의적으로 적었고 지방에서 총 열량의 $27.3 \pm 2.0\%$ 를 섭취하여 무제한식이공급군의 $23.8 \pm 2.5\%$ 보다 유의적으로 많았다.

2. 체중증가

전 실험기간 동안 두 실험군의 체중은 무제한식이공급군이 8시간 식이공급군에 비하여 유의적 ($p < 0.01$)으로 높았다. 실험 첫주 부터 나타난 두 실험군 사이의 체중차이는 식이섭취량의 차이에서 기인된 결과로 8시간 식이공급군은 무제한 식이공급군의 체중을 catch-up하지 못하였다.

모든 실험동물의 체중증가를 열량소의 섭취와 살펴본 결과는 Fig. 2에서와 같다. 즉, 단백질에서 열량의 섭취비율이 높을수록 체중이 증가되었으며 반대로 지방에서 열량의 섭취비율은 낮을수록 체중이 증가되었다. 탄수화물에서 열량을 섭취한 비율은 체중증가와와는 아무런 상관이 없는 것으로

나타났다. 실험동물이 세 종류의 식이에서 선택하여 섭취한 식이중 탄수화물의 단백질에 대한 섭취비율(carbohydrate to protein ratio : C/P ratio)은 실험 첫 주에 8시간 식이섭취군이 3.1이었고 무제한 식이섭취군이 1.8의 수준으로 많은 차이를 보였지만 실험 5주 부터는 평균 2.2의 범위내에서 두 식이섭취군간의 유의적인 차이를 보여주지 않았다.

한편 실험 12주 동안의 체중증가량 분포도에서 총 42마리 중 양극단 15% (6마리)씩을 서로 비교하여 보았을때 실험 종료시 체중이 Table 2에서 보면 하위 15% 집단은 평균 321.5g인데 반하여 상위 15% 집단은 508.0g으로 많은 차이가 있었다. Table 2에는 체중의 증가량의 상위 15% 집단과 하위 15% 집단의 C/P, 탄수화물, 지방, 단백질의 열량에 대한 섭취를 수록하였다. 체중의 증가가 적은 하위 15% 집단의 C/P는 평균 2.81로 체중증가가 많은 상위 15% 집단의 2.31에 비하여 C/P가 유의적으로 높았으며 이는 C/P가 높을 수록 체중의 증가가 낮음을 나타낸 것이라 할 수 있다.

3. 체내수분과 지방의 함량

실험동물의 체내수분량과 지방의 함량은 Table 3에 나타내었다. 체내수분 함량은 $248.9 \pm 34.6g$ 의 범위였으며 평균 $59.8 \pm 1.1\%$ 이었다. 8시간 식이섭취군이 $228.2 \pm 31.6g$ 이고 무제한 식이섭취군이 $269.6 \pm 23.6g$ 으로 무제한식이공급군이 8시간 섭취군에 비해 유의적으로($p < 0.01$) 많았다. 그러나 체중에

Table 2. Nutrient intake and body composition of two extreme groups

	Lower 15% of body weight (n=6)	Upper 15% of body weight (n=6)
Final body weight(g)	$321.5 \pm 17.4^{1)}$	$508.0 \pm 21.0^{**}$
Carbohydrate to protein ratio	2.8 ± 0.5	$2.3 \pm 0.3^{**}$
Carbohydrate(% daily calorie intake)	52.7 ± 2.3	51.2 ± 3.3
Protein(% daily calorie intake)	20.6 ± 3.4	$23.9 \pm 2.7^*$
Fat(% daily calorie intake)	26.8 ± 2.5	25.1 ± 2.8
Body water(%)	59.9 ± 0.5	59.6 ± 0.8
Body fat(%)	15.5 ± 1.0	$18.7 \pm 2.4^*$
Food intake(g/day)	24.5 ± 1.1	$35.5 \pm 3.1^{***}$

1) : Values are means \pm S.D.

* : Significantly different($p < 0.05$) from the lower group by student t-test.

*** : Significantly different($p < 0.01$) from the lower group by student t-test.

영양소의 선택적 섭취행동과 체지방 축적과의 관계

Table 3. Body water and fat contents

Group	Ad lib. feeding (n=21)	8-hour feeding (n=21)
Body water	g 269.6±23.6 ¹⁾	228.2±31.6**
	% 59.4±1.3	60.2±0.7
Body fat	g 83.9±14.3	58.7±9.7**
	% 18.4±2.0	15.5±1.3**

1) : Values and means±S.D.

** : Significantly different(p<0.01) from ad lib. feeding group by student t-test.

대한 체내수분 함량 비율은 두 실험군이 유의적인 차이는 보이지 않았으며 Table 2에서 보면 양극단 15%를 비교하였을 때 두 집단간의 유의적 차이 또한 나타나지 않았다.

체지방의 함량은 평균 71.3±17.5g이었고 신체구성 성분 중 지방의 비율은 16.9±2.2%이었다. 체내에 축적된 지방의 함량은 8시간 식이공급군이 무제한식이공급군 보다 유의적(p<0.01)으로 낮게 나타났다. 체내수분량과 지방의 함량은 제한식이공급군이 무제한식이공급군에 비하여 유의적(p<0.01)으로 낮았으며 체중당 체지방의 함량도 유의적으로 낮았다. 체중증가량의 분포에서 양극단 15%를 차지하는 두 집단간의 체지방비율을 비교하면 체중증가량이 작은 6마리의 평균은 15.5%인데 반하여 체중증가량이 많은 6마리의 평균은 18.7%로서 유의적 차이를 보여주었다. 즉, 체중증가량이 작은 동물은 체지방의 축적량이 적을 뿐 아니라 신체구성에서 체지방의 비율도 낮았다.

실험동물 전체의 식이섭취량과 지방으로 부터 섭취한 열량은 $y = -0.578X + 44.5$ (p<0.01)로 역의 관계를 보여주었고 체내에 축적되는 지방의 비율도 반비례 관계를 나타내었다. 또한 Table 4에서 나타난 여러변인들과의 상관관계를 살펴 본 결과에서도 이들은 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

4. 뇌중 serotonin 및 5-HIAA 함량

뇌중 serotonin의 농도와 식이섭취와의 관계를 알아보기 위하여 serotonin과 5-HIAA의 농도를 측정 한 결과는 Table 5에 나타난 바와 같다. serotonin은 0.54±0.06µg/g wet tissue, 5-HIAA는 0.39±0.05µg/g wet tissue 였다. 제한식이공급군을 무제한

Table 4. Correlation coefficient among variables

Variables	FOOD	CHOCal	FATCal	PROCal	C/P	BW	BR	BWW	BFAT	5-HT	5-HIAA
FOOD	1.00										
CHOCal	-.44**	1.00									
FATCal	-.74**	.41**	1.00								
PROCal	.72**	-.81**	-.87**	1.00							
C/P	-.72	.83**	.80**	-.96**	1.00						
BW	.82**	-.30*	-.49**	.48**	-.51**	1.00					
BR	.17	.10	.07	-.10	.01	.44**	1.00				
BWW	-.07	.16	-.42**	-.16	-.39**	.90**	.13	1.00			
BFAT	-.02	.02	-.50**	.07	-.45**	.74**	-.11	-.73**	1.00		
5-HT	-.02	-.12	.11	-.01	.05	.15	.27*	-.31*	.29*	1.00	
5-HIAA	-.14	.17	.34*	-.31*	.32*	-.12	-.02	.30*	-.22	.24**	1.00
FOOD : Food Intake			CHOCal : Carbohydrate								
PROCal : Protein			Calorie %								
BR : Brain Weight			C/P : Carbohydrate to Protein ratio								
5-HT : Serotonin			BWW : Body Water								
			5-HIAA : 5-Hydroxyindole acetic acid								
			** : p<0.01								

Table 5. Brain serotonin and 5-HIAA contents

Group	Ad lib. feeding	8-hour feeding
	(n=21)	(n=21)
		μ/g wet tissue
Serotonin	0.52 ± 0.08 ¹⁾	0.55 ± 0.05
5-HIAA	0.38 ± 0.06	0.41 ± 0.05

1) : Values are means ± S.D.

식이공급군과 비교하였을 때 유의적 차이는 나타나지 않았다. serotonin과 이들 열량소의 섭취와의 관계는 아무런 상관관계가 나타나지 않았다. 5-HIAA는 단백질 섭취비율이 낮고 지방의 섭취비율이 높으면서 단백질에 대한 탄수화물의 비율이 높을 수록 높게 나타났으나 serotonin의 대사물질로서 영양소의 선택적 행동과의 관련성의 의미는 크지 않다고 본다.

고찰 및 결론

본 실험결과에서 보면 탄수화물의 섭취는 모든 실험동물이 총 열량의 50% 내외로서 비교적 많은 양을 일정하게 섭취하였으며 단백질의 섭취는 성장과 함께 점차 늘어 갔는데 개인차가 많았다. 26마리의 흰쥐에게 본 실험과 같은 내용의 식이를 제공하고 9주간 사육하였을 때 단백질의 섭취는 연령과 함께 성장하면서 증가하였고 성장이 다소 둔화되는 기간에도 계속 급성장기의 25%에서 29%로 증가하였는데 실험동물간에는 열량에 대한 단백질의 섭취비율이 13%인 흰쥐가 있는데 반하여 32%인 경우도 있어서 실험동물간 차이가 매우 큰 것으로 나타났다¹⁴⁾. 그러므로 대상의 평균값도 중요하지만 그 분포도와 극단에 속하는 개체를 살펴보는 것도 의미가 있다고 생각한다. 지방의 섭취는 단백질 섭취량이 많으면 낮고, 단백질의 섭취가 적으면 지방섭취는 많은 반대의 경향을 나타내었다.

제한식이공급군이 무제한 식이공급군에 비하여 평균적으로 단백질 섭취량이 적었는데 밤주기 시작후 8시간으로 식이의 공급을 제한한데서 그 결과를 뇌중 serotonin 함량과 연관시킬 수 있으리라 본다. 낮주기의 후반부에 serotonin 함량이 하루 중 가장 낮고 밤주기의 후반부에 가장 높다는 보고¹⁷⁾

에 비추어 볼 때 그리고 뇌중 serotonin의 수준은 feedback기전이 있어서 조절된다고 여겨지므로 밤주기의 처음 8시간은 serotonin함량이 낮아서 탄수화물에 대한 욕구가 증가하고 단백질에 대한 욕구는 감퇴하지 않았나 생각되어진다. 그러므로 단백질과 탄수화물의 섭취에 영향을 미치는 한 요인이라고 보는 뇌중 serotonin의 수준은 본 실험에서의 식이제한 공급군의 단백질의 섭취감소와 관련되어지지 않을까 생각하지만, 본 연구에서 뇌중 serotonin의 함량은 이들이 섭취한 영양소와는 상관관계가 나타나지 않았다. 이는 흰쥐를 하루중 일정한 시간에 모두 희생시키는 것보다는 시간대 별로 희생시켜서 식이를 부제한 또는 제한공급하였을 때 하루중 뇌에서의 serotonin수준의 변화를 측정하여 더 상세하게 검토해 볼 필요가 있다고 본다. 그러나 serotonin의 수준이 섭취하는 식이에 의하여 직접적으로 반응하므로 희생시키는 날에 식이공급의 여부와 serotonin분석시기를 기술적으로 조정해야 하는 어려움이 있기는 하다.

한편 식이공급을 제한하였을 때 낮밤의 시간대에 따른 serotonin 농도의 변화에 따른 단백질과 탄수화물의 욕구에 대한 연구는 다음에 기간을 더 세분하고 상세한 설계에 의하여 이루어져야 하리라 본다. Yokogoshi와 Wurtman¹⁸⁾은 탄수화물 섭취가 25%로 낮을 때 혈액내 tryptophan 비율(trp/LNAA)이 증가하지 않았으며 75% 탄수화물 식이에서도 10%의 casein이 있으면 tryptophan 비율이 증가하지 않아서 serotonin농도가 늘지 않는다고 밝혔다. 이 결과에 비추어 볼 때 본 실험에서 50%의 탄수화물의 일정한 섭취는 혈액내 tryptophan 비율로 보면 중성적이라고 할 수 있는 수준, 즉 식이내 단백질 함량에 의해서 그 비율이 영향을 받지 않는 수준이다. 따라서 뇌중 serotonin 함량이 기본적으로 일정하고 부족하거나 많지 않은 정상범위여서 단백질의 선택적 섭취와는 무관한 것으로 생각해 볼 수 있다.

총 섭취열량 중에서 단백질로부터 섭취한 비율이 높을수록 지방의 섭취비율이 작을수록 체중증가량이 많고 체지방이 많이 축적되는 것으로 나타났다. 이 현상은 단백질이 식욕을 자극하여 식이섭취량을

높이므로 따라서 체중이 많이 늘고 체내에 더 많은 지방이 축적되기 때문으로 생각된다. 지방의 섭취량이 적을수록 체중증가가 많은 본 실험의 결과는 다소 의아한 감을 주지만 성장기 동물의 식이선택 과정에서 단백질 섭취비율이 증가하여 나타나는 반작용으로 생각된다. 단백질의 섭취감소는 식이 섭취량을 줄여서 체중증가를 억제하는 것으로 보인다. 42마리의 실험동물중 단백질의 열량에 대한 섭취비율은 16.9%에서 28.1%의 범위에 속하고 있었다. 이전의 실험¹⁴⁾에서는 26마리의 흰쥐중 단백질의 섭취비율이 16%인 쥐는 9주간의 체중증가량이 183g이었는데 비하여 30%인 쥐는 체중증가량이 464g으로 많은 차이를 보였다. 이 수준은 Peng등¹⁹⁾의 연구에서 평균 14%, Musten등³⁾의 연구에서 35%인 결과와 비교해 볼 때 위의 두 실험이 두 가지 종류의 식이를 주었는데 반하여 본 실험은 세 가지 식이를 준 차이가 있으나 정상범위에 속한다. 이 결과를 인체에 적용하기에는 약간 무리하다고 생각하지만 대사적 결함이 없는 정상인이 비만증이 되는 과정에서 식이내 단백질과 탄수화물의 역할은 생각해 볼 필요는 있다. 이와 같은 측면에서 모유의 섭취와 채식주의자의 경우는 관심을 모은다. 모유는 우유에 비하여 단백질 함량이 적고 탄수화물은 많은데 이러한 모유의 구성은 우유의 섭취에 비하여 성인기에 비만을 예방할 수 있는 많은 요인중 하나가 되지 않을까 싶다. 채식주의자의 경우 단백질은 덜 먹고 탄수화물의 섭취는 높는데 육식주의자에 비하여 비만증은 덜하다. 물론 지방의 섭취량을 고려해 볼 때 육식에 지방이 많이 함유되어 있어서 지방섭취량이 더 문제가 되어질 수 있다. 그러나 일반적 상황에서 단백질의 많은 섭취는 체중과잉과 관련 되어진다고 본다.

단백질의 섭취는 공급되는 사료의 형태에 따라서도 차이가 있어서 과립 또는 덩어리 형태의 단맛이 없는 식이의 경우는 총 열량의 40~45%를 단백질에서 섭취한데 비하여 급원으로 설탕을 첨가하여 단맛이 있는 식이는 30%내외 였다고 한다²⁰⁾. 섭취하는 단백질의 양은 이와같이 사료의 형태뿐만 아니라 특정한 아미노산의 첨가 또는 부족¹⁹⁾²¹⁾에 따라서도 달라진다. 단백질의 섭취에 대한

영양적 필요와 생리적 요구에 관하여 아직 확실한 답은 없다. 그러나 성장과 함께 단백질의 섭취량이 증가한 뒤 성장이 둔화되면서 영양적 필요는 감소함에도 불구하고 단백질의 섭취는 계속 증가하는 추세여서 C/P는 개인차가 크지만 평균적으로 감소하는 경향인데²²⁾, 인간의 경우에도 비슷한 경향이 나타난다. 단백질이 많이 함유된 식품이 혼한 선진사회에서 보면 단백질의 섭취량은 필요량보다 많으며, 즉 정상성인의 경우에 단백질에 대한 기호는 높은 것으로 보인다. Harper등²³⁾의 연구에서도 흰쥐에게 단백질 함량이 다른 식이를 주고 선택하게 하였을 때 비슷한 양을 섭취하는 것이 아니라 단백질 선택범위가 넓은 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 성장기에 단백질의 섭취가 많으면 식이섭취량을 늘리고 열량의 섭취가 많아지므로 체중증가량이 많아지며 또한 체지방의 축적이 증가한다. 그러므로 고단백식에 대한 기호가 높으면 식욕을 자극하여 체내에 축적되는 지방을 늘려서 비만증으로 이끌 가능성이 많다. 한편 뇌중 serotonin의 농도변화와 탄수화물 및 단백질에 대한 기호와의 관련성을 더 연구한 후에 이들 영양소의 섭취억제 기전을 통한 체지방 축적량을 감소시킬 수 있는 방안을 모색해 보고 개인별 특성을 이해해 볼 필요가 있다.

Literature cited

- 1) Osborne TB, Mendel LB. The choice between adequate and inadequate diet as made by rats. *J Biol chem* 35 : 19, 1918
- 2) Wurtman JJ, Wurtman RJ. Drugs that enhance central serotonergic transmission diminish elective carbohydrate consumption by rats. *Life sci* 24 : 895-904, 1979
- 3) Musten B, Peace D, Anderson GH. Food intake regulation in the weanling rat ; self-selection of protein and energy. *J Nutr* 104 : 563-572, 1974
- 4) Fernstrom JD. Nutrition, brain function and behavior. In Miller SA, eds. Nutrition and behavior, pp59-68, The Franklin Institute Press, 1981
- 5) Wurtman JJ. Neurotransmitter regulation of protein

- and carbohydrate consumption. In Miller SA, eds. Nutrition and behavior, pp69-75, The Franklin Institute Press, 1981
- 6) Fernstrom JD, Wurtman RJ. Brain serotonin content : increase following ingestion of carbohydrate diet. *Science* 174 : 1022-1025, 1971
 - 7) Fernstrom JD, Wurtman RJ. Brain serotonin content : physiological regulation by plasma neutral amino acids. *Science* 178 : 411-416, 1972
 - 8) Anderson GH. Self-selected meal composition, circadian rhythms and meal responses in plasma and brain tryptophan and 5-hydroxytryptamine in rats. *J Nutr* 112 : 2001-2010, 1982
 - 9) Kanarek RB, Feldman PG, Hanes C. Patterns of dietary self-selection in VMH-lesioned rats. *Physiol Behav* 27 : 337-343, 1981
 - 10) Wurtman JJ, Wurtman RJ, Growdon JH, Henry P, Lipscomb A, Zeisel S. Carbohydrate craving in obese people : suppression by treatments affecting serotonergic transmission. *Int J Eating Disorders* 1 : 2-11, 1981
 - 11) Kim SH, Wurtman RJ. Selective effects of CGS 10686B, dl-fenfluramine or fluoxetine on nutrient selection. *Physiol behav* 42 : 319-322, 1988
 - 12) 조재현 · 김선희. 하루 중 사료공급시간이 흰쥐의 탄수화물과 단백질의 선택적 섭취 비율에 미치는 영향. *한국영양학회지* 22 : 247-256, 1989
 - 13) 남혜경. 흰쥐의 하루 중 식이섭취 공급시간에 따른 탄수화물, 단백질, 지방의 자아 선택 형태 및 체내 구성성분과의 관계. *국민대학교 석사학위논문* 1989
 - 14) Kim SH, Mauron J, Gleason R, Wurtman R. Selection of carbohydrate to protein ratio and correlations with weight gain and body fat in rats allowed three dietary choices. *Internat. J Vit Nutr Res* 61 : 166-179, 1991
 - 15) Richteric R. Clinical chemistry. Karger, Basel. 1969
 - 16) Curzon G, Green AR. Rapid method for the determination of 5-hydroxyindole acetic acid in small regions of rat brain. *Br J Pharmacol* 39 : 653-655, 1970.
 - 17) Scheffler WC. Statistics for the Biological Sciences. 2nd ed. Addison-Wesley Pub. Co. 1979
 - 18) Angelova C, Balabanski L(Sofia). Influences of amino acids on the circadian rhythms of brain neurotransmitters. *Biblithea Nutr Dieta* 38 : 72-81. Karger Basel 1986
 - 19) Yokogoshi H, Wurtman RJ. Meal composition and plasma amino acid ratios : effect of various protein concentrations. *Metabolism* 35 : 837-847, 1986
 - 20) Peng Y, Gubin J, Harper AE, Vavich MG, Kemmer AR. Food intake regulation : Amino acid toxicity and change in brain and plasma amino acids. *J Nutr* 103 : 608-617, 1979
 - 21) Bise A, Leathwood PD, Ashley DVM. The influence of taste and texture on protein selection by the rat. *Int J Vit Nutr Res* 2 : 53, 1983
 - 22) Fernstrom JD, Wurtman RJ, Wiklund B, Rand WM, Munro H. Diurnal variations in plasma concentration of tryptophan, tyrosine and other neutral amino acids : effect of dietary protein intake *Am J Clin Nutr* 32 : 1912-1922, 1979
 - 23) Yokogoshi H, Theall CL, Wurtman RJ. Selection of dietary prote:in and carbohydrate by rats : changes with maturation. *Physiol Behav* 36 : 972-982, 1986
 - 24) Harper AE, Peters JC. Protein intake, brain amino acid and serotonin concentrations and protein self-selection. *J Nutr* 199 : 677-689, 1988