

하루중 사료공급기간이 흰쥐의 탄수화물과 단백질의 선택적 섭취비율에 미치는 영향

조재현 · 김선희
국민대학교 사범대학 가정교육과

Self-Selection of Carbohydrate to Protein Ratio for Different Feeding Periods a Day
by Rats.

Cho, Jae-Hyun & Kim Sun-Hee
Dept. of Home Eco., Kookmin University.

=ABSTRACT=

Growing male rats were allowed to have food from two dishes containing isocaloric, isoprotein 15% or 70% carbohydrate diet for 4, 8, 12 or 24 hours a day at the beginning of the dark period. Four hours of feeding were not enough to grow though the first 4 hours of intake were significantly higher than other periods, 4-hour and 8-hour feeding groups consumed significantly less carbohydrate calorie than 12-hour and ad libitum feeding groups, which hence, showed lower ratio of carbohydrate to protein in the total food consumed. The fasting brain tryptophan and serotonin levels among groups were not significantly different. It appears therefore that the manipulation of the feeding period could be valuable in suppression of carbohydrate appetite, especially carbohydrate craving.

I. 서 론

최근 식생활의 서구화와 경제의 호전으로 인하여 야기되는 비만의 문제는 상당히 심각하며, 그 원인을 파악하기 위한 하나의 방법으로 식품 섭취의 조절기전에 관하여 많은 연구들이 이루어지고 있다.

동물은 식품을 선택함에 있어 자신의 신체적 상태에 따라 스스로 영양소의 섭취를 조절하여 선택하는 능력이 있다고 본다. 또한 식이의 선

택적 섭취는 열량 영양소의 균형과 조절에 의해서 이루어진다고 알려져있다. Anderson과 Musten (1)은 흰쥐가 식이를 섭취할 때 단백질의 섭취수준을 스스로 조절할 수 있다고 밝혔으며 Wurtman 등 (2)은 열량섭취와는 상관없이 탄수화물의 섭취수준을 조절할 수 있다고 보고하였다.

동물 스스로의 식이선택능력은 뇌에서 합성되는 신경전달물질(neurotransmitter)과 많은 관련을 갖는 것으로 알려지고 있다. 신경전달물

*이 논문은 1988년도 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의해서 연구되었음.

접수일자: 1989년 7월 7일

질중 몇 가지는 식품내 전구체의 이용에 직접적 영향을 받는데 그 중에서 필수 아미노산인 tryptophan 이 전구체인 serotonin 수준은 식품내에 함유된 tryptophan의 함량뿐만 아니라 혈액내 tryptophan이 뇌속으로 이동하는 과정에서 blood-brain barrier를 통과할 때 다른 중성아미노산과 경쟁하므로 혈액에 존재하는 중성아미노산과 tryptophan의 비율에 따라 변화될 수 있다(3). 뇌중 serotonin의 정상적 수준은 식이내 탄수화물과 단백질 섭취의 feedback mechanism에 의하여 조절되는 것으로 보여진다. 즉, 신경세포에서 serotonin의 합성이나 방출이 감소하면 탄수화물에 대한 욕구를 높여 serotonin의 합성을 증가시킨다. 다량의 탄수화물 섭취로 인하여 분비된 insulin은 혈액내의 중성아미노산을 근육속으로 이동시켜서 혈액내 tryptophan이 blood-brain barrier를 통과할 때 중성아미노산의 경쟁력을 약화시켜 뇌속으로 가는 tryptophan의 양을 증가시킨다. 그리고 뇌의 serotonin합성은 증가된다. serotonin 수준의 증가는 탄수화물에 대한 욕구를 감소시키며 단백질에 대한 욕구를 늘어나게 한다(4). 그리하여 단백질의 섭취가 늘면 혈액내 tryptophan의 증가와 더불어 중성아미노산의 양도 증가하여 blood-brain barrier를 통과하는 tryptophan의 양이 감소되며 뇌중 serotonin의 수준이 낮아져 정상범위를 유지하게 된다.

낮밤의 주기가 동물의 활동이나 식이섭취에 영향을 미치고 있으며, 특히 흰쥐의 경우 밤 주기동안 낮에 비하여 활동이 많고 음료와 식사의 대부분을 섭취하는 것으로 알려지고 있다(5). 식사량 뿐만 아니라 선택하는 영양소 섭취량도 시간대에 따른 차이가 있어서 serotonin 수준이 높은 시간대에는 섭취열량중 단백질로서의 섭취비율이 높은 경향이였다(6). 뇌중 serotonin 수준과 탄수화물 및 단백질 섭취의 관계는 약리적으로 보면 serotonin의 방출을 증가시키고 재흡수를 차단하는 fenfluramine을 비만한 사람에게 주었을 때 탄수화물 위주의 간식을 줄일 수 있었으며(7), 흰쥐에게 주사하였을 때 식

이섭취가 감소하면서 특히 단백질보다 탄수화물의 총열량에 대한 섭취비율이 감소됨을 나타내었다(8). 그러므로 식품의 섭취시간대에 따라 뇌속의 serotonin 수준이 변화하는지 또한 식이의 공급기간에 따라 탄수화물과 단백질의 섭취비율이 변화하는지를 살펴볼 필요가 있다.

본 연구에서는 식이의 공급시간 및 뇌중 serotonin 수준이 탄수화물과 단백질의 섭취를 조절하는 한 요인이 될 수 있는지를 알고자하여 단백질, 무기질, 비타민을 필요한 만큼 충족되게 공급하고 탄수화물의 함량을 15%와 70%로한 isocaloric diet을 하루중 각기 4시간, 8시간, 12시간, 24시간 네 실험군의 흰쥐에게 공급하였다. 또한 탄수화물과 단백질의 선택적 섭취비율에 뇌중 serotonin함량이 어떠한 관련이 있는지를 알고자하여 뇌속의 tryptophan과 serotonin의 함량을 측정하였다.

II. 실험계획 및 방법

1. 실험동물 및 식이

이유 직후의 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐 36마리를 식이총량의 60%가 탄수화물인 식이를 제공하면서 식이와 12시간 주기의 밤(09:00~21:00)과 낮(21:00~09:00)의 실험실 환경에 8일간 적응시킨 후, 평균체중이 110.9 ± 9.3 g인 이 실험동물을 체중에 따라 난괴법에 의해 9마리씩 네 실험군으로 나누었다.

실험식이는 동일한 열량과 단백질을 함유하고 탄수화물의 수준이 다른 두 종류의 식이를 각기 그릇에 담아서 한마리 쥐에게 동시에 제공하였다. 단백질은 casein(Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.)으로 식이총량의 18%를 첨가하였고 탄수화물은 옥수수 전분(신한제분)의 형태로 각기 15%와 70%를 포함시켰다. 두 실험식이는 1g당 3.94Kcal의 동일한 열량을 함유하였으며 탄수화물의 함량차이로 인하여 생기는 열량의 차이는 지방과 섬유소의 양을 가감하여 조정하였다. 따라서 15% 탄수화물 식이는 지방(옥수수기름, 동방유량제품)을 29.1%, 섬유소(pure cellulose,

Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.)를 31.7% 함유하였으며 70%탄수화물 식이는 지방을 4.7%, 섬유소를 1.1% 함유하였다. 두 식이는 똑같이 무기질(Rogers-Haper formulation, Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.)은 4%, 비타민(Bio-Serv. Inc. N.J., U.S.A.)은 2.2%를 함유하였다. 식이의 형태는 4% 한천용액을 가열하여 식이성분과 1 : 1로 섞은 후 균한 젤리형으로 하였으며 두 식이는 수분을 약 42% 함유하였다.

실험실은 12시간 주기의 낮(21:00~09:00)과 밤(09:00~21:00)이 되도록 빛을 조절하였으며, 사육실의 온도는 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도는 $63 \pm 5\%$ 로 유지시켰다.

실험동물은 각장에 한마리씩 넣어 사육하였으며 식이는 09:00에 모든 흰쥐에게 넣어주고 각 실험군에 해당하는 공급시간 만큼 제공하였다. 두 종류 식이의 섭취량은 매일 식이공급 후 밤 주기 동안 4시간 간격으로 4시간 식이섭취군은 1회, 8시간 식이섭취군은 2회, 12시간 식이섭취군은 3회, 24시간 식이섭취군은 4회 측정하였다. 식이를 한 방향으로 주었을 때 습관적으로 같은 방향의 식이를 먹는 것을 막기 위해서 밥그릇은 매일 좌우로 위치를 변화시켰고 물은 무제한 주었다.

체중은 실험 전 기간에 격일로 같은 시간(08:00h)에 측정하였다.

2. 뇌중 tryptophan과 serotonin 함량의 측정

실험동물은 실험전일(21:00h)에 12시간 식이섭취군과 무제한 식이섭취군의 밥그릇을 함께 꺼내어 모든 실험군을 절식시켜 실험당일(11:00h)에 공복의 상태에서 단두기로 머리를 절단하고 뇌를 채취하여 즉시 dry ice에 넣어 냉동시킨 후 뇌중 tryptophan 및 serotonin 함량을 분석하였다. 뇌중 tryptophan의 분석은 Denckla와 Dewey의 방법(9)에 의하여 측정하였다. 뇌중 serotonin은 뇌조직을 homogenize하여 2°C 에서 6000r.p.m으로 냉장 원심분리시킨 후 Curzon과 Green의 방법(10)에 의해 acidified-butanol과 heptane으로 처리하고 o-phthalaldehyde와

반응시켜 fluorescence를 측정하여 정량하였다.

3. 자료의 통계처리

본 연구의 모든 실험분석 결과는 컴퓨터에서 spss를 이용하여 통계처리 하였다. 실험군의 평균치와 표준편차를 계산하였고, 각 실험군의 평균치간의 유의성은 분산분석 후 $P < 0.05$ 수준에서 Tukey's test(11)에 의하여 검증하였다.

III. 실험결과

1. 식이섭취량

실험기간의 실험군별 총 식이섭취량은 <표1>에 나타내었다.

실험초기에 식이섭취량은 식이를 제공한 시간이 길수록, 즉 4시간, 8시간, 12시간, 24시간의 차례대로 많아졌다. 4시간 식이섭취군은 6주간의 실험동안 다른 실험군에 비하여 유의적으로 식이 섭취량이 적었다. 8시간과 12시간 식이섭취군의 경우 섭취량은 실험 2주부터 유의적인 차이가 없었으나 24시간의 무제한 식이섭취군에 비하여서는 적은 양을 섭취하였다. 그러나 실험 6주에서는 8시간, 12시간, 24시간 식이섭취군사이에 섭취량의 유의적 차이가 나타나지 않았다.

식이제공 후, 밤 주기의 4시간마다 섭취량을 측정하였는데 실험군내에서 시간대별 식이섭취량은 <그림1>에 나타난 바와 같다. 8시간, 12시간 및 24시간 식이섭취군에서 처음 4시간의 섭취량은 그 이후 4시간마다 측정한 섭취량보다 많았고, 그 이후의 섭취량은 서로 비슷하였다.

8시간과 12시간 식이섭취군은 공복상태가 16시간 및 12시간이었다가 식이를 공급받았으나 24시간 식이섭취군은 공복상태가 없었는데도 불구하고 식이제공 후 첫 4시간의 식이섭취량이 하루 섭취량의 1/3정도로 많았다. 또한 식이를 무제한 공급하지 않고 일정기간에 제공한 경우 실험 3주까지 첫 4시간 동안의 섭취량은 매우 증가하였다가 그 이후는 거의 일정하게 유지되었다.

Table 1. Food intake¹⁾

(wet g / day)

Group	Age(week)					
	1	2	3	4	5	6
4-hr feeding	24.1±2.0 ^{ab}	30.1±3.3 ^a	33.4±5.3 ^a	30.9±3.3 ^a	34.6±1.6 ^a	36.5±2.9 ^a
8-hr feeding	32.6±1.8 ^b	39.9±2.3 ^b	42.7±2.9 ^b	40.0±1.0 ^b	42.0±2.4 ^b	43.0±1.6 ^b
12-hr feeding	37.1±2.3 ^c	41.3±3.6 ^b	43.1±2.5 ^b	40.5±1.5 ^b	42.8±2.3 ^b	45.0±1.9 ^b
24-hr feeding	39.7±1.4 ^c	47.3±3.5 ^c	48.5±3.7 ^c	47.9±1.2 ^c	47.2±4.4 ^c	45.6±2.6 ^b

1) Values were means±S.D.

2) Values with different superscripts within a column were significantly different at P<0.05 by Tukey's test.

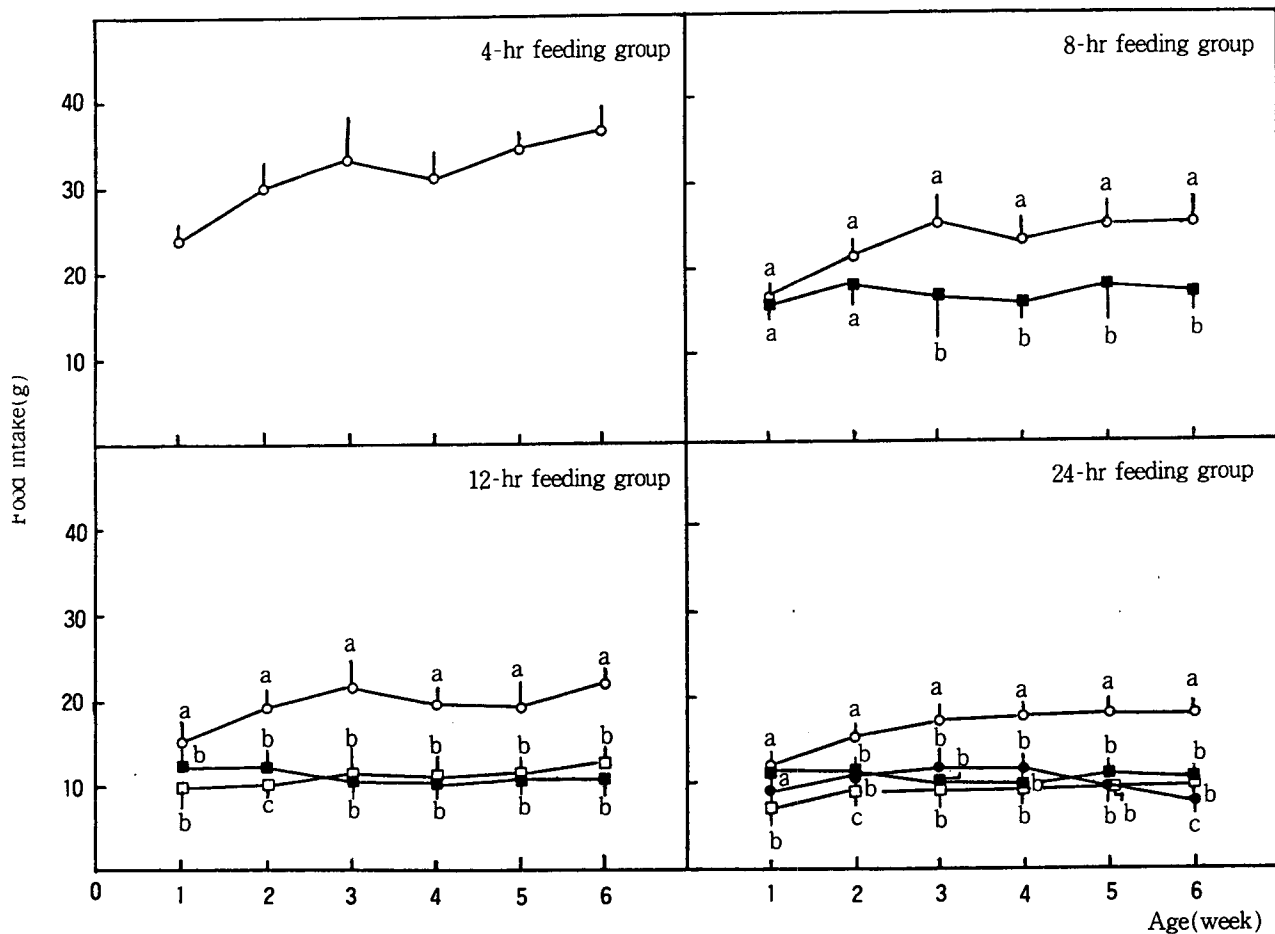


Fig. 1. Food intake of 4 different groups. The period of feeding during a day allowed was divided into 0-4hr (○), 4-8hr(■), 8-12hr(□) and 12-24hr(●). Reported values were the means±S.D. Values with different superscripts each week were significantly different at P<0.05 by Tukey's test.

Table 2. Carbohydrate intake¹⁾

(g/day)

Group	Age(week)					
	1	2	3	4	5	6
4-hr feeding	6.9±0.5 ^{ab}	8.0±0.9 ^a	8.9±1.8 ^a	8.2±1.3 ^a	9.1±0.9 ^a	9.5±1.2 ^a
8-hr feeding	9.6±0.6 ^b	11.5±0.9 ^b	11.8±1.1 ^b	11.4±0.8 ^b	12.3±1.2 ^b	12.6±0.5 ^b
12-hr feeding	12.3±0.8 ^c	13.9±1.3 ^c	14.3±0.6 ^c	14.0±0.8 ^c	14.8±0.8 ^c	15.8±0.8 ^c
24-hr feeding	13.5±0.7 ^d	16.8±1.7 ^d	16.5±1.5 ^d	16.9±0.7 ^d	16.7±1.4 ^d	16.5±1.0 ^c

1) Values were means±S.D.

2) Values with different superscripts within a column were significantly different at P<0.05 by Tukey's test.

Table 3. Carbohydrate / Protein ratio¹⁾

Group	Age(week)					
	1	2	3	4	5	6
4-hr feeding	2.75±0.16 ^{ab}	2.52±0.14 ^a	2.53±0.24 ^a	2.53±0.22 ^a	2.51±0.23 ^a	2.48±0.15 ^a
8-hr feeding	2.82±0.08 ^a	2.77±0.11 ^b	2.64±0.13 ^a	2.74±0.19 ^a	2.81±0.18 ^b	2.82±0.10 ^b
12-hr feeding	3.19±0.06 ^b	3.22±0.10 ^c	3.18±0.10 ^b	3.32±0.10 ^b	3.31±0.10 ^c	3.37±0.10 ^c
24-hr feeding	3.24±0.07 ^b	3.39±0.13 ^c	3.27±0.11 ^b	3.38±0.09 ^b	3.39±0.15 ^c	3.46±0.05 ^c

1) Values were means±S.D.

2) Values with different superscripts within a column were significantly different at P<0.05 by Tukey's test.

2. 탄수화물의 섭취량

실험군별 탄수화물의 섭취량은 <표2>에서와 같다.

탄수화물의 섭취량은 4시간, 8시간, 12시간, 24시간 식이섭취군의 순서대로 식이제공시간이 길수록 유의적으로 많아졌다. 실험 5주까지 네 실험군의 탄수화물 섭취량은 유의적인 차이를 나타내었으나 실험 마지막 주에는 12시간 식이섭취군이 24시간 식이섭취군과 유의적 차이없이 비슷한 양의 탄수화물을 섭취한 것으로 나타났다.

3. 단백질에 대한 탄수화물의 비율(Carbohydrate to protein ratio : C/P)

실험동물이 두 종류의 식이에서 선택하여 섭취한 식이중 단백질에 대한 탄수화물의 비율,

C/P는 <표3>에 나타난 바와 같다.

실험 첫주에 4시간과 8시간 식이섭취군은 12시간과 24시간 식이섭취군에 비하여 유의적으로 낮은 C/P를 보여주었다. 그 이후 6주동안 12시간 식이섭취군의 C/P는 24시간 식이섭취군의 C/P와 비슷하였으며 4시간 및 8시간 식이섭취군의 C/P에 비하여 유의적으로 높았다. 4시간과 8시간 식이섭취군을 서로 비교해 보면 4시간 식이섭취군의 C/P는 8시간 식이섭취군의 C/P에 비하여 약간 낮아서 실험 1, 3, 4중에서처럼 유의적 차이가 없거나 또는 실험 5, 6주에 유의적 차이가 나타나기도 하였다.

하루중 식이를 공급받는 시간이 짧을수록 실험군별 C/P는 낮아서 저탄수화물식이의 선택 비율이 많았음을 알 수 있다. 그러나 밤에 12시간의 식이제공은 24시간 무제한 식이제공과 비교할 때 C/P의 차이가 없었다.

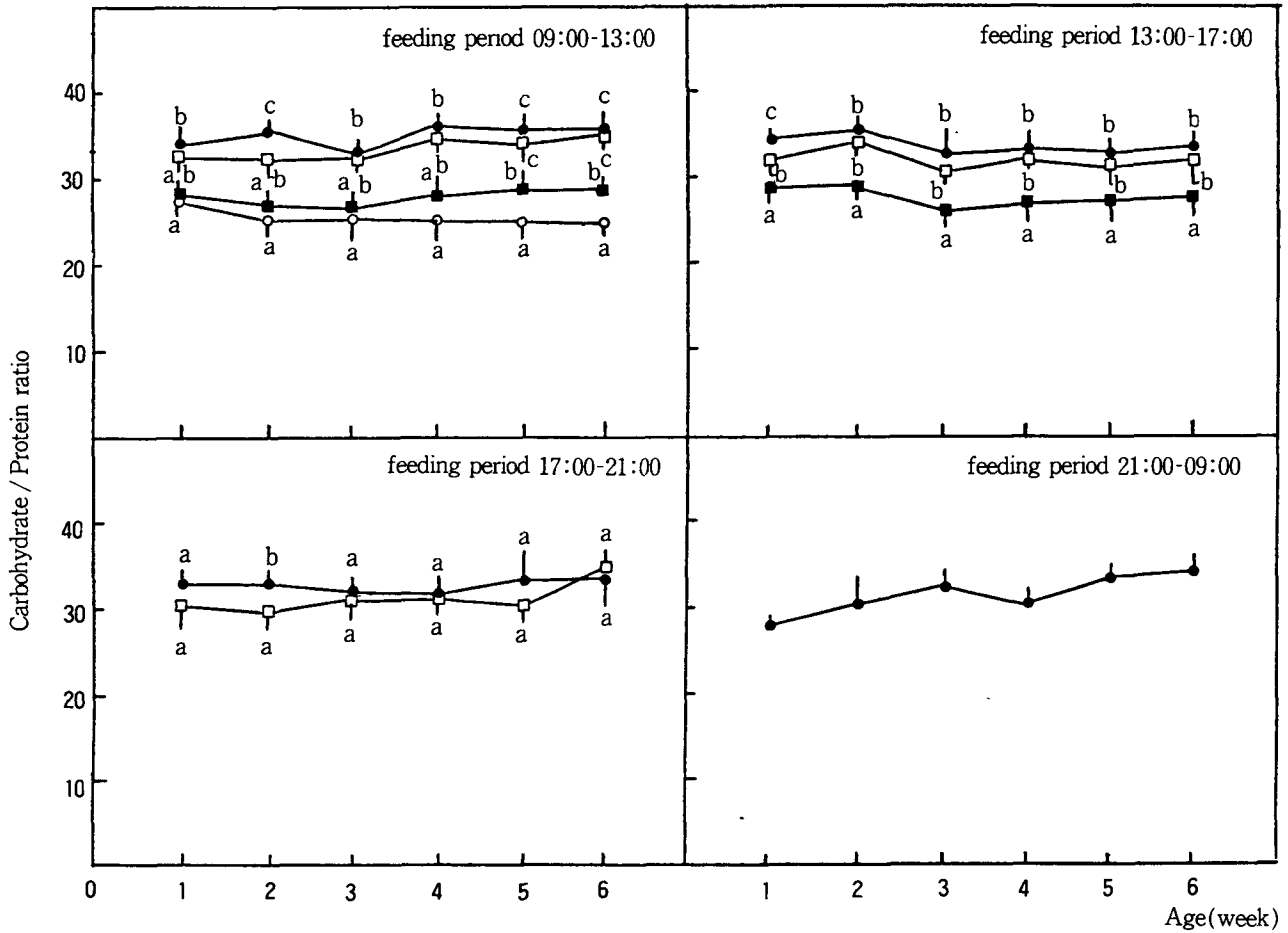


Fig. 2. Carbohydrate to protein ratio of 4 different periods of feeding allowed. Rats were divided into 4 groups and provided to choose two (15% & 70%) cornstarch isocaloric diets for 4 hours (○), 8 hours (■), 12hours (□) or ad lib(●) during a day. Reported values were the means±S.D. Values with different superscripts were significantly different at P<0.05 by Tukey's test.

실험군별 식이제공 후 4시간마다 측정된 식이섭취에서 C/P를 분석해 보았더니 각 실험군에서 시간대별 C/P의 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다. 반면에 각 시간대별 실험군의 C/P는 <그림 2>에서 보면 실험군간에 차이를 볼 수 있었다. 식이제공 후 첫 4시간(09:00~13:00)에 4시간 식이섭취군의 C/P가 가장 낮았으며 실험기간이 경과하면서 감소하는 경향이었으나 그 외 실험군의 C/P는 오히려 증가하는 경향

이었다. 식이제공 4시간에서 8시간 사이에서는 8시간 보다 12시간의, 12시간 보다는 14시간 식이섭취군의 C/P가 실험 전 기간에 걸쳐 높았으며, 세 실험군의 C/P는 실험 3주까지는 감소하고 그 후 일정하게 유지되었다. 식이공급후 8시간에서 12시간 사이에서는 12시간과 24시간 식이섭취군의 C/P가 비슷하였다. 낮 주기에 해당하는 식이제공후 12시간에서 24시간 사이에 24시간 식이섭취군의 C/P는 시일이 경과하

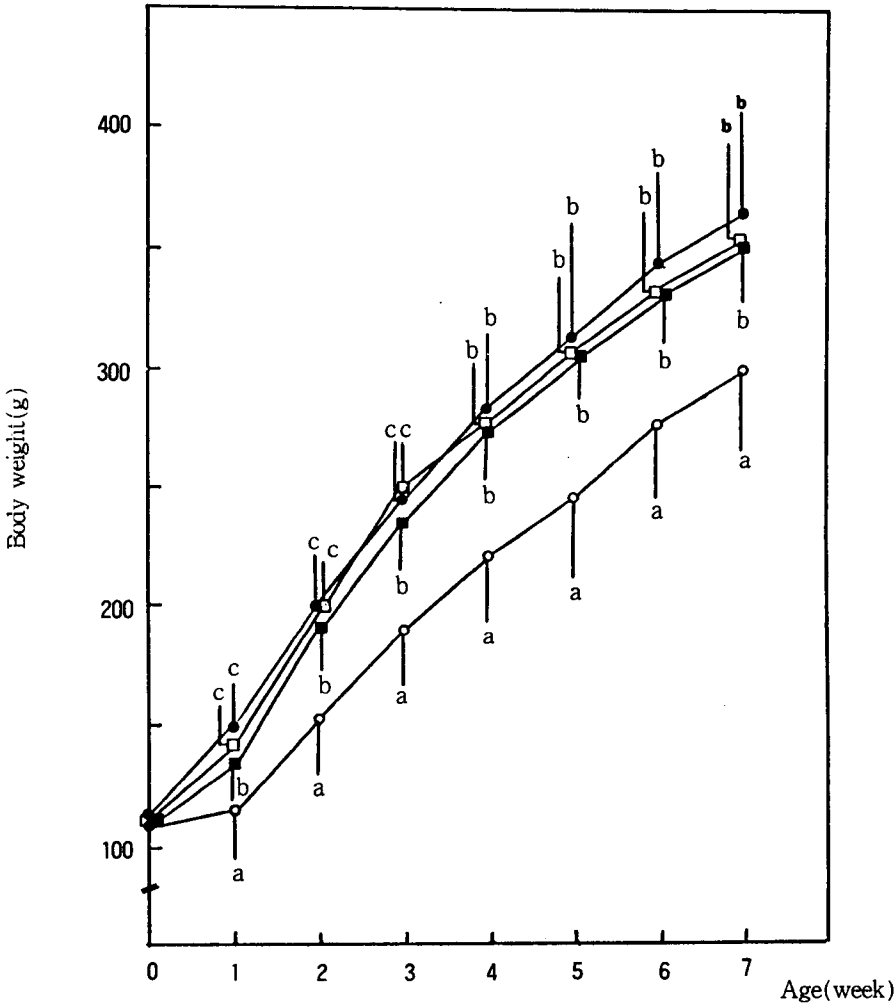


Fig. 3. Rats were allowed to have foods for 4 hours (○), 8 hours (■), 12 hours (□) or ad lib (●). Reported values were the means \pm S.D. Values with different superscripts each week were significantly different at $P < 0.05$ by Tukey's test.

면서 증가하는 추세를 나타내었다.

4. 체 중

실험군별 체중의 변화는 <그림3>에서 보는 바와 같다. 실험 시작 후 2주동안 4시간 및 8시간의 식이섭취군은 12시간 및 무제한 식이섭취군에 비하여 유의적으로 체중이 적었으며 3주 이후에는 8시간 식이섭취군의 체중이 무제한

식이섭취군의 체중을 catch-up하여 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 그러나 4시간 식이섭취군은 나머지 세군에 비하여 전 실험기간 중 유의적으로 체중이 낮았다.

5. 뇌중 tryptophan 및 serotonin의 농도

공복시 일정한 시간에 측정해 본 뇌중 tryptophan 과 serotonin의 농도는 <표4>에서 나타

Table 4. Brain tryptophan and serotonin content¹⁾

Group	($\mu\text{g} / \text{g brain}$)	
	Tryptophan	Serotonin
4-hr feeding	2.97 \pm 0.44	0.52 \pm 0.10
8-hr feeding	3.17 \pm 0.79	0.54 \pm 0.07
12-hr feeding	2.89 \pm 0.43	0.60 \pm 0.05
24-hr feeding	2.99 \pm 0.57	0.54 \pm 0.06

1) Values were means \pm S.D.

난 바와 같이 실험군간에 유의적 차이가 없었다.

IV. 고찰 및 결론

하루중 식이공급기간을 달리하면서 두종류의 식이를 제공하였을 때 식이공급기간이 탄수화물과 단백질의 선택적 섭취비율에 어떠한 영향을 미치는지 또한 뇌중 serotonin 함량과는 어떠한 관련이 있는지를 조사한 본 실험의 결과에서 몇 가지 토의해 볼만한 문제들이 제기되었다.

식이가 무제한으로 제공되거나 또한 하루 중의 일정한 시간에만 제공되었을 때 밤 주기가 시작되는 처음 4시간의 식이섭취량은 그 이후의 4시간에 비하여 유의적으로 많았다. Leathwood 와 Arimanana(12)의 연구에서 보면 밤 주기 시작 후 2시간에 식이섭취량이 많았으며, 처음 4시간의 식이섭취량은 하루 총 식이섭취량의 약 38%를 섭취한 것으로 나타났다. 본 실험의 결과에서도 비록 제공한 식이가 앞의 연구에서는 단백질의 함량이 다르고 본 실험에서는 탄수화물의 수준이 다른 두 종류이기는 하지만 무제한 식이공급군이 실험 5주에는 평균 약 37%, 6주에는 39%의 식이를 밤 주기 시작 후 4시간에 섭취하였으므로 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나 밤 주기의 첫 4시간의 식이섭취량이 다른 시간에 비하여 많다고는 하지만 4시간 식이섭취군의 체중이 다른 실험군에 비하여 실험 6주동안 유의적으로 적었음을 볼 때 하루 4시간의 식이제공으로는 필요한 열량을 모두 섭취하

기가 부족한 것으로 생각된다.

8시간 식이섭취군은 처음 1주에는 12시간이나 24시간 식이섭취군에 비하여 식이섭취량이 적었으나 2주 이후부터 12시간 섭취군과 비교할 때 유의적 차이는 없었다. 다만, 무제한 공급에 비하면 실험 5주까지는 8시간과 12시간 식이섭취군의 식이섭취량이 적었으므로 식이섭취량은 식이제공시간이 길어지면 더 많아짐을 알 수 있다.

식이섭취량과 마찬가지로 탄수화물 섭취량의 경우도 식이제공 후 4시간, 즉 밤 시작 후 4시간은 다른 시간에 비하여 많은 양의 탄수화물을 섭취하였다. 그러나 이 기간중에 식이제공시간이 짧은 실험군일수록 70%의 고탄수화물 보다는 15% 저탄수화물 식이를 더 많이 섭취하였으므로 C/P의 비율이 더 낮은 경향이였다.

4시간과 8시간 식이섭취군은 실험 전 기간에 걸쳐 12시간과 무제한 식이섭취군에 비하여 C/P의 비율이 낮았고 실험 5주이후 4시간 식이섭취군이 8시간 식이섭취군보다 이 비율이 유의적으로 더 낮았으므로 식이공급기간이 짧으면 저탄수화물 식이에 대한 기호가 더 많음을 알 수 있었다.

섭취하는 식이내에서 단백질에 대한 탄수화물의 비율에 관한 연구에서 보면 Yokogoshi등(13)은 이유 직후의 흰쥐에게 탄수화물 수준이 다른 두 가지 식이를 공급하였는데 성적 성숙이 이루어지는 시기 이전에는 C/P가 2.86~3.45의 좁은 범위에 있었으나 이후에서 실험대상의 반은 그 범위내의 섭취비율을 유지하였고 나머지 반은 2.0의 수준 정도로 낮아지면서 저탄수화물 식이의 섭취비율이 늘어났음을 보고하였다. 두 종류(14) 또는 세 종류(15)의 식이를 동물에게 제공하였을 때 그 비율은 2.83~5.00의 범위내에 있는 것으로 나타나며 여자 쌍생아를 대상으로한 Wade등(16)의 조사에서도 2.56~2.78의 비율로 나타났다. 본 실험의 경우에 실험군사이에 약간의 차이는 있었으나 각 실험군의 평균은 2.5~3.5의 범위내에 있었다. 탄수화물과

단백질의 비율을 적절히 조절하면서 섭취한 점은 뇌중 serotonin의 함량이 실험군간에 차이가 없으면서 섭취한 영양소나 섭취량, 단백질에 대한 탄수화물의 비율, 그 외 다른 변인과 유의적 상호관련이 없는 것과는 무관하지 않다.

공복시에 제공한 고탄수화물 무단백질식이 뇌중 tryptophan의 수준을 증가시켜서 serotonin의 합성을 증가시키지만(17) 18%의 casein 식이는 serotonin 수준을 증가시키지 못하였다(18). 10%의 casein 식이도 탄수화물의 함량에 상관없이 중성아미노산의 함량을 감소시키지 못하여서 혈액내 tryptophan / 중성아미노산의 비율이 변하지 않았고 따라서 serotonin 수준에도 영향을 미치지 않았다고 보고되어 진다(19). 그러므로 serotonin을 방출하는 신경세포는 공복시의 쥐에서 insulin 분비에 영향을 미치는 고탄수화물, 무단백질 내지 극히 적은 양의 저단백질 식이와 다른 식이를 구별할 수 있는 것으로 알려진다. 본 실험에 사용한 식이는 그런 점에서 serotonin의 합성 및 방출에 주는 영향은 없지만 뇌중 serotonin의 수준에 따라 섭취하는 식사에서 탄수화물에 대한 요구는 다를 수 있다. 그러나 본 실험에서 실험군 사이에 뇌중 tryptophan 및 serotonin 함량이 차이가 없었으므로 식이공급기간이 짧을수록 저탄수화물식이의 기호가 높았던 것이 serotonin 수준에 따른 차이인지는 알 수 없었다.

탄수화물과 단백질의 섭취비율은 낮밤의 주기에 따라 차이가 있다고 본다. 단백질 함량이 다른 두 종류의 식이를 흰쥐에게 제공하였을 때 섭취열량중 단백질로서의 섭취비율은 낮 주기가 시작되는 기간에 12% 정도로 낮고 밤에는 20~30%의 비율로 증가하며 특히 밤 주기의 끝부분에는 40%에 달하였다고 Leathwood와 Ashley (6)는 보고하였다. 표준식이 한 종류를 먹는 흰쥐의 뇌중 serotonin의 함량은 밤의 끝부분에 최대에 달하고 낮 주기의 후반부에 최저 수준이므로(20) serotonin 수준으로 미루어 볼 때 탄수화물에 대한 기호는 낮의 후반에 증가하고

단백질에 대한 기호는 밤 주기의 끝에 증가하리라고 짐작된다. 그러나 본 실험에서와 같이 식이공급을 하루중 일정기간으로 제한하였을 때 뇌중 serotonin 함량의 하루중 변화와 탄수화물 및 단백질에 대한 욕구는 차이가 있으리라고 본다. serotonin의 하루중 주야간의 리듬이 식이공급기간에 따라 다른지는 다음에 살펴볼 필요가 있다.

본 실험결과 탄수화물의 함량이 다른 두 종류의 식이를 제공하였을 때 식이의 공급기간의 제한이 탄수화물에 대한 기호를 변화시켜서 식이에서 섭취하는 C/P의 비율이 달라질 수 있음을 확인하였다.

References

- 1) Musten B, Peace D, Anderson GH. *Food intake regulation in the weaning rat: self selection of protein and energy.* *J Nutr* 104:563-572,1974
- 2) Wurtman JJ, Wurtman RJ. *Drugs that enhance central serotonergic transmission diminish elective carbohydrate consumption by rats.* *Life Sci* 24:895-904,1979.
- 3) Fernstrom JD, Wurtman RJ. *Brain serotonin content: physiological regulation by plasma neutral amino acids.* *Sci* 178:414-416,1972.
- 4) 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.
- 5) Siegel PS, Stackey HL. *The diurnal course of water and food intake in the normal mature rat.* *J Comp Physiol Psychol* 40: 365-370,1974.
- 6) Leathwood PD, Ashley DVM. *Nutrients as regulators of food choice.* In: Cioffi LA, James WP, Van Itallie TB. eds. *The body weight regulatory system: normal and disturbed mechanisms.* Raven Press, New York 263-269,1981.
- 7) Wurtman JJ, Wurtman RJ, Growdon J, 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.
- 8) Kim SH, Wurtman RJ. *Selective effects of CGS 10686B, dl-fenfluramine or fluoxetine on nutrient selection. Physiol Behav* 42:319-322, 1988.
- 9) Denckla WD, Dewey HK. *The determination of tryptophan in plasma, liver and urine. J Lab Clin Med* 69:160-169, 1967.
- 10) Curzon G, Green AR. *Rapid method for the determination of 5-hydroxyindoleacetic acid in small regions of rat brain. Br J Pharmacol.* 39:653-655, 1970.
- 11) Snedecor GW, Cochran WG. *Statistics methods. Ames Iowa: The Iowa state university press,* 268-271, 1972.
- 12) Leathwood PD, Arimanana L. *Circadian rhythms of food intake and protein selection in young and old rats. Ann Rev Chronopharmacol* 1:255-258, 1984.
- 13) Yokogoshi H, Theall CL, Wurtman RJ. *Selection of dietary protein and carbohydrate by rats: Change with maturation. Physiol Behav* 36: 972-982, 1986.
- 14) Theall CL, Wurtman JJ, Wurtman RJ. *Self-selection and regulation of protein: carbohydrate ratio in foods adult rats eat. J Nutr* 114:711-718, 1984.
- 15) Piquard F, Schaefer A, Haberey P. *Influence of fasting and protein deprivation on food self-selection in the rat. Physiol Behav* 20:771-778, 1978.
- 16) Wade J, Milner J, Knondl M. *Evidence for physiological regulation of food selection and nutrient intake in twins. Am J Clin Nutr* 34:143-147, 1981.
- 17) Fernstrom JD, Wurtman RJ. *Brain serotonin content: increase following ingestion of carbohydrate diet. Sci* 174:1023-1025, 1971.
- 18) Fernstrom JD, Wurtman RJ. *Elevation of plasma tryptophan by insulin in the rat. Metabolism.* 21: 337-342, 1972.
- 19) Yokogoshi H, Wurtman RJ. *Meal composition and plasma amino acid ratio: effect of various proteins or carbohydrates and of various protein concentrations. Metabolism* 35:837-842, 1986.
- 20) Mortin K, Redfern P. *Circadian variations in 5-HT metabolism in response to antidepressant drugs. In: Reinberg A, Smolensky M, Labrecque. eds. Biological rhythms and medications: Proceedings of the first international montreux conference of chronopharmacology.* 1984.