

식이 내의 타우린 함량이 고양이의 혈액 및 주요 조직의 유리 아미노산 농도에 미치는 영향

박 태 선 · Quinton R. Rogers*

연세대학교 생활과학대학 식품영양학과
Department of Molecular Biosciences, University of California, Davis, CA, U.S.A.*

Effect of Dietary Taurine on Free Amino Acid Concentrations in Blood and Various Tissues of Cats

Park, Tae Sun · Quinton R. Rogers*

Department of Food and Nutrition, Yonsei University, Seoul, Korea
Department of Molecular Biosciences, University of California, Davis, CA, U.S.A.*

ABSTRACT

Taurine concentrations in blood and various tissues were measured in cats fed normal taurine diet(0.15% taurine) and taurine-free diet(0% taurine) for 5 weeks and 12 weeks, respectively. Cumulative body weight gain in young cats fed normal taurine diet and taurine-free diet for the initial 5 weeks were 463 ± 43 g and 383 ± 53 g respectively. Taurine concentration was one to two orders magnitude higher in most tissues than in plasma, among which the liver showed the highest taurine concentration($15.7 \pm 1.1 \mu\text{mole/g}$ wet tissue) in cats. Feeding the taurine-free diet for 12 weeks resulted in 98% reduction in plasma taurine concentration, 93% reduction in whole blood taurine concentration, and 40~90% reduction in tissue taurine concentrations compared to the values for normal taurine diet group. Among the tissues tested, taurine depletion was most profound in heart and kidney, while liver and intestine were relatively resistant to taurine depletion. Whole blood taurine concentration appeared to be a better index for the body taurine status of cats as it more closely reflects the rate of taurine depletion in tissues. Taurine depletion in cats significantly increased the concentrations of essential and non-essential free amino acids in liver, while free amino acid concentrations in other tissues were not affected by taurine depletion.

KEY WORDS : dietary taurine · taurine depletion · tissue taurine concentration · cat · tissue amino acid concentration.

서 론

타우린(β -aminoethane sulfonate, m.w. 125)은 합성 아미노산으로서 다른 아미노산과는 다른 화학적, 생물학적 특성을 지니고 있다. 첫번째 특성으로 타우린은 아미노기가 분자 구조의 β -탄소에 붙어있는 β -아미노산이며, 두번째로 카르복실기 대신에 pK 값이 더 낮은 sulfonic acid기가 α -탄소에 치환되어 있어서 다른 아미노산에 비해 낮은 pH에서도 이온화되는 성질이 있다. 세번째로 타우린은 단백질 합성에 사용되지 않고 대부분의 동물 조직과 생체액에서 가장 풍부한 유리 아미노산으로 존재한다는 것이다. 이와 같이 신체의 각 조직에 고농도로 두루 퍼져있는 타우린은 이미 잘 알려진 담즙산의 포합 기능 이외에도 뇌 발달, 망막의 광수용체 활성화, 심장 근육의 수축, 삼투압 조절, 생식 및 정상적인 성장 발달, 면역 체계의 유지, 항산화 활성화 등 그 조직 분포도 만큼이나 광범위한 생물학적 기능을 지니고 있다¹⁾.

고양이과 동물에 있어서 타우린이 결핍된 식이를 줄 경우 망막 이상 및 시력 감퇴²⁾, 확장성 심근 질환³⁾, 생식 기능 감퇴 및 발육 부진⁴⁾ 등의 타우린 결핍증이 보고되면서 필수 영양소로서의 타우린의 중요성이 밝혀진 바 있다. 이와같이 고양이과 동물에서 타우린 결핍증세가 쉽게 일어나는 이유는 합성 아미노산으로부터 타우린을 생합성하는데 관여하는 효소의 활성이 매우 낮을 뿐 아니라⁵⁾, 담즙산의 대부분이 glycine보다는 타우린에 의해 포합되어 담낭으로 배설되므로 타우린에 대한 체내 요구가 다른 동물에 비해 높기 때문이다⁶⁾.

성인에게 있어서 타우린 결핍증의 임상적 보고는 없었지만, 타우린이 함유되지 않거나, 함유되어 있더라도 모유에 비해 그 양이 월등히 낮은 합성 조제 분유로 키운 미숙아와 영아⁷⁾, 그리고 장기간 피장 영양을 받은 어린이⁸⁾에게서 혈장의 타우린 수준이 감소되었음이 보고되면서 학계의 관심을 끌고 있다. 타우린의 생합성 능력이 고양이에 상응하는 낮은 수치를 보이고⁹⁾, 신 세뇨관의 미성숙으로 인해 타우린의 재흡수가 제대로 일어나지 못할 뿐 아니라¹⁰⁾, 신체의 급성장으로 인한 체내의 타우린 요구가 증가하는 유아 시기에 있어서 타우린의 적절한 공급은 건강한 성장 발달에 매우 중요하고, 이와같은 이

유에서 타우린의 conditional essentiality(조건적 필수성)가 대두되고 있다.

본 연구에서는 타우린 결핍을 유도하기 쉬운 고양이를 대상으로 하여 혈액 및 신체 주요 조직에서의 타우린 농도를 측정하고 식이내의 타우린 결핍이 혈액 및 조직의 타우린 pool에 미치는 영향 등을 평가하고자 하였다. 또한 타우린 결핍이 체내의 다른 유리 아미노산의 농도에 미치는 영향을 살펴 봄으로써 타우린 결핍과 단백질 및 아미노산 대사와의 관계를 밝히기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

병원균의 감염이 없는 건강한 12 마리의 고양이(1773 \pm 60g, 생후 16~20주)를 미국, University of California, Davis에서부터 구하여 각 6 마리 씩 2 개의 실험군으로 나누어 후, 한 군의 고양이는 식이 1kg 당 600g 단백질과 1.5g 타우린을 포함하는 정상 타우린 식이로 5주간 사육하고, 다른 한 군은 식이 1kg 당 600g 단백질과 0g 타우린을 포함 하는 타우린 결핍식이로 12주동안 사육하였다. 실험 식이를 실시하기 전 고양이는 0.15%의 타우린이 함유된 상용식이를 섭취하고 있었다. 각 실험 식이의 구성은 Table 1에 제시되어 있다.

물과 식이는 ad libitum으로 공급하였으며, 오전 6 시에서 오후 10 시까지를 낮주기로 조절하였고 사육장의 온도는 24 $^{\circ}$ C~26 $^{\circ}$ C 로 유지시켰다. 매일의 식이 섭취량을 측정하였으며 몸무게는 1주일에 한번씩 측정하였다.

2. 혈액 및 조직의 채취

Heparin을 함유한 3ml 주사기를 사용하여 고양이의 정맥맥으로 부터 매주 같은 시각(9:00~10:00)에 혈액을 채취하였다. 채취된 혈액의 일부는 혈장을 분리시키기 위해 3000 \times g에서 10분간 원심분리시키고, 전혈과 혈장은 아미노산 분석 시까지 -20 $^{\circ}$ C에 보관하였다.

실험식이 끝나는 시점에 pentobarbital을 이용하여 실험동물을 마취시키고 간, 심장, 비장, 뇌, 소장(공장)과 대퇴부 근육 등의 조직을 떼어낸 후 즉시 얼음 위에 놓았다. 소장의 경우 4 $^{\circ}$ C의 생리 식염수로 장 내용물을 씻어내는 전처리 과정을 거쳤다. 각조직의 일부를 일정량의 0.05M potassium phosphate buffer(pH 6.

타우린 섭취와 체내 유리아미노산 농도

Table 1. Composition of experimental diets

	Taurine-free diet	Normal taurine diet
	g/kg diet	
Soy protein	300	300
Casein	300	300
Animal tallow	100	100
Sucrose	150	150
Starch	86	84
Mineral mix ¹⁾	50	50
Vitamin mix ²⁾	10	10
70% choline	4.3	4.3
Taurine	-	1.5

1) The mineral mixture contained(g/100g) CaHPO₄ 39.0; K₂HPO₄ 9.0; CaCO₃ 11.0; MgSO₄ 4.5; KCl 10.0; KHCO₃ 10.0; NaHCO₃ 14.0; MnSO₄ · H₂O 0.384; ZnSO₄ · 7H₂O 0.445; CuSO₄ · 5H₂O 0.080; FeC₆H₅O₇ · 3H₂O 1.000; KI 0.003; SnCl₂ · 2H₂O 0.010; Na₂SeO₃ 0.003; (NH₄)₆Mo₇O₄ · 4H₂O 0.004; CrCl₃ · 6H₂O 0.026; NiCl₂ · 6H₂O 0.030; NaF 0.014; NH₄VO₃ · 4H₂O 0.002; NaCl 0.499

2) The vitamin mixture contained (g/kg) cobalamine 0.005; riboflavin 1.002; nicotinic acid 10.022; calcium d-pantothenic acid 2.004; menadione sodium bisulfite complex 1.353; folic acid 1.002; pyridoxine · HCl 1.000; thiamin mononitrate 2.436; myo-inositol 20.042; d-biotin 0.100; ascorbic acid 40.084; retinyl acetate 2,004,182 I.U./kg; cholecalciferol 200,418 I.U./kg; DL-alpha-tocopheryl acetate 16,034 I.U./kg.

8)에 담고, polytron homogenizer를 사용하여 20% (M/W) 균질 용액을 형성하였다. 4℃, 20,000×g에서 30 분간 원심분리한 후 상층액을 모아서 아미노산 분석 시까지 -20℃에 보관하였다.

3. 아미노산 농도의 분석

전혈, 혈장 및 조직 상층액에서의 타우린을 비롯한 유리 아미노산의 농도는 sulfosalicylic acid를 사용하여 단백질을 침전시켜 제거한 후, ion-exchange chromatography를 이용한 자동화된 아미노산 분석기 (Beckman Instrument, Model 121-MB)를 사용하여 측정하였다¹¹⁾.

4. 통계 처리

모든 실험결과의 수치는 평균과 평균 표준오차 (mean ± SEM)로 제시하였고, 타우린의 결핍이 혈액

및 조직의 타우린 및 기타 유리 아미노산의 농도에 미치는 효과에 관하여는 Students t-test를 사용하여 p<0.05와 p<0.01 수준에서 유의성 여부를 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 식이 섭취량 및 체중의 변화

실험 식이를 실시한 처음 5주간의 체중 변화를 비교하여 본 결과, 정상 타우린군이 타우린 결핍군보다 유의적이지는 않으나 더 높은 체중 증가를 보여 주었으며, 5주 후에는 정상 타우린군과 결핍군에 있어서 각기 463 ± 43g, 383 ± 53g의 누적 체중 증가를 보였다. 5주 이후부터 타우린 결핍 식이의 사육이 종료되는 12주까지의 체중 증가는 정상 타우린군의 사육이 5주에 종료되었으므로 비교가 불가능하였다. 일일 식이 섭취량에는 두 군간에 유의적인 차이가 없었다.

단백질 합성에 직접적으로 관여하지 않으면서 신체 각 조직에 고농도로 분포되어 있는 타우린이 결핍된 경우 생애 초기의 성장 발달에 치명적인 영향을 미칠 수 있음이 고양이¹²⁾와 원숭이¹³⁾를 대상으로 보고된 바 있으며, 체중 증가의 지연은 그 중 하나의 현상이라고 하겠다. 본 연구 결과에서 타우린 결핍군의 고양이에게서 나타난 체중 증가가 정상 타우린 군에 비해 유의적으로 낮게 나타나지 않은 이유는 연구에 사용된 고양이가 생애 주기에 있어서 초기의 급성장기를 지나 인간의 청소년기에 해당되는 시기에 있었고, 누적 체중 증가를 측정할 처음 5주간의 기간이 타우린 결핍에 따른 체중 변화를 유도하기에는 충분하지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

2. 혈액 및 조직의 타우린 농도

본 연구에서 얻어진 정상 타우린 식이(0.15% 타우린)를 섭취한 고양이의 혈액 및 조직의 타우린 농도와 다른 연구자들에 의해 고양이¹⁴⁾¹⁵⁾, 원숭이¹⁶⁾, guinea pig¹⁷⁾에서 얻어진 체내 타우린의 농도가 Table 2에 비교 제시되어 있다. 본 연구에서 성장이 멈추지 않은 생후 16~20주 된 고양이에게 0.15% 타우린 식이를 실시한 결과 얻어진 혈장의 타우린 농도는 Sturman 등이 생후 10주 된 새끼 고양이(700~900g)에게 0.4% 타우린 식이를 실시하여 얻은 수치¹⁵⁾와 성숙한 고양이에게 0.05% 타우

Table 2. Taurine concentration in plasma and various tissues of cats, guinea pigs and monkeys fed normal level of taurine

	Cat ¹⁾	Cat ²⁾	Kitten ³⁾	Rhesus monkey ⁴⁾	Guinea pig ⁵⁾
nmole/ml					
Plasma	78 ± 6	127 ± 53	115 ¹⁾ ± 12	182 ± 70	167 ± 57
Whole blood	602 ± 3.4	n.a. ⁶⁾	n.a.	n.a.	n.a.
μmole/g wet tissue					
Liver	15.7 ± 1.1	8.5 ± 3.3	16.4 ± 0.9	2.3 ± 0.7	0.8 ± 0.2
Kidney	9.9 ± 0.7	5.2 ± 1.9	10.8 ± 0.6	11.5 ± 1.5	3.0 ± 0.8
Skeletal muscle	5.0 ± 0.6	n.a.	n.a.	n.a.	6.15
Heart	12.5 ± 1.8	12.0 ± 2.7	11.1 ± 0.4	9.2 ± 2.2	12.7 ± 1.9
Spleen	10.0 ± 0.7	7.3 ± 2.4	8.5 ± 0.7	14.6 ± 3.2	5.5 ± 1.2
Brain	2.0 ± 0.4	3.1 ± 0.8 ⁷⁾	n.a.	3.5 ± 0.4 ⁷⁾	1.1 ± 0.1 ⁷⁾
Jejunum	7.5 ± 0.5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

- 1) data from the present study on cats fed 0.15% taurine.
- 2) Sturman and Messing, 1992, adult female cats fed 0.05% taurine.
- 3) Sturman et al., 1978, 10 week-old kittens fed 0.4% taurine.
- 4) Sturman et al., 1991, 12 month-old infant monkey.
- 5) Huxtable and Lippincott, 1981, adult guinea pig.
- 6) n.a. not available
- 7) taurine concentration in cerebellum.

린 식이를 실시하여 얻은 수치¹⁴⁾에 비해 32~39% 정도 낮게 나타난 반면, 주요 조직에서의 타우린 농도는 Sturman 등의 고양이를 대상으로 한 연구 결과와 비슷하거나 다소 높은 경향을 보였다. 또한 생후 1년된 태아기의 원숭이(rhesus monkey)와 초식동물인 성숙한 guinea pig의 경우 혈장 타우린 농도는 본 연구에서 얻어진 수치에 비해 110~130% 더 높은 반면, 간에서의 타우린 농도는 고양이에서 얻어진 수치에 비해 85~94%가 더 낮았다. 간은 타우린의 대사 및 이용이 가장 왕성하게 일어나는 조직이다. 고양이과 동물에게서 간의 타우린 농도가 월등히 높은 것은 고양이의 경우 담즙산과 기타 대사물질들 간에서 taurine과 주로 포함시켜 배설시켜야 하므로 인간, 원숭이나 다른 초식동물에 비해 간에서의 타우린 이용도가 훨씬 높다는 사실에 비추어 볼 때 자연스런 현상이라고 사료된다.

본 연구결과에 의하면 전혈에서의 타우린 농도는 혈장 수준의 약 8배에 달하며, 각 조직의 타우린 농도 역시 혈장 수준에 비해 25~190 배 정도의 월등히 높은 값을 나타내고 있다(Table 2). 이와 같이 세포내의 타우린 농도가 세포 외액에 비해 수십-수백배 더 높게 나타나는 것은 대부분의 조직에 Na⁺ 이온과 에너지를 필요로 하는 능동적 타우린 운반체(active taurine transporter)가

세포막에 존재하고 있어서¹⁸⁻²⁰⁾ 농도구배에 역행하여 타우린을 세포 내로 이동시키는 것이 가능하기 때문인 것으로 사료된다.

고양이의 경우 간과 심장의 타우린 농도가 다른 조직에 비해 높았으며, 인간과 가장 가까운 원숭이의 경우에는 비장과 신장의 타우린 농도가 다른 조직에 비해 높으며 반대로 간의 타우린 농도는 뇌의 수준과 비슷한 수치로 낮은 편이었다. 뇌에서의 단위그램당 타우린의 농도는 동물의 종류에 따라 1.1-3.5μmole로 다른 조직에 비해 다소 낮으나, 뇌의 발육과 기능에 비교적 소량의 타우린이 결정적인 역할을 하고 있으며¹²⁾, 신경 전달물질인 gamma-amino butyric acid(GABA)와 비슷한 구조를 지니면서 신경자극의 전달을 억제하는데 기여하고²¹⁾, 또한 타우린이 간질 상태를 치료하는 진경제(anti convulsant)로서 효과가 있음이 보고된 바 있다²²⁾.

3. 식이내의 타우린 함량과 체내 타우린 농도와의 관계

정상 타우린 식이와 타우린 결핍 식이를 섭취한 고양이의 혈장 및 전혈의 타우린 농도의 변화 추이가 Table 3에 제시되어 있다. 타우린 결핍 식이를 섭취한 군의 고양이에 있어서 혈장 타우린 농도는 1주 후에 85%의 급

타우린 섭취와 체내 유리아미노산 농도

Table 3. Plasma and whole blood taurine concentrations in cats fed taurine-free diet and normal taurine diet

Group	Experimental Period (wk)								
	0	1	2	3	4	5	7	10	12
Plasma (nmole/ml)									
Taurine-free diet	106 ± 31	16 ± 5	9.2 ± 4.1	8.8 ± 3.0	3.9 ± 0.9	2.5 ± 1.1	1.8 ± 0.4	1.6 ± 0.13	1.2 ± 0.2
Normal taurine diet	106 ± 31	89 ± 21	75 ± 35	74 ± 24	70 ± 10	78 ± 6			
Whole blood (nmole/ml)									
Taurine-free diet	542 ± 24	152 ± 19	131 ± 20	120 ± 15	68 ± 9	51 ± 6	33 ± 5	36 ± 7	34 ± 6
Normal taurine diet	542 ± 24	809 ± 37	748 ± 37	658 ± 85	671 ± 34	602 ± 34			

Values are mean ± SEM of 6 animals

Table 4. Taurine concentration in cats fed normal taurine diet and taurine-free diet

Tissue	DIETS	
	Normal taurine diet	Taurine-free diet
	nmole/ml	
Plasma	78 ± 6	1.2 ± 0.2**
Whole blood	602 ± 34	34 ± 6**
	μmole/g wet tissue	
Liver	15.7 ± 1.1	3.8 ± 0.7**
Kidney	9.9 ± 0.7	0.8 ± 0.1**
Muscle	5.0 ± 0.6	0.8 ± 0.1**
Heart	12.5 ± 1.8	0.87 ± 0.1**
Spleen	10.0 ± 0.7	0.9 ± 0.1**
Brain	2.0 ± 0.4	0.21 ± 0.04**
Jejunum	7.5 ± 0.5	4.3 ± 9.9**

Values are mean ± SEM of 6 animals.

** Significantly different at $p < 0.01$ compared with the normal taurine diet group in the same row as determined by Student's t-test.

적한 감소를 보였고 계속 큰 폭으로 감소하여 실험 7주 후부터는 2nmole/ml 이하의 낮은 수치를 보였다. 한편 전혈의 타우린 농도는 1주 후에 72%의 감소를 보였고, 그 이후 완만하게 감소하여 7주 후 부터는 33~36nmole/ml의 안정된 수치를 나타냈다. 따라서 고양이에게 체내 타우린 pool을 고갈시키기 위해 타우린 결핍 식이를 실시할 경우 적어도 10주 이상 사육하는 것이 바람직하다고 본다.

정상 타우린 식이와 타우린 결핍 식이를 섭취한 고양

이의 주요 조직에서의 타우린 농도가 Table 4에 제시되어 있다. 타우린 결핍 식이를 12주 간 섭취한 고양이의 경우 모든 조직에서 타우린의 농도가 정상 타우린 군에 비해 유의적으로 낮게 감소하였다($p < 0.01$). 조직 별로 살펴보면 결핍군의 타우린 농도는 심장에서 가장 크게 감소하였고(정상군의 7%), 그 다음이 신장(정상군의 8%), 비장(정상군의 9%), 뇌(정상군의 10%)의 순서이며, 간과 소장에서는 각기 정상군의 24%, 57%로 다른 조직에 비해 감소의 폭이 좁은 편이었다. 이에 반해 Table 3에 제시된 바와 같이 혈장 타우린 농도는 조직의 타우린 농도보다 더 큰 영향을 받아 결핍식이를 실시한 12주 후에는 정상군의 1.5%에 해당하는 낮은 혈장 농도를 나타내었다. 이와같은 결과에 비추어 볼 때 식이내의 타우린 결핍은 신체 조직의 타우린 pool을 각기 다른 속도로 고갈시키며, 간과 소장등의 일부 장기는 타우린 결핍에 더 잘 저항하여 그 농도를 다른 조직에 비해 더 오래 유지시킬 수 있다고 하겠다.

타우린 결핍식이에 따른 전혈에서의 타우린 농도의 감소는 혈장의 타우린 농도 감소에 비해 완만하여 실험 마지막 주인 12주에는 정상군의 6%에 달하는 농도를 나타내 심장 및 기타 조직에서의 감소와 비슷한 양상을 보이고 있다. 따라서 전혈 타우린의 농도는 혈장 타우린의 농도보다 조직 타우린 pool의 상태를 더 밀접하게 반영한다고 하겠다. 또한 혈장의 분리시에 타우린의 농도가 월등히 높은 혈소판이나 백혈구 등이 혈장에 섞여 들어갈 가능성을 고려한다면, 특정한 개체의 타우린 영양상태를

판정하기 위해서 혈장 타우린 농도보다는 전혈 타우린의 농도가 더 적절한 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 식이내의 타우린 함량과 유리 아미노산 농도와 의 관계

정상 타우린 식이와 타우린 결핍 식이를 섭취한 고양이의 혈장 및 조직의 아미노산 농도가 Table 5와 6에 제시되어 있다. 정상 타우린을 섭취한 고양이의 혈액 및 조직의 유리 아미노산 농도와 Table 4에 제시된 타우린 농도를 비교하여 볼 때, 혈장을 제외한 거의 모든 조직에서

타우린은 가장 농도가 높은 유리 아미노산 중의 하나임을 알 수 있다(비장에서는 glutamic acid 다음으로, 뇌에서는 glutamine 다음으로 그 농도가 높다).

식이내 타우린의 함량이 체내 유리 아미노산 농도에 미치는 영향을 살펴본 결과 발견된 한가지 흥미로운 사실은 식이내 타우린의 결핍이 대부분의 조직에서 다른 유리 아미노산 농도에 유의적인 영향을 미치지 못하는 반면, 타우린의 이용이 활발한 간에서는 arginine을 제외한 나머지의 필수 아미노산과 거의 대부분의 불필수 아미노산의 농도를 유의적으로 증가시켰다는 것이다. 또

Table 5. Free amino acid concentrations in plasma, liver and kidney of cats fed normal taurine diet and taurine-free diet

	Plasma		Liver		Kidney	
	Normal taurine diet	Taurine-free diet	Normal taurine diet	Taurine-free diet	Normal taurine diet	Taurine-free diet
	nmole/ml		μmole/g wet tissue			
EAA ¹⁾						
Arg	132 ± 11	156 ± 12	0.12 ± 0.05	0.25 ± 0.11	0.8 ± 0.2	0.9 ± 0.1
His	142 ± 10	179 ± 14	2.4 ± 0.1	3.4 ± 0.3**	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.1
Ile	159 ± 25	190 ± 18	2.5 ± 0.2	4.2 ± 0.5**	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.1
Leu	287 ± 42	329 ± 31	6.2 ± 0.4	10.3 ± 1.1**	2.2 ± 0.2	2.1 ± 0.2
Lys	176 ± 10	183 ± 10	4.8 ± 0.4	7.6 ± 0.9**	1.9 ± 0.2	1.8 ± 0.1
Met	68 ± 7	126 ± 15*	1.5 ± 0.1	2.6 ± 0.3**	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1
Phe	114 ± 14	302 ± 142	2.5 ± 0.2	4.4 ± 0.4**	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.1
Thr	374 ± 54	471 ± 36	5.0 ± 0.4	7.8 ± 0.6**	1.9 ± 0.2	2.0 ± 0.1
Trp	82 ± 10	95 ± 5	-	-	-	-
Val	451 ± 61	518 ± 45	4.5 ± 0.3	5.9 ± 1.3*	1.7 ± 0.2	1.6 ± 0.1
NEAA ²⁾						
Ala	409 ± 36	533 ± 61	13.1 ± 0.9	19.1 ± 1.7**	6.7 ± 0.6	7.1 ± 0.4
Asn	65 ± 7	82 ± 11	2.1 ± 0.1	3.2 ± 0.3**	0.7 ± 0.06	0.7 ± 0.03
Asp	33 ± 4	38 ± 3	3.7 ± 0.5	2.6 ± 0.3	4.3 ± 0.3	4.7 ± 0.8
Cit	20 ± 2	31 ± 3*	0.05 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.01
Gln	480 ± 59	555 ± 40	3.2 ± 0.1	4.5 ± 0.4	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.1
Glu	213 ± 11	231 ± 16	4.4 ± 0.6	5.2 ± 0.4	8.0 ± 0.8	9.7 ± 1.0
Gly	275 ± 29	321 ± 14	6.1 ± 0.6	8.2 ± 0.6**	5.8 ± 0.5	7.3 ± 0.4**
Orn	70 ± 17	97 ± 12	5.6 ± 0.5	9.5 ± 0.8**	1.2 ± 0.4	1.1 ± 0.2
Pro	266 ± 49	361 ± 36	3.9 ± 0.3	6.1 ± 0.8**	1.9 ± 0.2	1.9 ± 0.2
Ser	121 ± 9	179 ± 14	5.1 ± 0.4	7.9 ± 0.6**	2.6 ± 0.2	2.5 ± 0.1
Tyr	97 ± 13	135 ± 5*	2.1 ± 0.1	3.2 ± 0.3**	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.1

Values are mean ± SEM of 6 animals.

*, ** Significantly different at p < 0.05 (*) and p < 0.01 (**) compared with the normal taurine diet group as determined by Student's t-test.

1) Essential amino acid

2) Non-essential amino acid

타우린 섭취와 체내 유리아미노산 농도

Table 6. Free amino acid concentrations in skeletal muscle, spleen and brain of cats fed normal taurine diet and taurine-free diet

	Skeletal muscle		Spleen		Brain	
	Normal taurine diet	Taurine-free diet	Normal taurine diet	Taurine-free diet	Normal taurine diet	Taurine-free diet
	$\mu\text{mole/g wet tissue}$					
EAA ¹⁾						
Arg	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.05	1.7 ± 0.3	2.5 ± 0.2	0.55 ± 0.1	0.43 ± 0.07
His	0.8 ± 0.1	1.0 ± 0.04	0.9 ± 0.06	1.1 ± 0.07	0.30 ± 0.05	0.30 ± 0.04
Ile	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.04	0.9 ± 0.05	1.1 ± 0.1	0.20 ± 0.05	0.17 ± 0.02
Leu	0.8 ± 0.04	0.8 ± 0.06	2.2 ± 0.1	2.6 ± 0.2	0.45 ± 0.1	0.39 ± 0.05
Lys	0.9 ± 0.1	1.1 ± 0.03	2.0 ± 0.1	2.5 ± 0.2	0.55 ± 0.1	0.50 ± 0.08
Met	0.3 ± 0.03	0.3 ± 0.03	0.4 ± 0.1	0.49 ± 0.1	0.12 ± 0.03	0.10 ± 0.01
Phe	0.4 ± 0.02	0.6 ± 0.1	1.1 ± 0.06	1.5 ± 0.2	0.25 ± 0.04	0.26 ± 0.06
Thr	1.4 ± 0.2	1.7 ± 0.2	2.7 ± 0.2	3.0 ± 0.6	0.75 ± 0.1	0.95 ± 0.1
Val	0.7 ± 0.04	0.8 ± 0.05	1.4 ± 0.3	1.9 ± 0.4	0.32 ± 0.07	0.28 ± 0.04
NEAA ²⁾						
Ala	3.5 ± 0.2	4.1 ± 0.3	4.0 ± 0.3	4.9 ± 0.5	1.4 ± 0.2	1.6 ± 0.2
Asn	0.4 ± 0.03	0.4 ± 0.02	1.1 ± 0.06	1.3 ± 0.08	0.2 ± 0.04	0.2 ± 0.02
Asp	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.2	5.5 ± 0.3	6.6 ± 0.5	5.8 ± 1.0	6.5 ± 0.7
Cit	0.05 ± 0.01	0.09 ± 0.01*	0.05 ± 0.01	0.09 ± 0.01*	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.01
Gln	4.3 ± 0.4	6.4 ± 0.6*	2.0 ± 0.1	2.6 ± 0.2*	2.8 ± 0.1	3.4 ± 0.3
Glu	2.1 ± 0.1	2.8 ± 0.5	13.2 ± 0.7	14.5 ± 0.7	5.7 ± 0.3	6.8 ± 1.8
Gly	1.8 ± 0.3	2.1 ± 0.2	5.5 ± 0.4	6.4 ± 0.5	1.7 ± 0.1	1.8 ± 0.12
Orn	0.5 ± 0.09	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.66 ± 0.2	0.21 ± 0.01	0.24 ± 0.05
Pro	1.3 ± 0.1	1.4 ± 0.2	2.1 ± 0.12	2.7 ± 0.2	0.4 ± 0.01	0.4 ± 0.07
Ser	0.8 ± 0.1	0.9 ± 0.1	3.3 ± 0.3	4.0 ± 0.3	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.1
Tyr	0.4 ± 0.02	0.4 ± 0.03	1.4 ± 0.1	1.7 ± 0.1	0.21 ± 0.03	0.19 ± 0.03

Values are mean ± SEM of 6 animals.

*, ** Significantly different at $p < 0.05$ (*) and $p < 0.01$ (**) compared with the normal taurine diet group as determined by Student's t-test.

1) Essential amino acid

2) Non-essential amino acid

한 통계적으로 유의하지는 않으나 타우린의 결핍시 타우린을 제외한 혈장의 모든 유리 아미노산 농도가 일률적으로 상승하는 경향을 보였다. 식이내의 타우린 함량과 체내 다른 유리 아미노산 농도와의 관계에 관하여는 아직 문헌에 보고된 바가 없어서 본 연구에서 얻어진 결과와 비교할 수 없음이 아쉽다. 타우린의 결핍이 간의 유리 아미노산 농도를 증가시키는 현상에 대하여 다음과 같은 두가지 가능성을 생각해 볼 수 있겠다. 첫번째로 타우린의 결핍시 근육 단백질로부터 아미노산이 급격히 유리되어 체내 아미노산 pool을 증가시키고 혈액을 통해 아미노산의 대사가 활발한 간으로 이동되어 간의 유리

아미노산 농도를 증가시킬지도 모른다는 것이고, 또 다른 가능성은 식이로부터 섭취된 아미노산의 체내이용(단백질 합성, 아미노산의 대사, gluconeogenesis 등의 생합성 과정, urea cycle 등)이 타우린 결핍시 저하되어 유리 아미노산이 간에 축적된다는 것이다. 이와 같이 타우린 결핍이 체내의 단백질 pool을 저하시키고 그 결과 혈장과 간의 아미노산 pool을 증가시킬지도 모른다는 제안은 타우린 결핍시 성장기 동물의 정상 성장이 억제되는 현상¹²⁾¹³⁾을 뒷받침해 줄 수 있는 가능한 기전 중의 하나가 되리라고 본다.

타우린 결핍이 체내 단백질 대사 및 아미노산 pool에

미치는 흥미로운 효과에 관하여 앞으로 계속적인 연구가 진행되어야 할 것이며, 동위원소를 사용하여 단백질의 turn over 및 합성 속도를 측정하는 대사 연구 등이 수반되어야 할 것으로 본다. 또한 타우린 결핍이 어떠한 기전에 의해 근육 단백질로 부터의 아미노산 유리를 증가시키는지 또는 아미노산의 체내 이용율을 저하시키는지에 대한 의문과 해답의 모색이 계속 되어져야 할 것으로 기대한다.

요약 및 결론

본 연구에서는 필수 영양소로서 타우린을 식이로부터 계속 공급받아야 하는 고양이를 대상으로 하여 각 조직의 타우린 농도를 평가하고, 타우린 결핍식이 혈액 및 조직의 타우린을 비롯한 다른 유리 아미노산 농도에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험 식이를 실시한 후 5주간의 누적 체중 증가를 조사한 결과, 타우린 결핍식은 통계적으로 유의적이지는 못하나 정상 타우린 군에 비해 성장기 고양이의 체중 증가를 지연시키는 경향을 나타냈다(20% 감소).

2) 조직의 타우린 농도는 혈장 농도보다 수십-수백배 높으며, 고양이의 경우 간에서의 타우린의 농도가 $15.7 \pm 1.1 \mu\text{mole/g}$ tissue로 다른 조직에 비해 가장 높은 것으로 나타났다.

3) 타우린 결핍식을 12주간 섭취한 고양이의 체내 타우린 pool은 현격히 고갈되었으며, 그 중에서도 혈장 타우린의 농도는 정상군의 1.5%로 가장 크게 감소하였다. 각 조직의 타우린 농도도 크게 감소하여 심장, 신장, 비장 및 뇌에서는 정상군의 7~10%에 해당하는 타우린 농도를 보였고, 간과 소장에서의 타우린 농도는 정상군의 각기 24%, 57%로 다른 조직에 비해 감소의 폭이 좁은 편이었다.

4) 타우린 결핍에 따른 전혈 타우린 농도의 감소는 혈장 타우린 농도의 감소보다 완만하게 진행하여 실험 마지막 주인 12주에는 정상군의 6%에 달하는 농도를 나타냈다. 타우린 결핍시 전혈의 타우린 농도는 혈장 농도보다 조직의 타우린 상태를 더 잘 반영할 뿐 아니라 혈장의 분리시 소량의 혈구 세포가 혈장에 섞여있을 가능성을 고려할 때, 특정한 개체의 타우린 영양 상태를 판정하

는데 있어 전혈의 농도는 혈장 농도보다 더 적절한 지표가 될 것으로 사료된다.

5) 고양이에 있어서 타우린의 결핍은 간에서의 거의 모든 유리 아미노산의 농도를 유의적으로 증가시키는 반면, 간을 제외한 다른 조직의 유리 아미노산 농도에는 유의적인 영향을 미치지 않았다.

Literature Cited

- 1) Chesney RW. Taurine. Its biological role and clinical implications. In : Barness LA, ed. Advances in Pediatrics, PP. 1-42, Year Book Medical Publishers, Chicago, 1985
- 2) Hayes KC, Carey RE, Schmidt SY. Retinal degeneration associated with taurine deficiency in the cat. *Science* 188 : 949-951, 1975
- 3) Pion PD, Kittleson MD, Thomas WP, Skiles ML, Rogers QR. Clinical findings in cats with dilated cardiomyopathy and relationship of findings to taurine deficiency. *J Am Vet Med Assoc* 201(2) : 267-274, 1992
- 4) Sturman JA, Messing JM. Dietary taurine content and feline reproduction and outcome. *J Nutr* 121(8) : 1195-1203, 1991
- 5) Rentschler LA, Hirschberger LL, Stipanuk MH. Response of the kitten to dietary taurine depletion : Effects on renal reabsorption, bile acid conjugation and activities of enzymes involved in taurine synthesis. *Comp Biochem Physiol* 84 B : 319-325, 1986
- 6) Rabin B, Nicolosi RJ, Hayes KC. Dietary influence on bile acid conjugation in the cat. *J Nutr* 106 : 1241-1246, 1976
- 7) Rassin K, Gaull GE, Järvenpää AL, Riihã NCR. Feeding the low-birth-weight infant. II. Effect of taurine and cholesterol supplementation on amino acids and cholesterol. *Pediatrics* 71 : 179-186, 1983
- 8) Vinton NE, Laidlaw SA, Ament ME, Kopple JD. Taurine concentrations in plasma, blood cells, and urine of children undergoing long-term total parenteral nutrition. *Pediatr Res* 21 : 399-403, 1987
- 9) Rigo J, Senterre J. Is taurine essential for the neonates? *Biol Neonates* 32 : 73-76, 1977

- 10) Zelikovic I, Chesney RW, Friedman AL, Ahfros CE. Taurine depletion in very low birth weight infants receiving prolonged total parenteral nutrition : role of renal immaturity. *J Pediatr* 116 : 301-306, 1990
- 11) Moore S, Stein WH. Chromatographic determination of amino acids by the use of automatic recording equipment. In : Colowick SP, Kaplan NO, eds. *Methods in Enzymology*, Vol. 6, pp. 819-831, Academic Press, New York, 1963
- 12) Sturman JA. Taurine in development. *Physiol Rev* 73(1) : 119-147, 1993
- 13) Hayes KC, Stephan ZF, Sturman JA. Growth depression in taurine-depleted infant monkeys. *J Nutr* 110 : 2058-2064, 1980
- 14) Sturman JA, Messing JM. High dietary taurine effects on feline tissue taurine concentrations and reproductive performance. *J Nutr* 122 : 83-88, 1992
- 15) Sturman JA, Rassin DK, Hayes KC, Gaul GE. Taurine deficiency in the kitten : Exchange and turnover of [³⁵S] taurine in brain, retina and other tissues. *J Nutr* 108 : 1462-1476, 1978
- 16) Sturman JA, Messing JM, Rossi SS, Hofmann AF, Neuringer M. Tissue taurine content, activity of taurine synthesis enzymes and conjugated bile acid composition of taurine-deprived and taurine-supplemented rhesus monkey infants at 6 and 12 month of age. *J Nutr* 121 : 854-862, 1991
- 17) Huxtable RJ, Lippincott SE. Comparative metabolism and taurine-depleting effects of guanidinoethanesulfonate in cats, mice and guinea pigs. *Arch Biochem Biophys* 210(2) : 698-709, 1981
- 18) Tiruppathi C, Brandsch M, Miyamoto Y, Ganapathy V, Leibach FH. Constitutive expression of taurine transporter in a human colon carcinoma cell line. *Am J Physiol* 263 : G625-31, 1992
- 19) Ramamoorthy S, Del Monte MA, Leibach FH, Ganapathy V. Molecular identity and calmodulin-mediated regulation of the taurine transporter in a human retinal pigment epithelial cell line. *Current Eye Res* 13(7) : 523-529, 1994
- 20) Park TS, Rogers QR, Morris JG, Chesney RW. Effect of dietary taurine on renal taurine transport by proximal tubule brush border membrane vesicles in the kitten. *J Nutr* 119 : 1452-1460, 1989
- 21) Pasantés-Morales H, Bonaventure N, Wioland N, Mandel P. Effect of intravitreal injections of taurine and GABA on chicken electroretinogram. *Int J Neurosci* 5 : 235-241, 1973
- 22) Huxtable RJ, Laird H, Bonhaus D, Thies AC. Correlations between amino acid concentrations in brains of seizure-susceptible and seizure-resistant rats. *Neurochem Int* 4 : 73-78, 1982