

타우린의 일반적 특성에 관한 선행연구 고찰

윤진아 · 최경순* · †신경옥*

배화여자대학교 식품영양과, *삼육대학교 식품영양학과

General Characteristics of Taurine: A Review

Jin A Yoon, Kyung-Soon Choi* and †Kyung-Ok Shin*

Dept. of Food and Nutrition, Baewha Women's University, Seoul 110-735, Korea

*Dept. of Food and Nutrition, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea

Abstract

Taurine is one of the most abundant free β -amino acids in the human body that accounts for 0.1% of the human body weight. It has a sulfonic acid group in place of the more common carboxylic acid group. Mollusks and meat are the major dietary source of taurine, and mother's milks also include high levels of this amino acid. The leukocytes, heart, muscle, retina, kidney, bone, and brain contain more taurine than other organs. Furthermore, taurine can be synthesized in the brain and liver from cysteine. There are no side effects of excessive taurine intake in humans; however, in case of taurine deficiency, retinal abnormalities, reduced plasma taurine concentration, and other abnormalities may occur. Taurine enters the cell via a cell membrane receptor. It is excreted in the urine (approximately 95%) and feces (approximately 5%). Taurine has a number of features and functions, including conjugation with bile acid, reduction of blood cholesterol and triglyceride levels, promotion of neuron cell differentiation and growth, antioxidant effects, maintenance of cell membrane stability, retinal development, energy generation, depressant effects, regulation of calcium level, muscle contraction and relaxation, bone formation, anti-inflammatory effects, anti-cancer and anti-atherogenic effects, and osmotic pressure control. However, the properties, functions, and effects of taurine require further studies in future.

Key words: taurine, taurine contents of food, metabolism of taurine, function of taurine

서 론

현대에 들어오면서 풍요로운 생활을 영위하는 대신 과도한 섭취와 잘못된 식습관, 스트레스, 환경 공해, 불규칙한 생활 등 많은 요인에 의해 새로운 질병이 나타나거나, 기존에 발생 빈도가 낮았던 질병들이 많이 나타나게 되었다. 이러한 질환들은 상당수가 특정 영양소에 편중된 식습관에 기인하는 바가 많으며, 이를 극복하기 위한 여러 식이 요법과 영양소 섭취 방법들이 제시되고 있는데, 최근 주목받고 있는 영양소 중 하나는 타우린이다.

타우린은 무척추 해양동물에 관한 연구가 기존에 이루어

졌었으나, Jacobsen & Smith(1968)가 타우린 및 그 유도체에 관한 보고서를 발표하면서 포유동물과 인체에 대한 연구가 증가하기 시작하였고, 그 결과 다양한 효과가 보고되고 있다. 타우린의 생리적 작용은 크게 metabolic action과 non-metabolic action으로 나뉘는데, 타우린의 항산화적 요소, 함황아미노산에 대한 해독작용, xenobiotic conjugation 및 bile acid conjugation 등은 타우린의 metabolic action에 근거를 둔 반면, 세포막의 안정, 전해질의 이동과 삼투압 조절, 세포막의 인지질 및 ion channel과의 상호작용 등은 zwitterionic 성질에 의한 non-metabolic action에 근거를 두고 있다(Lombardini 등 1998). 이러한 작용을 통해 담즙산 합성과 지질 배출, 신경세포의 성장과 분화,

† Corresponding author: Kyung-Ok Shin, Dept. of Food and Nutrition, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea. Tel: +82-2-3399-1657, Fax: +82-2-3399-1655, E-mail: skorose@syu.ac.kr

망막과 시각에 관한 효과, 항산화 작용, 삼투압 조절, 인슐린 작용, 심장과 간 보호 등의 효과를 나타내며, 암 세포를 대상으로 한 실험에서도 항암 효과가 보고되었다. 타우린은 인체 내에서 백혈구, 심장, 망막, 근골격에 많이 분포되어 있으며, 체중의 0.1%를 타우린이 차지할 만큼 체내에 많이 함유되어 있는 성분으로서, 앞으로도 많은 효과와 다양한 기능이 발견 될 것으로 기대되고 있다.

이에 본 연구는 현재까지 알려진 타우린의 특성과 효과에 대해 정리 및 고찰함으로써 앞으로의 연구방향 설정과 진행에 도움이 되고자 실시하였다.

1. 타우린의 정의와 일반적 특성

타우린은 1827년 Tiedemann과 Gmelin에 의해 소의 담즙에서 분리된 유리아미노산이며(Tiedeman & Gmelin 1827), 1838년 Demarcay에 의해 그리스어로 황소라는 뜻의 'taurus'에서 이름이 유래되었다(Huxtable RJ 1992). 다른 아미노산과 달리 β -carbon에 아미노기($-NH_2$)가 결합되어 있고, α -carbon에 카르복실기($-COOH$) 대신 황산기가 존재하는 β -아미노산이다(Fig. 1). 황산기가 포함되어 있기 때문에 강산이며, 양성 이온이고, 극성이 높기 때문에 다른 아미노산에 비해 낮은 pH에서도 쉽게 이온화된다(Kim MJ 2000). 화학적 명칭은 2-aminoethanesulfonic acid로 분자량은 125.1이며, methionine · cysteine · homocysteine 등과 유사한 함황아미노산이지만(Brosnan & Brosnan 2006), 단백질에는 포함되지 않는다. 색은 무색투명하고, 맛이 존재하지 않는 편이며(relatively tasteless), 수용성이지만 알코올이나 에테르에는 용해되지 않는다(Jacobsen & Smith 1968). 생리적 pH에서는 거의 zwitterion으로 존재하며 물에는 잘 녹으나, 지방에는 잘 녹지 않아 지방성 세포막을 통한 확산은 잘 이루어지지 않으며, 세포막에 수용체가 존재하여 이를 통해 세포 내로 이동한다.

2. 타우린의 체내 분포

포유동물 조직에서 타우린은 백혈구에 50 mM 수준으로 가장 많고, 심장, 망막, 근골격에도 함유되어 있다(Heller-Stilb

등 2002). 인체에서는 망막, 골격근, 심장 근육, 뇌하수체, 혈소판, 림프아세포, 신장 조직에 상대적으로 많은 양이 존재하는 것으로 알려져 있다(Kendler BS 1989). 체내에서 혈중 타우린의 평균 농도는 45 μ M 수준이며(Vinton 등 1987), 인체에서 가장 풍부한 아미노산의 일종으로 면역체계 유지, 삼투압 조절, 망막 및 신경계 발달, 세포 칼슘농도 조절 및 항산화 활성 등 다양하고 중요한 역할을 수행한다(Grimble RF 2006).

타우린은 포유동물의 심장 조직에서 전체 유리아미노산의 약 50%를 차지하고 있으며, 능동수송계에 의해 막 내외의 농도를 유지하고 있다. 체내에서 총 함황아미노산의 약 10%를 차지하고 있으며, 근육조직에서 5 μ M/g, 뇌에서 2 μ M/g, 심장 조직에서 6 μ M/g의 농도로 존재하고, 모유에 함유된 유리 아미노산 중 글루탐산 다음으로 풍부한 아미노산이며, 심혈관계 조절과 중추신경계 등 흥분성 조직에서 중요한 역할을 한다(Gaull GE 1986).

타우린이 골조직으로 유입된다는 것은 Lubec 등(1997)에 의해 처음 알려졌다. 이전까지는 타우린이 골조직 중 골수에 극소량만이 존재한다고 알려져 있었으나, 이들의 연구에 의해 간, 신장 등 타우린의 농도가 높은 것으로 알려진 조직과 유사한 정도로 골기질로 유입된다는 것이 밝혀졌다. Terauchi 등(1998)도 면역해부 화학적 방법을 이용하여 골기질에 타우린이 존재한다고 보고하였다.

3. 타우린의 섭취

타우린의 주요 공급원은 동물성 단백질이며(Rana & Sanders 1986; Huxtable RJ 1992), 음식을 통해 하루 약 40~400 mg 정도 섭취가 가능하다(Rana & Sanders 1986). 식물성 식품에는 아주 적거나 없는 것으로 알려져 있으나, Park 등(1998)은 한국의 식물성 식품에 포함된 타우린의 함량을 조사한 결과, 동물성 단백질에 비해 타우린 함량은 매우 적으나, 식물계에도 타우린이 폭넓게 존재한다고 보고하였다. 이와 관련하여 채식주의자와 비채식주의자에 대해 연구한 Kim 등(1993)의 연구에서는 비채식주의자에 비해 채식주의자의 타우린 영양상태가 나빠 망막 이상 등이 나타났다고 보고하였다. 여러 문헌에 보고된 식품들의 타우린 함량을 식품별군로 각각 Table 1, Table 2, Table 3 및 Table 4에 정리하였다. 1966년도에 Roe DA가 11종류의 육류 및 어패류의 타우린 함량을 분석한 바 있다(Roe DA 1966). Kim 등(1999), Park & Park(1999) 및 Cho 등(2000)의 연구에서는 우유, 육류, 해산물, 유음료, 오징어 등에 포함된 타우린 함량을 조사한 바 있는데, 특히 Kim 등(1999)은 시판 우유에 평균적으로 약 1~2 mg/100 g의 농도로 포함되어 있고, 유음료에도 그와 비슷한 수준으로 함유되어 있다고 보고하였다. Zhao 등(1998)은 중국 음식의 타우린 함량과 중국 남성의 타우린 섭취량에 대해 보고하였는데, 지역

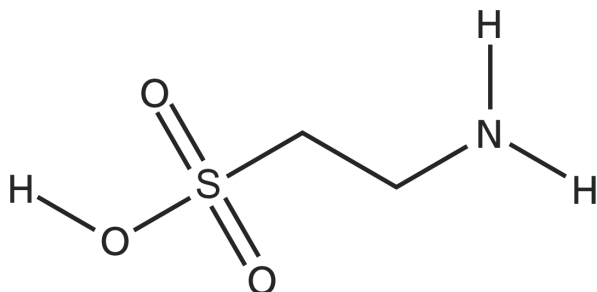


Fig. 1. Structure of taurine

Table 1. Taurine contents in aquatic products

(mg/100 g edible portion)

Food	Taurine	Reference
Spiral shell (<i>Rapana venosa</i>)	520	
Conch (<i>Neverita didyma</i>)	851	
Scallop (<i>Argopecten irradians</i> Lamark)	332	
Blood clam (<i>Anadara subvrenata</i>)	439~795	
Clam (<i>Venerupis variegata</i> Amygdala)	496	
Mussel (<i>Mytilus edulis</i>)	349	
Prawn (<i>Penaeus orientalis</i> , natural)	143	
Prawn (<i>Penaeus orientalis</i>)	110	
Zhou's prawn (<i>Palaemon carinicaude</i> , Exopalaemon)	181	
Swimming crab (<i>Portunus trituberculatus</i>)	279	
Cuttlefish (<i>Sepia esculenta</i>)	673	
Octopus (<i>Octopus vulgaris</i>)	380	
Ray (<i>Raja porosa</i> Gunther)	280	
Conger pike (<i>Muraenesox yamaguchiensis</i>)	193	Zhao et al. 1998
Flatfish (<i>Pleuronichthys cornutus</i>)	314	
Tonguefish (<i>Cynoglossus</i>)	256	
White Chinese croaker (<i>Argyrosomus argentatus</i>)	187	
Yellow croaker (<i>Argyrosomus argentatus</i>)	90	
Spotted maigre (<i>Nibea albiflora</i>)	225	
Baby croaker (<i>Collichthys niveatus</i> Jordan et Starks)	64	
Aquatic products Silver pomfret (<i>Pampus argenteus</i>)	41	
Hairtail (<i>Trichiurus haumela</i>)	38~75	
Yellow crucian carp (<i>Setipinna taty</i> , Valenciennes)	240	
Black scraper (<i>Navodon septentrionalis</i>)	196~309	
Grass carp (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	185	
Silver carp (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	90	
Crucian carp (<i>Carássiús auratus</i> Linnaeus)	205	
Variogated carp (<i>Aristichthys nobilis</i> Richardson)	94	
Pacific herring	431.9	
Pacific ocean perch	360.1	
Common sea bass	295.4	
Alabesque greenling	265.3	
Mackerel	260.3	
Flat fish	244.8	
Grouper	239.1	Kim et al. 1999
Pacific saury	227.3	
Spanish mackerel	223.6	
Yellow croaker	200.0	
Naked sand lance	182.4	
Pacific cod	181.4	
Alaska pollack, frozen	172.0	
Red sting ray	170.5	

Table 1. Continued

	Food	Taurine	Reference
	Bastard halibut	109.4	
	Hagfish	84.9	
	Yellow tail	78.9	
	Hair tail	74.8	
	Conger cel	35.6	
	Harvest fish	31.6	
	Small ark shell	1,078.8	
	Little neck clam	867.5	
	Hard-shelled mussel	851.5	
	Whelk	678.7	
	Sunset clam	503.8	
	Turban shell	476.6	
	Granulated ark shell	403.6	Kim et al. 1999
	Orient hard clam	333.6	
	Corb shell	285.4	
Aquatic products	Scallop	222.3	
	Jackknife	181.0	
	Common sea squirt	125.9	
	Webfoot octopus	1,305.6	
	Beka squid	733.5	
	Whip-arm octopus, thin arms	573.4	
	Common squid	358.1	
	Whip-arm octopus	340.2	
	Crab	316.5	
	Shrimp	79.3	
	Warty sea squirt	80.5	
	Cod	38.0	
	Haddock	28.9	
	Clams	252.5	Roe DA 1966
	Oysters	73.8	
	Shrimp	63.3	
	Scallops	238.3	

에 따라 타우린 일일 섭취량이 33.5 mg부터 79.7 mg까지 나타나, 그 차이가 있다고 보고하였다. 이 외에 모유, 미역에도 타우린이 풍부한 것으로 알려져 있으며, 식물성 식품 중에는 멧쌀, 백미, 감자, 녹두가 상대적으로 높은 타우린 함량을 지닌 것으로 보고되었다(Park 등 1998).

4. 타우린의 안전성

일반적으로 특정 아미노산이 과량으로 첨가된 식이를 장기간 섭취하게 되면 식이 섭취량이 감소되고, 성장이 저해되

는 것으로 알려져 있는데, 이러한 식이섭취량 및 성장의 저해 효과는 첨가된 아미노산의 종류에 따라 그 정도가 다르게 나타나고 있다(Park 등 1998). 그러나 타우린은 실험동물(Park 등 1998) 및 인체(Lubec 등 1997)를 대상으로 안전성 검증을 한 결과, 부작용이 없는 물질이라고 알려졌다. Park 등(1998)의 연구에서는 쥐를 대상으로 무콜레스테롤 식이에 타우린을 1.5% 보강시켜 급여한 결과, 혈중 타우린 농도가 44% 증가한 반면, 식이섭취량과 성장률에는 차이가 없었고, 혈중 필수아미노산 농도는 증가하였다고 보고하였다. Cha 등(1999)

Table 2. Taurine contents in meat products
(mg/100 g edible portion)

Food	Taurine	Reference
Foreham, pork	116	
Tenderloin, pork	122	
Liver, pig	42	
Heart, pig	201	
Kidney, pig	120	Zhao et al.
Tenderloin, beef	28	1998
Hindham, beef	64	
Foreleg, mutton	166~259	
Breast, chicken	26	
Leg, chicken	379	
Thigh, chicken	169.8	
Lean, dog	56.3	
Ham, pork	55.1	
Thigh, duck	52.2	
Meat Loin, beef	37.9	
products Heart, pork	192.4	
Gizzard, chicken	118.9	
Intestine, chicken	73.1	Kim et al.
Liver, chicken	65.8	1999
Small intestine, beef	64.5	
Liver, beef	63.8	
Small intestine, pork	54.8	
Liver, pork	45.1	
Heart, beef	31.6	
Stomach, beef	11.3	
Chicken	32.4	
Pork	51.4	
Lamb	48.2	Roe DA
Veal	19.5	1966
Beef	30.2	

은 사람에게 1일 6 g의 타우린을 2주간 복용시킨 결과, 혈장 타우린 농도가 65% 증가하였으나, 다른 필수아미노산 농도의 변화는 없었다고 보고하였다. Park 등(2001)은 인체를 대상으로 실험한 결과, 타우린 복용 2주 후 혈중 타우린 농도가 70% 증가했으나 혈장 인지질 및 지방산 조성에 영향이 없었다고 보고하였다.

단회 투여에 의한 급성 독성 지표인 반수치사량(LD₅₀) 실험 결과, 마우스에게 한계투여량인 7 g/kg 체중 이상, 토끼에게 10 g/kg 체중 이상 투여하여도 사망 동물이 없어 매우 안전한 물질로 확인되었다. 장기간 독성 실험에서도 흰쥐에게

Table 3. Taurine contents in plant products
(mg/100 g edible portion)

Food	Taurine	Reference
Rice (well-milled)	2.54	
Black rice (non-glutinous)	0.10	
Rolled barley	3.24	
Sweet corn (steamed)	0.26	
Wheat flour (medium)	0.45	
Potatoes (raw)	1.16	
Sweet potatoes (raw)	0.26	
Kidney beans (raw)	0.56	
Mungbeans (dried)	4.56	
Soybean milk A	0.18	
Soybean milk B	1.63	
Soybean milk C	0.59	
Almond	2.30	
Gingko nuts (raw)	0.67	
Wallnuts (dried)	1.99	
Plant Sesame (dried)	2.30	Park et al.
products Perilla seeds (dried)	3.01	1998
Eggplant	1.21	
Green pepper	1.10	
Lotus root	0.95	
Garlic bulb (raw)	1.34	
Cabbage	0.78	
Onion	0.15	
Persimmon (hard)	0.64	
Persimmon (dried)	1.94	
Satsuma mandarin	0.27	
Lemon	0.55	
Grapefruit	0.47	
Banana	0.26	
Peach (white, canned)	0.24	
Mango (canned)	0.61	
Melon	0.30	

1~10% 타우린을 함유한 식이를 6~7주, 마우스에게 5% 타우린을 함유된 식이를 14주 동안 먹여도 아무런 독성이 나타나지 않았다고 보고되었다(Olney & Hopas 1970; Takahashi 등 1972). 타우린은 Park 등(1998)의 연구에서 과량 섭취해도 식이 섭취량 및 체중 증가율에 변화를 초래하지 않으며, 주요 장기의 기능에도 영향을 미치지 않는다고 하였다.

5. 타우린의 영양

Table 4. Taurine contents in milk products
(mg/100 g edible portion)

Food	Taurine	Reference	
Milk	N milk	1.81	
	E milk	1.70	
	M milk	1.24	Kim et al. 1999
	Y milk	1.07	
	S milk	1.03	

앞에서 살펴본 바와 같이, 모유에도 타우린이 풍부한 것으로 알려졌는데, 그 이유 중 하나는 타우린이 신경세포 성장과 심혈관계 조절, 중추신경계 등 흥분성 조직에 중요한 역할을 담당하고 있기 때문인 것으로 보인다(Gaull GE 1986). 모유에서는 glutamate 다음으로 풍부한 유리아미노산이며, Aerts & van Assche(2002)는 태반에 산모의 혈액보다 50~100배 이상 타우린 함량이 많은 것으로 보고하였다.

하지만 신생아나 미숙아의 경우 타우린 합성에 중요한 cysteine dioxygenase나 cysteine sulfinic acid decarboxylase가 부족하여 타우린 합성이 충분하지 못할 뿐만 아니라, 신세노관 세포가 미성숙하여 타우린이 재흡수되지 못하고 소변 중으로 과잉 배설될 수 있으므로 모유로부터 공급받아야 한다(Zelikovic 등 1990).

Geggel 등(1985)은 장기간 경정맥영양을 받는 어린이에게 혈장 타우린 수준이 감소하고 망막전도에 이상이 있음을 보고하였다. 또한 Gaull 등(1977)은 타우린이 없는 조제분유로 키운 미숙아, 영아, 장기간의 경정맥영양을 받는 영아와 성인에서 혈장, 소변의 타우린이 감소된다고 보고하였다. 타우린이 포함되지 않은 총 비경구영양(total parenteral nutrition; TPN) 용액을 장기간 주입받은 환자의 경우 혈장과 소변에서 타우린의 농도가 낮고(Vinton 등 1987; Zelikovic 등 1990), 망막 전도에 이상이 발생한다고 보고되었다(Geggel 등 1985).

사람의 경우, 체내에서 합성되는 타우린의 양은 50~125 mg/일로 매우 적은 수준이고, 외상이나 패혈증과 같은 심각한 질병이 있는 경우는 합성되는 양이 감소한다(Redmond 등 1998). 타우린 함량이 적은 음식을 섭취하는 채식주의자(Lourenco & Camilo 2002), 타우린 합성 능력이 떨어지고 요구량은 높은 미숙아(Redmond 등 1998)와 cysteine과 타우린의 함량이 극히 적은 장관의 영양을 하는 환자(Geggel 등 1985) 및 간 기능 저하나 만성 신부전이 있는 환자들에게서 타우린 결핍이 유발될 수 있다(Cooper 등 1984).

6. 타우린의 체내 합성

타우린의 생합성은 합황아미노산의 대사와 관련되어 있다 (Fig. 2). 체내의 메티오닌이나 시스테인 등의 합황아미노산

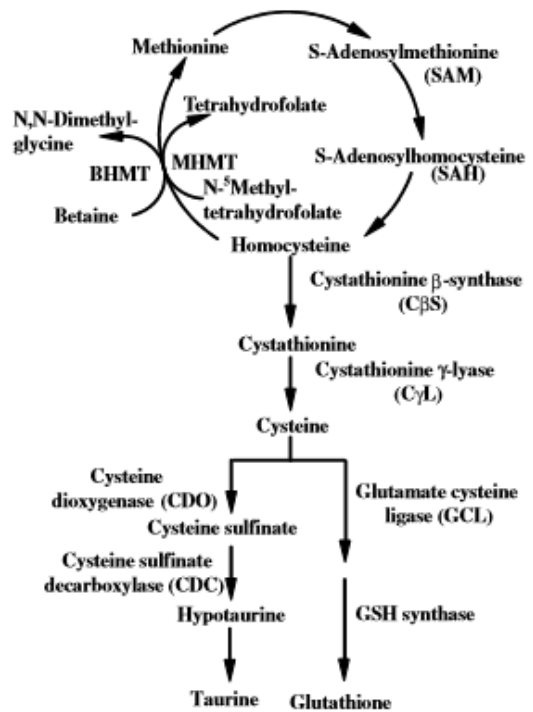


Fig. 2. Biosynthesis of taurine (Kim et al. 2005)

이 효소적 산화와 전변을 거쳐 합성되게 된다(Jacobsen & Smith 1968). 타우린 생합성 과정을 좀 더 자세히 살펴보면 합황아미노산인 cysteine이 cysteine dioxygenase에 의해 cysteinesulfinate가 되고, decarboxylase와 oxidase에 의해 중간산물인 hypotaurine과 cysteine sulfinate가 생성된다. 이러한 중간산물을 통해 타우린은 대부분 간에서 합성되며, 비타민 B₆가 보조인자로 작용하고, 비타민 B₆가 결핍되면 타우린 합성이 저해된다(Fujihira 등 1974). 타우린의 합성과정은 각 조직에서 다소 다른 경로를 이용한다고 알려져 있다. 뇌에서는 합성경로로 신경억제물질인 hypotaurine이나 신경활성물질인 cysteic acid를 선택적으로 사용하여 신경조절기능을 담당하면서 조직 내 필요한 양의 타우린을 합성한다(Arzate 등 1986). 간에서는 cysteine-sulfinate에서 hypotaurin을 합성하는 경로가 타우린 합성에 유리하므로 cysteinesulfinate decarboxylase(CSD)에 의해 decarboxylation되어 hypotaurine을 합성하는 과정이 주된 타우린 합성 경로이다. 체내 타우린 합성은 대부분 간에서 이루어지고, 그 합성량은 CSD 활성에 의존하며, CSD는 식이의 합황 아미노산에 의해 활성화 될 수 있다(Hosokawa 등 1988). CSD는 여성보다는 남성의 간에서 활성이 높으며, 여성호르몬의 일종인 estradiol을 주사하면 그 활성이 감소한다(Jacobsen & Smith 1968). Thyroxine 또한 CSD의 활성을 감소시키며, 반면 hydrocortisone은 CSD의 활성을 증가시킨다(Jacobsen & Smith 1968). 또한 cysteine은 뇌와 안구 조직에 독성을 나타내므로(Olney

& Hopas 1970) 체내에서 단백질 합성에 이용되거나, 글루타치온으로 전환된다(Gaitonde MK 1967). 이때 cysteine 농도가 100 μ M 이상이 될 경우 sulfate로 산화시키거나, 타우린을 합성하는데 이용한다(Kim JH 1999).

7. 타우린 수송체

흡수 또는 합성된 타우린은 물리, 화학적 특성에 따라 세포막을 통과할 때 확산에 의존하기 보다는 수송체를 통해 세포 내로 들어가게 된다. 타우린 수송체는 Smith 등(1992)과 Liu 등(1992)이 각각 마우스와 랫의 뇌세포에서 타우린 수송체를 클로닝함으로써 발견하였다. 이전부터 뇌세포 내부에 외부보다 400배 더 많은 타우린이 존재하며, HeLa 세포에서는 7,000배 정도의 높은 농도로 세포질에 과량의 타우린이 존재한다는 사실로 미루어, 세포 외부로부터 내부로 타우린을 수송할 수 있는 단백질이 세포막에 존재할 것이라고 추정되어 왔다.

사람의 타우린 수송체 유전자는 Taut로 갑상선 유전자에서 최초로 분리되었다(Jhang 등 1993). 사람의 태반으로부터 클로닝한 Taut cDNA는 대략 620개의 아미노산으로 이루어져 있으며, 69.8 kDa의 분자량을 갖는다(Ramamoorthy 등 1994). 이들과 인간의 조직에서 얻은 RNA로 northern blotting을 시행한 결과, 태반과 근육에 타우린 수송체 유전자가 가장 풍부하며, 심장, 뇌, 폐, 신장, 췌장에도 상당량이 존재하고, 간에는 미량이 존재한다고 한다. 타우린 수송체는 세포 외부의 Na^+ 이온과 Cl^- 이온, 타우린을 공동 수송한다. 이온과 타우린의 수송 비율은 세포에 따라 다르나, $\text{Na}^+:\text{Cl}^-:\text{taurine}$ 의 비율은 대략 2:1:1이다. 한편, 타우린과 구조가 유사한 β -alanine, β -aminobutyric acid, gamma-amino butyric acid(GABA) 등이 타우린 수송체에 경쟁적으로 작용하기 때문에(Goldman & Scriver 1967) 흡수되는 타우린의 양은 제한될 수 있으며, 이에 따라 적은 양으로는 생리 활성을 나타내기 어려운 부분도 존재한다. 반면, GABA 수송체를 통해서도 타우린이 일부 수송될 수 있다.

8. 타우린의 배설과 배출

체내 타우린 농도의 균형은 섭취량, 생합성 양과 소변으로 배설되는 양에 의해 결정된다. 우선 타우린의 섭취가 부족할 경우, 신장에서의 재흡수가 증가되어 타우린의 배설량이 감소됨으로 체내 타우린 pool을 유지한다(Rozen & Scriver 1982). 또한 과섭취된 경우에는 다른 성분들과 마찬가지로 소변으로 배설된다(Hayes & Sturman 1981).

타우린이 배출되는 또 다른 경로는 전술한 바 있듯이 담즙산과 포함되어 담즙의 형태로 배출되는 경로이다. Sturman 등(1975)이 인체를 대상으로 53S-taurine을 사용한 대사 연구에

의하면 95%의 taurine이 뇨로 배설되고, 나머지 5% 정도가 담즙을 통해 배출되는 것으로 보고하였다. 타우린과 conjugated 된 담즙산은 장내 박테리아 작용에 의해 타우린과 담즙산으로 deconjugation 되고, 타우린은 다시 장내 박테리아에 의해 빠른 속도로 sulfate와 암모니아로 분리된다. Sulfate는 대부분 소장벽을 통해 재흡수된 후 소변을 통해 배설되므로, 대변으로 배출되는 타우린의 양은 매우 적다(Hayes & Sturman 1981).

9. 에너지 발생과 타우린

Suzuki 등(2011)에 의해 타우린의 새로운 기능이 발견되었는데, 이는 에너지 발생과 관련된 것이다. 이에 따르면 미토콘드리아 내 tRNA에 타우린이 결합하여야 하며, 이 과정을 거쳐야 ATP를 생성할 수 있다. tRNA에 이상이 생길 경우 근육장애가 발생하여 MELAS(Mitochondrial Encephalopathy, Lactic Acidosis and Stroke-like Syndrome) 또는 MERRF(Myoclonic Epilepsy with Ragged Red Fibers)라는 질병이 발생한다(Suzuki 등 2011).

10. 타우린이 운동에 미치는 영향

운동을 통해 에너지를 소모하고 신체 대사가 더 활발해지게 되며, 이 과정에서 타우린 역시 소모되게 된다. Cuisinier 등(2001)은 마라톤 후 소변에서 타우린 배출이 증가하였음을 보고하였으며, 이는 운동 중 근 손상의 지표로 사용될 수 있고, 타우린이 근육으로부터 방출될 수 있음을 암시한다고 하였다. Matsuzaki 등(2002)도 운동에 의해 쥐 골격근의 타우린 농도가 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 따라서 운동에 의해 근육의 타우린 농도가 감소하면 탄수화물 대사에 부정적으로 작용할 수 있다.

타우린을 투여하면 혈장 및 체내 기관에서 타우린 농도가 증가하며(Durelli 등 1982), 이는 쥐의 골격근을 이용한 실험에서도 보고된 바 있다(Piermo 등 1998). Yatabe 등(2003)은 쥐에게 타우린을 투여한 후 운동을 실시하여 골격근에서의 타우린 농도를 관찰한 결과, 감소 정도가 경감되고, 탈진 시까지의 운동 시간이 유의하게 증가되었다고 보고하였다. Dawson 등(2002)은 타우린 투여에 의해 운동수행능력이 향상되었다는 결과를 제시하였다. 따라서 지속적인 운동에 의해서는 근육 내 타우린이 감소하지만, 타우린을 보충해줌으로써 이러한 감소를 지연시킬 수 있을 것으로 보인다.

Geib 등(1994)의 연구에서는 타우린 음료 섭취 후 최대하 운동에서 심박수와 노르에피네프린이 감소되고, 지구성 운동 능력이 증가되었다고 보고하였다. Baum & Weiss(2001)는 잘 훈련된 운동선수에게 타우린이 포함된 음료를 섭취하게 한 후, 그 효과를 관찰한 결과 심박출량이 증가한다고 보고하였다. Kim YM(2012)은 운동 120분 전 타우린과 과당을 복합적으로 섭취하였을 경우, 운동시간 증가와 운동 시 lactate 감소

에 효과 있다고 보고하였다. Kim HH(2004)는 쥐에게 고지방 식, 운동, 타우린 섭취를 적용한 결과, 글리코겐의 저장량이 증가되었으며, 운동 시 증가되는 간에서의 malondialdehyde 증가가 억제되었을 가능성을 시사하였다. Cuisinier 등(2001)은 또한 타우린에 의해 근원섬유의 칼슘 민감성과 골격근 수축의 역학적 특성이 좌우된다고 보고하였다.

11. 타우린의 기능성

타우린은 담즙산 합성 효소인 cholesterol 7 α -hydroxylase의 분비를 조절하여 콜레스테롤을 담즙으로 전환 및 배출함으로써 혈중 지질을 감소시킬 수 있다(McKee JR 1999). 이러한 과정을 통해 타우린이 지방의 유화와 흡수를 돕고, 콜레스테롤과 중성지방을 감소시킨다(Huxtable RJ 1992). 그러므로 타우린이 결핍될 경우 담석이 생길 수 있다. Park 등(1998)의 연구에서는 흰쥐에게 타우린을 보강한 결과 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, 중성지방, 간 조직의 지방구 크기와 수가 감소한 것으로 보고하여 타우린의 지방대사 개선 효과를 확인하였다.

타우린은 중추신경계에서 그 농도가 높으며, 신경세포의 분화와 성장을 촉진한다. 또한 신경과 관련된 여러 질병(trauma, aging, 알츠하이머병 등)과도 관계가 있으며(Lombardini JB 1992), 알코올에 의한 숙취를 감소시키는 것으로 알려져 있다. 또한 골조직에서도 고농도로 존재하며, 칼슘조절인자로서 뼈 용해작용 저감과 뼈 형성작용을 하는 것으로 보고되었다(Koide 등 1999).

타우린은 항산화 효과가 있어 여러 종류의 라디칼을 포착하는 항산화제로 작용하며(Ogasawara 등 1993), 간암의 발생 과정 중 타우린의 공급은 산화적 스트레스를 억제하고 세포막을 안정화시킨다고 보고되었다(You & Chang 1998).

체내에서 타우린이 고농도로 존재하는 곳 중의 하나가 망막의 광 수용체 부분이며, 태아와 영유아에 있어서 시력 발달에 작용하고(Sturman 등 1975), 당뇨병성 또는 노인성 백내장 발병을 지연시키는 것으로 추정되는데, 이는 타우린의 항산화 기작에 의한 것으로 보인다(Son HY 2000).

Dawson 등(2000)의 보고에 의하면, 타우린은 항동맥경화 및 항혈전과 관련하여 심순환기 질환 예방효과가 있다. 또한 염증이 발생하였을 경우, 면역 과정에서 외부균을 방어하기 위해 활성산소가 발생되는데, 타우린은 활성산소와 반응하여 타우린 클로라민을 생성함으로써 세포는 보호하고, 항산화효소는 더 많이 생성한다고 보고되었다(Kim 등 1996).

타우린은 체내에서 막 안정성을 유지하게 하고(Pasantes-Morales 등 1985), 삼투압을 조절하며, 해당작용과 글리코겐 합성을 촉진한다. Matsuzaki 등(2002)은 운동 후 쥐 골격근의 타우린 농도가 감소하였다고 보고하였으며, 반대로 타우린을 투여한

후 운동을 시키면 골격근 내 타우린 농도 감소가 경감되고 운동 시간이 증가하는 것으로 보고된 바(Yatabe 등 2003), 타우린은 운동능력에도 영향을 미친다고 할 수 있다.

타우린의 세포막 안정성 유지와 삼투압 조절 기능은 수정체에서 삼투압 스트레스로 인한 변화에 대해서도 보호작용을 할 것으로 생각된다(Kasuya 등 1992). Kim & Kim(2013)은 타우린의 항암 효과에 관해 연구한 바, 유방암세포인 MCF-7에 항암제의 일종인 cisplatin과 타우린을 처리하였을 때의 효과를 관찰한 결과, cisplatin 단독 처리보다는 타우린을 같이 처리하는 것이 cisplatin의 부작용을 감소시키면서 항암 효과는 증가시킬 수 있을 것으로 보고하였다.

이 외에도 타우린은 GABA 유사작용, 저산소증에 의한 뇌 세포 상해 보호, 간질, 당뇨 및 골격근 장애치료 등 많은 생리작용을 조절한다(Thurston 등 1980; Hiramatus 등 1983; Schuller-Levis 등 1994; Franconi 등 2006; Trip 등 2006) 타우린의 급여가 체내 셀레늄의 배설을 감소시켰다는 보고(Kim MJ 2000)와 인지능력 향상 효과에 대한 보고도 있다(Barthel 등 2001).

요약 및 결론

지금까지 고찰해 본 바와 같이, 타우린은 체내에서 가장 많이 분포하고 있는 β -아미노산이며, 동물성 단백질에 많이 포함되어 있고, 체내에서 함황아미노산의 대사과정과 연관되어 합성될 수 있다. 생리적으로는 항산화, 에너지 발생에 관여, 지질 배설 등의 기능을 바탕으로 지질대사 관련 수치들의 개선, 백내장·녹내장 등의 악화 방지, 신경 세포의 분화와 발달, 뼈 및 칼슘 대사, 간 보호, 심순환기 질환 개선, 운동능력 향상, 염증 치료와 면역 증강 등의 효과가 있는 것으로 밝혀졌으며, 이 외에도 다양한 기능이 보고되고 있다. 최근에는 항암 효과에 관한 문헌도 발표된 바, 앞으로 항암과 관련된 연구와 더불어 아직 알려지지 않은 타우린의 다양한 효과를 밝히는 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Aerts L, van Assche GA. 2002. Taurine and taurine-deficiency in the perinatal period. *J Perinat Med* 30:281-286
- Arzate ME, Moran J, Pasantes-Morales H. 1986. Inhibitory effect of taurine on 4-aminopyridine-stimulated release of labelled dopamine from striatal synaptosomes. *Neuropharmacology* 25: 689-694
- Barthel T, Mechau D, Wehr T, Schnittker R, Liesen H, Weiss M. 2001. Readiness potential in different states of physical activation and after ingestion of taurine and/or caffeine con-

- taining drinks. *Amino Acids* 20:63-73
- Baum M, Weiss M. 2001. The influence of taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids* 20:75-82
- Brosnan JT, Brosnan ME. 2006. The sulfur-containing amino acids an overview. *J Nutr* 136:1636S-1640S
- Cha HS, Oh JY, Park TS. 1999. Effects of oral taurine supplementation on plasma concentration and urinary excretion of free amino acid in healthy female adults. *Korean J Nutr* 32:158-165
- Cho SY, Joo DS, Park Sh, Kang HJ, Jeon JK. 2000. Changes of taurine content in squid meat during squid processing and taurine content in the squid processing waste water. *J Korean Fish Soc* 33:51-54
- Cooper A, Betts JM, Pereira GR, Ziegler MM. 1984. Taurine deficiency in the severe hepatic dysfunction complicating total parenteral nutrition. *J Ped Surg* 19:462-466
- Cuisinier C, Ward RJ, Francaux M, Sturbois X, de Witte P. 2001. Changes in plasma and urinary amino acid in runners immediately and 24h after a marathon. *Amino Acids* 20:13-23
- Dawson R, Biasetti M, Messina S, Dominy J. 2002. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. *Amino Acids* 22:309-324
- Dawson RJ, Liu S, Jung B, Messina S, Eppler B. 2000. Effects of high salt diets and taurine on the development of hypertension in the stroke-prone spontaneously hypertensive rat. *Amino Acids* 19:643-645
- Durelli L, Mutani R, Fassio F, Satta A, Bartoli E. 1982. Taurine and hyperexcitable coupling and Cl-conductance of rat skeletal muscle. *Eur J Pharmacol* 296:215-222
- Franconi F, Loizzo A, Ghirlanada G, Seghieri G. 2006. Taurine supplementation and diabetes mellitus. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 9:32-36
- Fujihira E, Ohshima T, Ushioda I, Takahashi N. 1974. Effect of biliary drainage on bile acid conjugation with taurine in vitamin B₆-deficient rats. *Cham Pharm Bull* 22:1174-1178
- Gaitonde MK. 1967. A spectrophotometric method for the direct determination of cysteine in the presence of other naturally occurring amino acids. *Biochem J* 104:627-633
- Gaull GE, Rassin DK, Raiha NCR, Heinonen K. 1977. Milk protein quantity and quality in low-birthweight infants III. Effect on sulfur amino acids in plasma and taurine. *J Pediatr* 90:348-355
- Gaull GE. 1986. Taurine: Biological update. *Ann Rev Biochem* 55:427-453
- Geggel HS, Ament ME, Heckenlively JR, Martin DA, Kopple JD. 1985. Nutritional requirement for taurine in patients receiving long-term parenteral nutrition. *N Engl J Med* 312:142-146
- Geib KR, Jeter I, Falke W, Hamm M, Waag KL. 1994. The effects of a taurine-containing drink on performance in 10 endurance-athletes. *Amino Acids* 7:45-56
- Goldman H, Scriver CR. 1967. A transport system in mammalian kidney with preference for β -amino compounds. *Pediatr Res* 1:212-213
- Grimble RF. 2006. The effects of sulfur amino acid intake on immune function in humans. *J Nutr* 136:1660S-1665S
- Hayes KC, Sturman JA. 1981. Taurine in metabolism. *Annu Rev Nutr* 1:401-425
- Heller-Stilb B, Van Roeyen C, Rascher K, Hartwig HG, Huth A, Seeliger MW, Warskulat U, Haussinger D. 2002. Disruption of the taurine transporter gene (Taut) leads to retinal degeneration in mice. *FASEB J* 16:231-233
- Hiramatus M, Kabuto H, Mori A. 1983. Effects of taurine and taurocyamine on convulsions induced by dibenzoylguanidine and brain monoamine level in mouse brain. *Sulfur Amino Acids* 6:33-39
- Hosokawa Y, Niizeki S, Tojo H, Sato I, Yamaguchi K. 1988. Hepatic cysteine dioxygenase activity and sulphur amino acid metabolism in rats: possible indicators in the evaluation of protein quality. *J Nutr* 118:456-461
- Huxtable RJ. 1992. Physiology actions of taurine. *Physiol Rev* 72:101-163
- Jacobsen JG, Smith LH. 1968. Biochemistry and physiology of taurine and taurine derivatives. *Physiol Rev* 48:429-511
- Jhang SM, Fithian I, Smanil P, McGill J, Tong Q, Mazzaferri EL. 1993. Cloning of human taurine transporter and characterization of taurine uptake in thyroid cells. *FEBS Letters* 318:139-144
- Kasuya M, Itoi M, Kobayashi S, Sunaga H, Suzuki KT. 1992. Changes of glutathione and taurine concentrations in lenses of rat eyes induced by galactose-cataract formation or ageing. *Exp Eye Res* 54:49-53
- Kendler BS. 1989. Taurine: an overview of its role in preventive medicine. *Prev Med* 18:79-100
- Kim C, Park EK, Quinn MR, Shuller-Levis G. 1996. The production of superoxide anion and nitric oxide by cultured murine leukocytes and the accumulation of TNF- α in the conditioned media is inhibited by taurine chloramine. *Immuno-*

- pharmacol* 34:89-95
- Kim ES, Kim JS, Moon HK. 1999. Taurine contents in commercial milks, meats and seafoods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28:16-21
- Kim ES, Lee JS, Choi KS, Cho KH, Seol MY, Park MA, Lee KH. 1993. Longitudinal study on taurine intake of breast-fed infants from Korea non-vegetarian and lacto-ovo-vegetarian. *Korean J Nut* 26:967-973
- Kim HH. 2004. Effects of exercise training and taurine ingestion on lipid metabolism, glycogen storage and antioxidant defense system in high fat-fed rats. MS Thesis, Kyungpook National Univ. Korea
- Kim JH. 1999. The effect of dietary taurine supplementation on plasma, liver lipid concentrations and free amino acid concentrations in rats fed a high-cholesterol diet. MS Thesis, Keimyung Univ. Korea
- Kim MJ. 2000. The effect of dietary taurine supplementation on plasma, liver lipid concentrations and mineral metabolism in rats fed alcohol. MS Thesis, Keimyung Univ. Korea
- Kim T, Kim A. 2013. Anticancer effects and mechanisms of co-treatment of cisplatin with taurine in MCF-7 cells. *Yakhak Hoeji* 57:18-23
- Kim YC, Jung SJ, Kim SK. 2005. Effect of betain supplementation on change in hepatic metabolism of sulfur-containing amino acids and experimental cholestasis induced by α -naphthylthiocyanate. *Food Chem Toxicol* 43:663-670
- Kim YM. 2012. Effect of combined taurine and fructose supplementation on both exercise capacity and energy metabolism. Ph.D. Thesis, Kyung Hee Univ. Korea
- Koide M, Okahashi N, Tanaka R, Shibasaki K, Yamazaki Y, Kaneko K, Veda N, Ohguchi M, Ishihara Y, Noguchi T. 1999. Inhibition of experimental bone resorption and osteoclast formation and survival by 2-aminoethanesulphonic acid. *Arch Oral Biol* 44:711-719
- Liu QR, Lopez-Corcuera B, Nelson H, Mandiyan S, Nelson N. 1992. Cloning and expression of a cDNA encoding the transporter of taurine and beta-alanine in mouse brain. *Proc Natl Acad Sci* 89:12145-12149
- Lombardini JB, Schaffer S, Huxtable JR. 1998. Taurine: Cellular and regulatory mechanism. In *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Plenum Press
- Lombardini JB. 1992. Review: Recent studies on taurine in the central nervous system. In *Taurine*. pp. 245-251. Plenum Press
- Lourenco R, Camilo ME. 2002. Taurine: A conditionally essential amino acid in humans? An overview in health and disease. *Nutr Hosp* 17:262-27
- Lubec B, Ya-hua Z, Pertti S, Pentti T, Kitzmuller E, Lubec G. 1997. Distribution and disappearance of the radiolabeled carbon derived from L-arginine and taurine in the mouse. *Life Sci* 60:2373-2381
- Matsuzaki Y, Miyazaki T, Miyakawa S, Bouscarel B, Ikegami T, Tanaka N. 2002. Decreased taurine concentration in skeletal muscles after exercise for various durations. *Med Scid Sports Exerc* 34:793-797
- McKee JR. 1999. *Biochemistry: An Introduction*. 2nd ed. Life Science Publication Co. pp. 219-220
- Ogasawara M, Nakamura T, Koyama I, Nemoto M, Yoshida T. 1993. Reactivity of taurine with aldehydes and its physiological role. *Chem Pharm Bull* 41:2172-2175
- Olney JW, Hopas O. 1970. Brain damage in infant mice following oral intake of glutamate, aspartate, or cysteine. *Nature* 227:609-611
- Park JE, Cha HS, Park TS. 1998. Effect of dietary taurine of glycine supplementation on plasma and liver free amino acid concentrations in rats. *Korean J Nutr* 31:126-134
- Park T, Kang H, Park JG, Cho SH. 2001. Dietary intakes, plasma levels and urinary excretions of taurine in adolescents and adults residing in Seoul area. *Korean J Nutr* 34:440-448
- Park T, Lee KS, Um YS. 1998. Dietary taurine supplementation reduces plasma and liver lipid cholesterol and triglyceride concentrations in rats fed an high-cholesterol diet. *Nutr Res* 18:1559-1571
- Park T, Park JE, Chang JS, Son MW, Sohn KH. 1998. Taurine contents in Korean foods of plant origin. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27:801-807
- Park T, Park JE. 1999. Taurine contents in beverage milk products, sugars and condiments consumed by Koreans. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28:9-15
- Pasantes-Morales H, Wright CE, Gaull GE. 1985. Taurine protection of lymphoblastoid cells from iron-ascorbate induced damage. *Biochem Pharmacol* 34:2205-2207
- Pierno S, De Luca A, Camerino C, Huxtable RJ, Camerino DC. 1998. Chronic administration of taurine to aged rats improves the electrical and contractile properties of skeletal muscle fibers. *J Pharmacol Exp Ther* 286:1183-1190
- Ramamoorthy S, Leibach FH, Mahesh VB, Han H, Yang-Feng T, Blakely RD, Ganapathy V. 1994. Functional characterization

- and chromosomal localization of a cloned taurine transporter from human placenta. *Biochem J* 300:898-900
- Rana SK, Sanders TA. 1986. Taurine concentration in the diet plasma, urine and breast milk of vegans compared with omnivores. *Br J Nutr* 56:17-27
- Redmond HP, Stapleton PP, Neary P. 1998. Immunonutrition: The role of taurine. *Nutr* 14:599-604
- Roe DA. 1966. Taurine intolerance in Psoriasis. *J Invest Dermatol* 46:420-430
- Rozen R, Scriver CR. 1982. Renal transport of taurine adapts to perturbed taurine homeostasis. *Proc Natl Aca Sci* 79:2101-2105
- Schuller-Levis GB, Levis WR, Ammazalorso M, Nosrati A, Park E. 1994. Mycobacterial lipoarabinomannan induces nitric oxide and tumor necrosis factor alpha production in a macrophage cell line: down regulation by taurine chloramine. *Infect Immun* 62:4671-4674
- Smith KE, Borden LA, Wang CH, Hartig PR, Brancheck TA, Weinshank RL. 1992. Cloning and expression of a high affinity taurine transporter from rat brain. *Mol Pharmacol* 42:563-569
- Son HY. 2000. Effects of taurine on glucose-induced diabetic cataractogenesis. MS Thesis, Seoul Natl Univ. Korea
- Sturman JA, Hepner GW, Hofmann AF, Thomas PJ. 1975. Metabolism of [35S]taurine in man. *J Nutr* 105:1206-1214.
- Suzuki T, Nagao A, Suzuki T. 2011. Human mitochondrial tRNAs: Biogenesis, function, structural aspects, and diseases. *Annu Rev Genet* 45:299-329
- Takahashi H, Mori T, Fujihira E. 1972. Long-term feeding of taurine in rats. *Pharmacometrics* 6:529-535
- Terauchi A, Nakazaw A, Johkura K, Yan L, Usuda N. 1998. Immunohistochemical localization of taurine in various tissues of the mouse. *Amino Acids* 15:151-160
- Thurston JH, Hauhart RE, Dirgo JA. 1980. Taurine: a role in osmotic regulation of mammalian brain and possible clinical significance. *Life Sci* 26:1561-1528
- Tiedeman F, Gmelin L. 1827. Einige neue bestandtheile der galle des ochsen. *Ann Physik Chem* 9:326-327
- Trip J, Drost G, van Engelen BG, Faber CG. 2006. Drug treatment for mytonia. *Cochrane Database Syst Rev* 25:CD004762
- Vinton NE, Laidlaw SA, Ament ME, Kopple JD. 1987. Taurine concentration in plasma, blood cells, and urine of children undergoing long-term parenteral nutrition. *Pediatr Res* 21:339-403
- Yatabe Y, Miyakawa T, Matsuzaki Y, Ochiai N. 2003. Effects of taurine administration in rat skeletal muscles on exercise. *J Orthop Sci* 8:415-419
- You JS, Chang KJ. 1998. Taurine protects the liver against lipid peroxidation and membrane disintegration during rat hepatocarcinogenesis. *Adv Exp Med Biol* 442:105-112
- Zelikovic I, Chesney RW, Friedman AL, Ahlofrs CE. 1990. Taurine depletion in very low birth weight infants receiving prolonged total parenteral nutrition. *J Pediatr* 116:301-306
- Zhao X, Jia J, Lin Y. 1998. Taurine content in Chinese food and daily taurine intake of Chinese man. *Taurine 3*, Springer Science Business Media, NY

Received 1 May, 2015
Revised 11 May, 2015
Accepted 11 June, 2015