

## 태아기와 수유기의 식이제한과 환경이 성장후 신경전달물질의 함량 및 행동에 미치는 영향

김 선 희 · 김 속 희 \*

국민대학교 가정교육과

\* 이화여자대학교 식품영양학과

### Effects of Nutritional Deprivation During Prenatal and/or Lactating Periods and Environment on Concentration of Neurotransmitters and Behavior in Later Life

Sun-Hee Kim and Sook He Kim \*

*Dept. of Home Economics, Kookmin University*

\* *Dept. of Food & Nutrition, Ewha Womans University*

#### = ABSTRACT =

This study was undertaken to investigate the effect of early nutritional deprivation and environment on neurotransmitter concentrations and behavior in later life. The restoring process of rats fed foods ad libitum after 50% restriction of the casein or the Korean diet during the prenatal and/or the lactating periods was observed. There were two rearing conditions, isolated and enriched, after weaning. Behavioral development was measured by the Y-shaped water maze and the open field test. The neurotransmitters were analyzed after sacrifice at the age of 21 weeks.

The results are summarized as follows :

- 1) The body weight impairment by dietary restriction during the prenatal and lactating periods could be restored within 18 weeks after weaning in case of living in a classical cage. The effect of quantitative restriction was bigger in the Korean diet than in the casein diet.
- 2) The brain weight was decreased by nutritional deprivation. Environmental enrichment increased it slightly.
- 3) The concentration of neurotransmitters, norepinephrine, dopamine, and serotonin, were not shown any traces of the dietary restriction at the age of 21 weeks.
- 4) In the maze test, the deprived rats made more errors than the nourished. and the rats

접수일자 : 1983. 10. 12.

fed the Korean diet more than those fed the cascain dict. The environmental enrichment could decrease the number of errors.

5) In the open field test, the dietary deprived groups showed less reaction time, more squares entered in the field, and less number of fecal boli than the nourished among the environmentally isolated rats. However, rats living in the enriched cage without experience of nutritional stress showed the lowest emotionality and the elevated exploratory activity.

## 서 론

영양섭취는 신체의 성장발달에 영향을 미치며, 인지 발달은 두뇌의 성장과 밀접한 관련이 있다. 그러므로 영양상태와 중추신경계의 성장발달 및 행동과의 관계는 흥미로운 과제이며 이 관계는 뇌세포중 함유된 화학물질을 통하여 해석되기도 한다<sup>1)</sup>.

중추신경계의 성장과 영양과의 관계는 주로 Winick<sup>2)3)</sup>과 Dobbing<sup>4)</sup>이 흰쥐 실험에서 뇌세포의 형성이 생후 3주 이내에 최대치에 달하고 인간의 경우 태아기 15~20주와 태아기 25주에서 출생후 2년까지 세포중 식이 활발하여 성인치에 도달하게 된다는 결과를 발표한 후 초기단계의 영양이 두뇌의 성장발달에 미치는 영향을 중요시하게 되었다. 뇌세포의 재생은 불가능하므로 뇌세포의 분열시기에 단백질과 열량의 결핍은 두뇌의 무게, 뇌세포의 수 및 myelination에 영구적 장애를 일으킨다<sup>5)6)</sup>. 따라서 이러한 장애는 두뇌의 기능에도 손상을 주어 행동변화에 대한 가능성을 제시한다.

뇌세포의 기능에서 정보를 전달하는 역할은 신경전달물질이 맡으며 이 물질의 합성은 전구체인 아미노산의 이용 가능한 수준에 영향을 받는다<sup>7)</sup>. 그러므로 초기의 영양제한이 성장후 신경전달물질 함량에도 장기적 영향을 미치는지, 이 함량과 행동과의 관련성이 비례적인지도 생각해 볼 필요가 있다.

그래서 본실험에서는 식사의 형태를 casein 식이와 한국적 식이의 두가지로 하여 태아기와 수유기에 식이 제한을 시키고 그후에 무제한 식이공급을 하여 회복시킨 뒤 행동과 신경전달물질의 함량에 미치는 영향을 알고자 하였다. 또한 이러한 성장발달에 매우 관련이 있는 환경과의 상호작용을 보고자 의도하였다.

## 실험계획 및 방법

### 1) 실험계획

평균체중이 177.9±12.9g인 wistar종 암컷 흰쥐 60

마리를 암수 3:1의 비율로 교미시켜 임신이 확인된 48마리를 어미쥐로 사용하였다. 임신직후 이들을난교법에 의하여 전체 6군으로 나누어 이들중 2군은 각기 casein 식이와 한국적 식이를 제한없이 먹였고 나머지 4군은 각 2군씩 위의 두 식이를 50% 제한한 양을 pair feeding 방법으로 사육하였다. 분만후 한 어미당 새끼쥐는 8마리로 하였으며 수유기간의 식이 형태는 임신중과 같았으나 식이량은 임신기의 제한과 임신기와 수유기 전반에 제한된 경우의 비교를 위해 제한식이군중 식이별 한군은 무제한 섭취시켰다. 새끼쥐는 생후 21일에 이유하였으며 6군의 어미쥐들에서 한군당 14마리의 수컷 새끼쥐를 무작위로 추출하여 각기 두 군으로 나누어 한군당 7마리씩 배정하였다. 그러므로 식이형태별 구분된 6군의 어미쥐에게서 이유된 새끼쥐는 각 두군씩 12군으로 나누어졌다. 새끼쥐에게는 모두 casein 식이를 제한없이 먹였으며, 모든 식이 형태에서 한 군은 220×300×195mm의 보통의 사육장 속에 한마리씩 지냈고 다른 한 군은 췌바퀴, 미끄럼, 그네, 시이소, 사다리 등 놀이기구가 들어있는 580×600×900mm의 환경적 보충장속에 7마리가 함께 지냈다. 이들의 분류 및 내용은 Table 1에 나타내었다.

생후 18주에서 20주 사이에 행동측정을 하였으며 생후 21주째 희생시켜 두뇌중화학물질을 분석하였다.

### 2) 실험동물의 식이

Casein 식이는 Table 2와 같으며 한국적 식이는 1979년도 대한민국 식품수급표<sup>8)</sup>를 사용하여 식품과 영양소를 구성하였다. 이들 식품은 가루로 만들어 혼합하였고 열량의 영양소별 구성비율이 탄수화물에서 75% 단백질에서 12%, 지방에서 13%가 되도록 하였으며 동물성과 식물성 단백질의 비율은 3:7이었다. 한국적 식이의 구성은 Table 3에 나타내었다.

### 3) 체중측정

체중은 실험 전기간동안 매주 1회 일정한 시간에 측정하였다.

Table 1. Experimental design

Group	Mating	Birth	Weanling
C-C-C	Casein diet ad lib.	Casein diet ad lib.	Casein diet ad lib., classical cage ; isolated
D-C-C	Casein diet	Casein diet	" "
D-D-C	deprived	ad lib.	" "
D-D-C	Casein diet deprived	Casein diet deprived	" "
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	Korean diet ad lib.	Korean diet ad lib.	" "
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	Korean diet deprived	Korean diet ad lib.	" "
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	Korean diet deprived	Korean diet deprived	" "
C-C-C <sub>E</sub>	Casein diet ad lib.	Casein diet ad lib.	" environmentally enriched cage ; grouped
D-C-C <sub>E</sub>	Casein diet deprived	Casein diet ad lib.	" "
D-D-C <sub>E</sub>	Casein diet deprived	Casein diet deprived	" "
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	Korean diet ad lib.	Korean diet ad lib.	" "
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	Korean diet deprived	Korean diet ad lib.	" "
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	Korean diet deprived	Korean diet deprived	" "

C : Control diet D : Deprived K : Korean diet E : Environmental enrichment

#### 4) 행동측정

행동발달은 Barnes 등<sup>9)</sup>이 사용한 Y형 수미로 (water maze)를 제작하여 학습행위를 측정하였고, Simon 등<sup>10)</sup>이 사용한 openfield를 제작하여 정서발달을 측정하였다. 검사는 매일 일정한 시간에 실시하였다.

##### (1) Y형 수미로 검사 :

수미로의 형태는 Fig. 1에서 처럼 각가지의 길이는 70cm이고 깊이 30cm까지 물을 채워 쥐가 수영을 할 수 있게 하였다. 출발점에서 왼쪽과 오른쪽으로 나뉘어지는 분기점에 자기 흰색 문과 검은색 문을 달고 문을 밀치고 나가게 하였으며 흰색 문이 있는 쪽 끝에만 발판을 두었다. 매일 1회씩 검사하였으며 검사중에 검은색 문을 밀고 들어가면 실수로 간주하였다. 또한

출발점에서 발판에 올라서는 시간을 측정하였다. 이러한 흑백색 시각적 변별검사에서 물은 매일 갈아 채워졌다.

##### (2) Open field 검사 :

검사에 사용한 open field의 형태는 Fig. 2에서 처럼 122×122 cm의 나무판에 줄을 그어 36개의 동일한 크기의 네모칸을 만들고 38cm의 높이에 아크릴로 위를 덮어 속을 투시할 수있게 하였다. 36개의 네모칸 중 한 가장자리를 출입구로 정하여 출발상자를 만들었다. 출발상자위는 나무로 만들어 빛을 차단하였고 출발상자에서 open field로 나오려면 높이 20cm 나무상자 아래에 붙은 아크릴문을 밀치고 나와야 되도록 제작하였다. 각 실험동물은 2주일간 매일 1회씩 총

Table 2. Composition of 15% casein diet (kg diet)

Diet	15% casein
Corn starch	770 g
Casein	150 g
Cotton seed oil	40 ml
Salt mixture ①	40 g
Vitamin A.D mixture ②	1 cc
Fat soluble vitamins ③	2 cc
Water soluble vitamins ④	+
Vitamin B <sub>12</sub> ⑤	1 cc

- ① Salt mixture(g/kg salt mixture) : CaCo 300, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 322.5, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 102, CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 75, NaCl 167.5, FeC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>7</sub> 27.5, KI 0.8, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.3, ZnCl<sub>2</sub> 0.25, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 5.
- ② Vitamin A.D. mixture(mg/cc corn oil) : vitamin A 0.1, vitamin D. 0.01.
- ③ Fat soluble vitamins : α-tocopherol acetate 5g, menadion 200mg, corn oil 200ml
- ④ Water soluble vitamins (mg/kg) : choline chloride 2000, thiamin hydrochloride 10, riboflavin 20, nicotinic acid 120, pyridoxine 10 calcium pantothenate 100, biotin 0.05, folic acid 4, inositol 500, PABA 100.
- ⑤ Vitamin B<sub>12</sub> solution : 5mg of vitamin B<sub>12</sub> in 500ml of distilled water.

14회 검사를 하였고 한마리당 측정에 소요된 시간은 출발상자에 들어가는 순간부터 4분동안이었다. 4분간 4가지 측면에서 실험동물에 행동을 관찰하였다. 첫째, 출발상자내에 머무르는 시간으로 간주한 반응시간을 측정하였고, 둘째, open field내에서 지나간 네모칸의 수를 측정하였으며, 셋째, 한가운데 4개의 중심 네모칸에서 지낸 시간을 측정하였고, 넷째, 검사중 배설된 변(fecal bili)의 수를 측정하였다.

5) 두뇌조직의 채취

실험동물을 단두기로 머리를 절단하여 즉시 두뇌를 채취하고 얼음판위에서 대뇌, 소뇌, 뇌간의 세 부위로 나누어 중량을 측정후 dry ice에 넣어 냉동보관하였다.

6) 두뇌중 norepinephrine, dopamine, serotonin 함량의 측정 :

두뇌부위별 norepinephrine, dopamine, serotonin의 함량을 Metcalf법<sup>11)</sup>에 의하여 측정하였다. Acidified butanol에 조직을 균질화하여 norepinephrine과 dopamine은 alumina에 흡착시켜 trihydroxyindole 반응을 시켜 분리하였고 serotonin은 Dowex-50수지를 사용하여 이온교환법으로 분리하였다. 분리된 물질들은 Aminco-Bowman Spectrophotofluorometer를 사용하여 정량하였다.

7) 자료의 통계처리

자료는 평균과 표준편차를 구하였고 분산분석 또는

Table 3. Composition of korean diet

Gradients(g)	Nutrient	Carbohydrate g (Cal)	Protein g (Cal)	Fat g (Cal)
Rice powder	740	586(2344)	53(212)	9( 81)
Sugar	45	45( 180)		
vegetable	65	46( 184)	1( 4)	2( 18)
Fish powder	60	4( 16)	32(128)	7( 63)
Soybean powder	65	23( 92)	25(100)	11( 99)
Corn oil	25			25(225)
Total	1000	704(2816)	111(444)	54(486)

- 1) rice powder : moisture 11.7%, crude protein 7.2%, crude fat 1.2%, crude ash 0.7%.
- 2) vegetable powder : moisture 14.3%, crude protein 1.2%, crude fat 2.6% crude ash 10.9%
- 3) fish powder: moisture 8.5, crude protein 53.3%, crude fat 11.0%, crude ash 20.9% .
- 4) soybean powder : moisture 5.2, crude protein 38.8%, crude fat 17.4%, crude ash 3.6% .

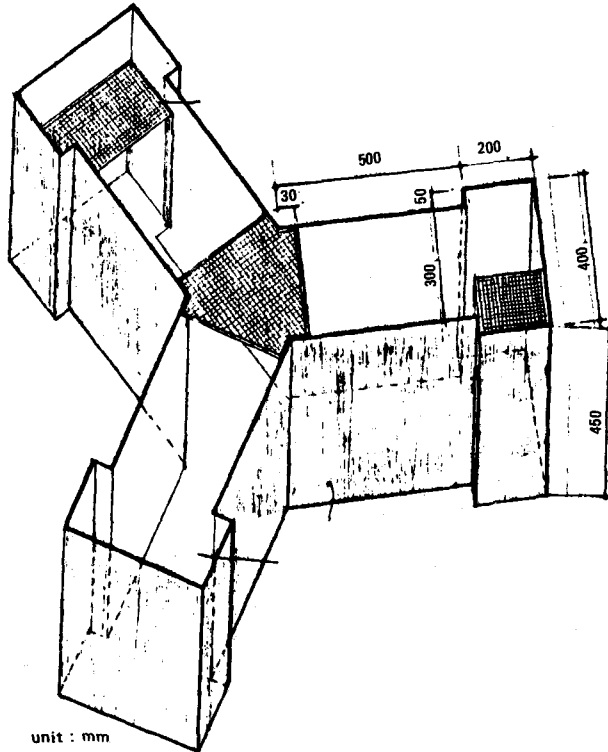


Fig. 1. Shape of Y-shaped water maze

nonparametric 통계<sup>12)</sup>에 의하여 실험군사이의 유의성 검증을 하였다.

### 실험결과 및 고찰

#### 1) 체 중

이유이후 생후 21주째 희생될 때까지의 체중은 Table 4에서 나타난 바와 같다. 생후 3주째 이유시 체중은, 임신기와 수유기중의 식이제한군(D-D-C)이 casein 무제한식이군(C-C-C)과 임신기만의 제한식이군(D-C-C)에 비해 유의적으로 낮았다. 그리고 한국적 식이군에 비하여 casein 식이군이 무거운 경향이였다. 생후 21주째 제한식이군중 태아기와 수유기중 한국적 식이를 제한급여하고 성장기중 환경적 보충장에서 지낸 실험군(D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>)만이 D-C-C군, C-C-C<sub>E</sub>군, D-C-C<sub>E</sub>군과 비교하여 유의하게 체중이 낮았으며 나머지 실험군간에는 유의적 차이가 없이 회복되었다. D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>군만이 21주까지 표준군의 체중에 도달하지 못하였음은 태아기와 수유기중의 식이제한이 식사량은 한정시키고 사육장의 크기에 따른 운동량의 증

가가 소비열량을 증가시켜 체중증가를 제한한 탓으로 짐작된다.

#### 2) 행동발달

##### (1) 흑백색 시각적 변별검사 :

1일 1회씩 전체 14번의 시행중 실수의 수는 Table 5에 나타난 바와 같다.

C-C-C군, C-C-C<sub>E</sub>군, D-C-C<sub>E</sub>군, D-D-DE군 및 C<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>군은 D-D-C군, D<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C군 및 D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C군에 비해 실수가 적었다. 같은 식이처리를 받은 D-D-C군과 D-D-C<sub>E</sub>군, C<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C군과 C<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>군의 비교에서 보면 환경적 보충의 효과가 큰 것을 알 수 있다.

각 실험군에서 볼때 태아기의 식이제한은 표준군과 거의 차이가 없으며 태아기와 수유기중 식이제한은 학습능력의 저하를 가져왔다. casein식이에 비해 한국적 구성식이는 유의하지는 않으나 실수가 많으며, 태아기와 수유기에 두 식이의 50% 제한은 태아기와 수유기중 casein식이제한 환경적 보충군(D-D-C<sub>E</sub>)이 태아기와 수유기중 casein식이제한 격리군(D-D-C)이나 태아기와 수유기중 한국적식이제한 격리군(D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C)

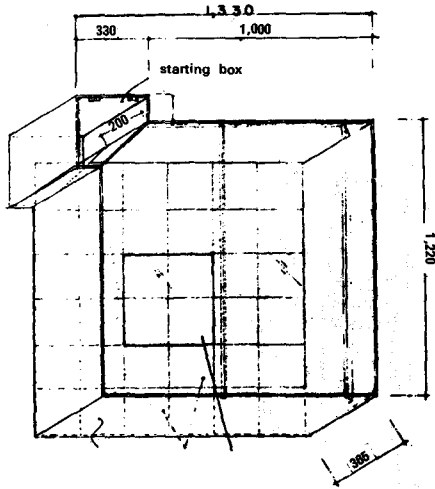


Fig. 2. Shape of open field

태아기와 수유기중 한국적식이제한 환경보충군(D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>)보다는 실수가 적었다. 따라서 식이제한의 영향이 환경적 보충에도 불구하고 한국적 구성식이의 경우가 casein 식이보다 더 컸다. 또한 환경적 요인의 효과가 큰 것은 Celedon 등<sup>13)</sup>의 연구와 Levitsky와 Barnes가 한 실험에서 수유기중의 영양불량에 의한 행위

Table 5. Number of errors in black/white visual discrimination test<sup>1)</sup>

Group	Error
C-C-C	2.00 ab * 2)
D-C-C	2.86 bc
D-D-C	3.71 cc
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	2.71 bc
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	3.67 c
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	3.71 c
C-C-C <sub>E</sub>	1.57 a
D-C-C <sub>E</sub>	2.00 ab
D-D-C <sub>E</sub>	2.29 ab
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	1.71 a
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	2.86 bc
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	2.86 bc

1) mean

2) means within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha = .05$  level, one-tail, by Mann-Whitney U-test.

Table 4. Body weight during experimental period<sup>1)</sup>

Group	3 week	6 week	9 week	12 week	15 week	18 week	21 week
C-C-C	39.4 ± 5.9 <sup>a</sup>	128.9 ± 18.0 <sup>a</sup>	234.7 ± 29.6 <sup>abc</sup>	304.4 ± 34.2 <sup>ab</sup>	341.6 ± 37.5 <sup>ab</sup>	367.2 ± 48.1 <sup>ab</sup>	378.6 ± 44.4 <sup>ab</sup>
D-C-C	36.3 ± 7.8 <sup>a</sup>	135.2 ± 12.6 <sup>a</sup>	241.7 ± 21.6 <sup>ab</sup>	314.6 ± 25.6 <sup>a</sup>	348.5 ± 27.0 <sup>ab</sup>	369.6 ± 39.1 <sup>ab</sup>	381.3 ± 37.8 <sup>a</sup>
D-D-C	19.9 ± 5.6 <sup>b</sup>	88.8 ± 7.2 <sup>bc</sup>	191.8 ± 7.5 <sup>bcd</sup>	262.4 ± 69.3 <sup>abc</sup>	297.4 ± 11.0 <sup>abc</sup>	329.5 ± 15.3 <sup>abc</sup>	348.0 ± 31.3 <sup>ab</sup>
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	25.8 ± 4.0 <sup>a b</sup>	109.0 ± 11.3 <sup>ab</sup>	216.4 ± 29.1 <sup>abcd</sup>	290.2 ± 31.2 <sup>abc</sup>	334.5 ± 44.0 <sup>ab</sup>	361.0 ± 41.8 <sup>abc</sup>	370.6 ± 35.4 <sup>ab</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	25.5 ± 2.9 <sup>ab</sup>	120.9 ± 30.6 <sup>a</sup>	221.4 ± 52.1 <sup>abcd</sup>	290.5 ± 60.8 <sup>abc</sup>	344.7 ± 72.8 <sup>ab</sup>	360.4 ± 78.0 <sup>abc</sup>	372.7 ± 63.2 <sup>ab</sup>
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	14.6 ± 1.9 <sup>b</sup>	82.5 ± 16.3 <sup>bc</sup>	178.3 ± 25.8 <sup>cde</sup>	243.4 ± 30.6 <sup>bc</sup>	279.2 ± 38.5 <sup>bc</sup>	305.0 ± 32.5 <sup>bc</sup>	317.4 ± 34.4 <sup>ab</sup>
C-C-C <sub>E</sub>	39.4 ± 5.8 <sup>a</sup>	136.6 ± 6.6 <sup>a</sup>	252.3 ± 22.0 <sup>a</sup>	317.1 ± 25.5 <sup>a</sup>	359.3 ± 43.1 <sup>a</sup>	376.0 ± 52.9 <sup>ab</sup>	384.8 ± 50.0 <sup>a</sup>
D-C-C <sub>E</sub>	36.2 ± 7.6 <sup>a</sup>	133.3 ± 24.5 <sup>a</sup>	246.7 ± 42.8 <sup>ab</sup>	306.2 ± 57.5 <sup>a</sup>	358.0 ± 60.9 <sup>a</sup>	387.5 ± 67.2 <sup>a</sup>	395.5 ± 72.4 <sup>a</sup>
D-D-C <sub>E</sub>	19.7 ± 5.6 <sup>b</sup>	82.6 ± 11.8 <sup>bc</sup>	174.5 ± 16.0 <sup>de</sup>	231.4 ± 29.3 <sup>c</sup>	277.8 ± 30.5 <sup>bc</sup>	310.2 ± 34.9 <sup>bc</sup>	323.9 ± 44.1 <sup>ab</sup>
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	25.8 ± 4.1 <sup>ab</sup>	106.5 ± 18.5 <sup>ab</sup>	212.2 ± 31.3 <sup>abcd</sup>	264.3 ± 33.7 <sup>abc</sup>	305.5 ± 29.2 <sup>abc</sup>	329.5 ± 39.0 <sup>abc</sup>	343.2 ± 32.8 <sup>ab</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	25.2 ± 2.9 <sup>ab</sup>	124.6 ± 14.5 <sup>a</sup>	218.6 ± 50.1 <sup>abcd</sup>	266.1 ± 57.8 <sup>abc</sup>	303.0 ± 58.7 <sup>abc</sup>	321.5 ± 61.7 <sup>abc</sup>	345.3 ± 50.5 <sup>ab</sup>
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	14.5 ± 1.9 <sup>b</sup>	74.4 ± 16.4 <sup>c</sup>	151.1 ± 41.4 <sup>e</sup>	228.5 ± 25.0 <sup>c</sup>	261.1 ± 27.9 <sup>f</sup>	288.0 ± 38.4 <sup>c</sup>	297.4 ± 26.9 <sup>b</sup>

1) mean ± S.D.

2) means within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha = .05$  level by Tukey's test.

손상이 handling이나 놀이기구가 들어있는 보충장에서 자극이 주어졌을때 개선될 수 있었다고 보고한 결과와 부합된다.

(2) Open field 검사 :  
검사를 전후반으로 나누었으며 그 결과는 Table 6에서와 같다.

Table 6. Open field test<sup>1)</sup>

Group	Reaction time		Entered squares		Seconds spent in center	Fecal boli
	test. 1	test. 2	test. 1	test. 2		
C-C-C	26.6 <sup>a</sup>	27.7 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	0. <sup>a</sup>	8.2 <sup>a</sup>
D-C-C	22.3 <sup>bc</sup>	22.6 <sup>bc</sup>	44 <sup>b</sup>	55 <sup>b</sup>	2.4 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>
D-D-C	24.2 <sup>ab</sup>	26.2 <sup>ab</sup>	28 <sup>ab</sup>	30 <sup>ab</sup>	0.9 <sup>a</sup>	4.3 <sup>b</sup>
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	25.7 <sup>ab</sup>	26.8 <sup>ab</sup>	39 <sup>ab</sup>	20 <sup>ab</sup>	2.2 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	24.7 <sup>ab</sup>	24.3 <sup>ab</sup>	59 <sup>b</sup>	46 <sup>ab</sup>	3.5 <sup>a</sup>	3.6 <sup>b</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	25.8 <sup>a</sup>	24.4 <sup>ab</sup>	37 <sup>ab</sup>	46 <sup>ab</sup>	1.0 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>b</sup>
C-C-C <sub>E</sub>	21.0 <sup>c</sup>	19.7 <sup>c</sup>	107 <sup>c</sup>	118 <sup>d</sup>	6.7 <sup>b</sup>	0.3 <sup>d</sup>
D-C-C <sub>E</sub>	21.9 <sup>b</sup>	23.1 <sup>b</sup>	52 <sup>b</sup>	48 <sup>b</sup>	3.3 <sup>ab</sup>	3.7 <sup>b</sup>
D-D-C <sub>E</sub>	26.0 <sup>ab</sup>	23.5 <sup>b</sup>	48 <sup>b</sup>	34 <sup>ab</sup>	5.3 <sup>b</sup>	3.2 <sup>bc</sup>
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	19.8 <sup>c</sup>	20.9 <sup>c</sup>	103 <sup>c</sup>	80 <sup>c</sup>	6.7 <sup>b</sup>	1.5 <sup>c</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	22.5 <sup>b</sup>	23.5 <sup>b</sup>	54 <sup>b</sup>	69 <sup>b</sup>	3.5 <sup>ab</sup>	2.6 <sup>bc</sup>
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	21.3 <sup>bc</sup>	22.4 <sup>b</sup>	63 <sup>b</sup>	55 <sup>b</sup>	3.4 <sup>ab</sup>	2.4 <sup>bc</sup>

1) mean

2) means within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha = .05$  level, one tail, by Mann-Whitney U-test.

Table 7. Brain weight in different regions<sup>1)</sup>

(g)

Group	Cerebrum	Cerebellum	Brain stem	Whole brain
C-C-C	1.25 ± 0.05 <sup>ab *</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>ab</sup>	1.95 ± 0.09 <sup>ab</sup>
D-C-C	1.20 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>abc</sup>	0.39 ± 0.02 <sup>abc</sup>	1.85 ± 0.08 <sup>bcde</sup>
D-D-C	1.22 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>abc</sup>	1.84 ± 0.06 <sup>bcde</sup>
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	1.22 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>abc</sup>	0.40 ± 0.02 <sup>abc</sup>	1.89 ± 0.06 <sup>abcd</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	1.16 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>abc</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>bc</sup>	1.79 ± 0.05 <sup>de</sup>
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	1.16 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.36 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.76 ± 0.04 <sup>e</sup>
C-C-C <sub>E</sub>	1.28 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.99 ± 0.07 <sup>a</sup>
D-C-C <sub>E</sub>	1.21 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.28 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.90 ± 0.06 <sup>abcd</sup>
D-D-C <sub>E</sub>	1.20 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.36 ± 0.02 <sup>c</sup>	1.80 ± 0.06 <sup>de</sup>
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	1.23 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.07 <sup>abc</sup>
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	1.21 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>abc</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.90 ± 0.09 <sup>abcd</sup>
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	1.20 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>bc</sup>	1.81 ± 0.07 <sup>cbe</sup>

1) mean S.D.

2) means within a column not followed by the same letter are significantly different at  $\alpha = .05$  level by Tukey's test.

Casein식이무제한 격리군(C-C-C)을 환경적 보충장속에서 지낸 실험군에 비하여 반응시간이 길었다. 반면 casein식이무제한 환경보충군(C-C-C<sub>E</sub>)은 한국적 식이를 태아기와 수유기중에 받고 환경이 보충된 C<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>, D<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>, D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>군을 제외한 모든 실험군보다 반응시간이 빨랐다. C-C-C군과 C-C-

C<sub>E</sub>군의 차이는 격리된 환경과 집단생활 및 놀이 기구가 있는 환경의 차이에서 설명이 가능할 것이다.

반응시간과 지나간 네모칸의 수는 거의 반대인데 C-C-C군이 환경적 보충장속에서 지낸 모든 실험군보다 유의적으로 적었다. 반면 C-C-C<sub>E</sub>군이 모든 실험군보다 유의적으로 많았다.

Table 8. Concentration of norepinephrine in brain regions<sup>1)</sup> (mg/g)

Group	Cerebrum	Cerebellum	Brain stem	Whole brain
C-C-C	0.32 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.62 ± 0.03	0.36 ± 0.02
D-C-C	0.31 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.62 ± 0.03	0.36 ± 0.01
D-D-C	0.31 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.63 ± 0.04	0.37 ± 0.02
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	0.31 ± 0.02	0.22 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.37 ± 0.02
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	0.32 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.61 ± 0.02	0.37 ± 0.02
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	0.32 ± 0.03	0.22 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.37 ± 0.01
C-C-C <sub>E</sub>	0.32 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.63 ± 0.04	0.38 ± 0.02
D-C-C <sub>E</sub>	0.33 ± 0.04	0.21 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.37 ± 0.03
D-D-C <sub>E</sub>	0.32 ± 0.03	0.22 ± 0.02	0.63 ± 0.02	0.37 ± 0.02
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.32 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.63 ± 0.03	0.38 ± 0.02
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.32 ± 0.04	0.21 ± 0.02	0.63 ± 0.03	0.38 ± 0.04
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.33 ± 0.04	0.22 ± 0.02	0.63 ± 0.02	0.39 ± 0.03

1) mean + S.D.

N.S., not significantly different at  $\alpha = .05$  level by Tukey's test.

Table 9. Concentration of dopamine in brain regions<sup>1)</sup>

Group	Cerebrum	Cerebellum	Brain stem	Whole brain
C-C-C	0.46 ± 0.03	0.26 ± 0.03	0.90 ± 0.05	0.53 ± 0.03
D-C-C	0.46 ± 0.04	0.26 ± 0.03	0.92 ± 0.02	0.53 ± 0.03
D-D-C	0.47 ± 0.03	0.27 ± 0.03	0.92 ± 0.03	0.54 ± 0.02
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.47 ± 0.03	0.25 ± 0.04	0.91 ± 0.04	0.53 ± 0.02
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.48 ± 0.03	0.25 ± 0.03	0.92 ± 0.03	0.54 ± 0.03
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.48 ± 0.04	0.28 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.54 ± 0.03
C-C-C <sub>E</sub>	0.47 ± 0.03	0.26 ± 0.02	0.93 ± 0.02	0.53 ± 0.02
D-C-C <sub>E</sub>	0.46 ± 0.03	0.25 ± 0.03	0.90 ± 0.03	0.55 ± 0.03
D-D-C <sub>E</sub>	0.49 ± 0.04	0.27 ± 0.03	0.94 ± 0.02	0.55 ± 0.03
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.48 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.92 ± 0.04	0.55 ± 0.02
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.48 ± 0.03	0.25 ± 0.03	0.91 ± 0.05	0.55 ± 0.04
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.40 ± 0.03	0.27 ± 0.02	0.94 ± 0.03	0.56 ± 0.02

1) mean + S.D.

N.S., not significantly different at  $\alpha = .05$  level by Tukey's test.



Table 10. Concentration of serotonin in brain regions<sup>1)</sup>

(mg/g)

Group	Cerebrum	Cerebellum	Brain stem	Whole brain
C-C-C	0.52 ± 0.04 N.S.	0.41 ± 0.03	1.02 ± 0.06	0.61 ± 0.03
D-C-C	0.53 ± 0.03	0.41 ± 0.04	1.03 ± 0.06	0.62 ± 0.03
D-D-C	0.52 ± 0.03	0.40 ± 0.04	1.02 ± 0.05	0.60 ± 0.03
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	0.53 ± 0.04	0.40 ± 0.05	1.03 ± 0.06	0.62 ± 0.04
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C	0.53 ± 0.04	0.41 ± 0.03	1.04 ± 0.06	0.62 ± 0.04
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C	0.52 ± 0.03	0.40 ± 0.03	1.03 ± 0.06	0.60 ± 0.02
C-C-C <sub>E</sub>	0.52 ± 0.04	0.41 ± 0.05	1.03 ± 0.06	0.56 ± 0.03
D-C-C <sub>E</sub>	0.52 ± 0.03	0.41 ± 0.03	1.02 ± 0.07	0.56 ± 0.03
D-D-C <sub>E</sub>	0.53 ± 0.04	0.42 ± 0.03	1.04 ± 0.04	0.56 ± 0.03
C <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.53 ± 0.04	0.43 ± 0.03	1.03 ± 0.07	0.56 ± 0.04
D <sub>K</sub> -C <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.53 ± 0.04	0.41 ± 0.04	1.02 ± 0.06	0.56 ± 0.04
D <sub>K</sub> -D <sub>K</sub> -C <sub>E</sub>	0.54 ± 0.03	0.41 ± 0.04	1.05 ± 0.05	0.57 ± 0.03

1) mean + S.D.

N.S., not significantly different at = .05 level by Tukey's test.

중심비모칸에서 지낸 시간도 환경적 보충의 효과가 뚜렷이 나타났다.

검사중 배설된 변의 수는 흔히 정서적 반응성의 척도로서 사용되는데, 반응시간이나 지나간 비모칸의 수에서 짐작할 수 있었던 것처럼 casein식이 무제한 급여받고 격리수용된 C-C-C군이 변의 수가 많았고 환경이 보충된 C-C-C<sub>E</sub>군이 유의적으로 적었다. 어릴 때 긴장이나 충격을 경험한 동물이 성장후 긴장이 주어지는 환경에 더 잘 대처하고 정서적 안정성이 크다는 일반론에 비추어 볼 때 식이제한이 일종의 긴장의 효과가 됨을 알 수 있다. 그러나 영양적 결핍을 겪지 않아도 동료간의 사회적 접촉이나 놀이기구를 통한 자극이 정서적 안정성을 주고 탐구욕을 일으키지 않나 생각된다.

### 3) 두뇌무게

두뇌무게는 Table 7과 같이 C-C-C<sub>E</sub>군이 가장 크며 C-C-C군, C<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>군의 순서이다. C-C-C<sub>E</sub> 군은 D-C-C군, D-D-C군, D<sub>K</sub>-C<sub>K</sub>-C군, D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C군, D-D-C<sub>E</sub>군, D<sub>K</sub>-D<sub>K</sub>-C<sub>E</sub>군보다 유의적으로 더 무거웠다. 같은 식이처리를 받아도 환경적 보충장에서 지낸 실험군이 격리장에서 지낸 실험군보다 두뇌무게가 무거웠다. Bennett 등<sup>15)</sup>은 환경적 자극으로 대뇌피질을 사용할 기회가 많은 경우 두뇌무게가 증가한다고 보고하였다. 즉 환경적 자극에 두뇌가 반응함을 알 수 있다.

부위별 식이제한의 영향을 가장 많이 받는 곳은 소뇌이며 뇌간, 대뇌의 순서이다.

### 4) 두뇌중 norepinephrine, dopamine, serotonin의 함량 :

두뇌조직 g당 norepinephrine, dopamine, serotonin의 함량은 Table 8, Table 9,10에서와 같다.

신경전달물질들중 세가지의 함량은 실험군간에 차이가 없었다. Tsukada 등<sup>16)</sup>이 태아기중 저단백식이의 섭취는 생후 8개월에서 serotonin 함량을 저하하지 않았다고 보고하였으며, serotonin의 전구체인 tryptophan이 많이 결핍된 옥수수 식이를 먹으면 serotonin 함량이 감소하나 정상식을 섭취하면 회복된다는 결과<sup>17)</sup>로 볼때 영양제한이 신경전달물질의 합성에 미치는 영향은 장기적인 것 같지는 않다.

## 결 론

태아기와 수유기동안 어미취에 식이제한은 새끼취의 체중을 감소시켰으나 이유이후 18주동안의 회복기간후 제한군의 체중은 거의 표준군의 체중에 도달하였다. 두뇌의 무게는 생후 21주에 제한식이군이 무제한식이군에 비하여 유의적으로 작았으므로 체중의 회복에도 불구하고 식이제한의 효과가 더 큼을 나타내었다. 두뇌 부위별 영향은 소뇌가 가장 많이 받았다. 환경적 자극

은 두뇌무게를 약간 증가시켜 자극에 두뇌가 반응함을 알 수 있었다.

식이제한군이 미로학습의 수행이 손상되었고 casein 식이군이 한국적 식이군보다 수행시 실수가 적었으므로 학습능력과 영양상태는 관련성이 크다. 식이제한의 경험이 성장기에 환경의 형태에 따라 정서적 반응성에 미치는 영향은 달랐다. 즉 집단생활을 통한 사회적 접촉은 정서적 안정성을 주며 식이제한은 안정성을 낮춘다. 그러나 혼자 격리된 경우는 식이제한이 환경적 긴장과 같은 효과를 주었다. 따라서 충분한 영양소를 섭취하고 환경이 보충되면 탐구적 활동과 정서적 안정성은 높다.

신경전달물질중 norepinephrine, dopamine, serotonin의 함량은 실험군간 차이가 없었으며, 태아기와 수유기중 식이제한이 이유이후 회복시켰을 때 생후 21주에는 모두 정상수준으로 회복됨을 뜻한다. 그러므로 행동상의 실험군간 차이는 위의 세가지 신경전달물질 이외의 다른 측면에서 고려되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- 1) Thompson, R.H. : *Introduction to physiological psychology*. Harper & Row Pub. 1975, 510 p.
- 2) Fish, I. & M. Winick, : *Cellular growth in various regions of the developing rat brain*. *Pediat. Res.* 3 : 407-412, 1969.
- 3) Winick, M. & A. Noble : *Cellular response in rat during malnutrition at various ages*. *J. Nutr.* 89 : 300-306, 1966.
- 4) Dobbing, J. & J. Sands : *Quantitative growth and development of human brain*. *Arch. Dis. Child.* 48 : 757-767, 1973.
- 5) Dobbing, J. & E.M., Widdowson : *The effect of undernutrition and subsequent rehabilitation on myelination of rat brain as measured by its composition*. *Brain.* 88 : 357-366, 1965.
- 6) Krigman, M.R. & E.L. Hogan : *Undernutrition in the developing rat : effect upon myelination*. *Brain Res.* 107 : 239-255, 1976.
- 7) Fernstrom, J.D. : *Nutrition, brain function and behavior*. in S.A. Miller eds., *Nutrition and behavior*, The Franklin Institute Press, 1981, 59-68 pp.
- 8) 농수산부, 1979년도 식품수급표.
- 9) Barnes, R.H., S.R. Cunnold, R.R., Zimmermann H. Simmons, R.B., MacLeod & J. Krook : *Influence of nutritional deprivations in early life on learning behavior of rats as measured by performance in a water maze*. *J. Nutr.* 89 : 399-410, 1966.
- 10) Simonson, M. & B.F., Chow : *Maze studies progeny of underfed mother rats*. *J. Nutr.* 101: 331-336, 1971.
- 11) Metcalf, G. : *A rapid method for the simultaneous determination of noradrenaline, dopamine, and serotonin in small sample of brain tissue*. *Anal. Biochem.* 57 : 316-320, 1974.
- 12) Sanders, D.H., A.F. Murph & R.J. Eng : *Statistics a fresh approach*. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., 1980. 351-372 pp.
- 13) Celedon, J.M., M. Santander & M. Colombo : *Long-term effects on early undernutrition and environmental stimulation on learning performance of adult rats*. *J. Nutr.* 109 : 1880-1886, 1979.
- 14) Levitsky, D.A & R.H., Barnes : *Nutritional and environmental interactions in the behavioral development of the rat : long-term effects*. *Science.* 176 : 68-71, 1972.
- 15) Bennett, E.L., M.C. Diamond, D., Krech & M. R. Rosenzweig : *Chemical and anatomical plasticity of brain*. *Science.* 146 : 610-619, 1964.
- 16) Tsukada, T., S. Kahsake & K. Nagai : *Effect of mild protein restriction during prenatal and postnatal development of rats on discriminative learning ability*. in J. Brozek, eds, *Behavioral effects of energy and protein deficits* NIH Pub. No. 79-1906, 1979 12-21 p.
- 17) Lytles, L.D., R.B. Messing, L., Fisher & L. Phebus : *Effect of long-term corn consumption on brain serotonin and the response to electric shock*. *Science.* 190 : 692-694, 1975.