

## 사람의 체내에서 타우린의 역할에 관한 연구

윤진아 · 신경옥\* · †최경순\*

배화여자대학교 식품영양과, \*삼육대학교 식품영양학과

### Studies on the Function of Taurine: Review

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

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 an abundant amino acid in many animals, including humans. Relatively large amounts of taurine are found in leukocytes, heart, muscles, retinas, kidneys, bones, and liver. Taurine has antioxidant effects; it reacts with hydrogen peroxide to prevent oxidation of the cell membrane. Taurine enhances the effects of anticancer drugs, while also reducing side effects, and taurolidine, a taurine derivative, has been shown to exhibit anti-cancer effects without notable side effects in several types of cancer. Taurine aids in cholesterol metabolism by increasing the rate of synthesis of bile acids, and, thus, reduces triglyceride levels. In addition, taurine is involved in the growth and differentiation of nerve cells and is associated with some neurological disorders. Taurine aids in bone formation and prevents bone dissolution. Moreover, taurine prevents liver damage from a variety of drugs and, thus, protects the liver. Taurine is involved in the development and function of the retina and lens. It also has anti-atherosclerotic and anti-thrombotic effects that protect against cardiovascular disease. Taurine may have additional physiological functions, and warrants further investigation.

Key words: taurine, antioxidant effect, anti-cancer, anti-aging

### 서 론

타우린은 소의 담즙에서 최초로 발견된 아미노산이며(Tiedeman & Gmelin 1827),  $\beta$ -carbon에 아미노기가,  $\alpha$ -carbon에 황산기가 결합되어 있는  $\beta$ -아미노산이자 함황 아미노산의 한 종류이다. 주로 무척추 해양동물에 그 함량이 높아(Kim 등 1999), 기존에는 이들을 대상으로 한 연구가 주로 진행되었으나, Jacobsen & Smith(1968)가 타우린 및 그 유도체에 관한 보고서를 발표한 이래로 포유동물과 사람을 대상으로 한 여러 연구가 보고되었다. 타우린의 주요 급원은 동물성 식품이며(Rana & Sanders 1986), 식물성 식품에는 함유되어 있지 않거나, 그 함량이 매우 적은 편이다(Park 등 1998c). 모유에서는 글루탐산 다음으로 풍부한 유리 아미노산이기도 하며, 이는

신생아의 신경 발달과 심혈관계 조절에 타우린이 관여하기 때문인 것으로 알려져 있다(Gaull GE 1986). 식물성 식품에는 거의 존재하지 않기 때문에, 채식주의자의 경우 타우린의 결핍으로 인해 망막 이상이 발생할 수 있으며(Kim 등 1993), 타우린 합성이 미숙한 신생아나 미숙아, 또는 장관외 영양을 하는 환자, 만성 신부전이 있는 환자에게서도 타우린 결핍이 유발될 수 있다(Cooper 등 1984; Geggel 등 1985; Redmond 등 1998). 타우린은 또한 안전성이 매우 높은 것으로 알려져 있는데, 다른 아미노산과 차별화되는 특징 중 하나는 과량을 섭취하여도 흡수율 감소나 성장 저해 및 그 외 다른 부작용이 보고되지 않았다는 점이다(Park 등 1998c).

타우린은 체내에서 50~125 mg/일 정도의 소량이 합성되며, 심한 외상이나 패혈증 등에 의해 그 합성량이 감소된다

† Corresponding author: Kyung-Soon Choi, Dept. of Food and Nutrition, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea. Tel: +82-2-3399-1652, Fax: +82-2-3399-1655, E-mail: choiks@syu.ac.kr

(Redmond 등 1998). 체내 타우린의 합성은 주로 간과 뇌에서 발생되며, 그 경로는 합황 아미노산 대사와 관계되어 있고 (Jacobsen & Smith 1968, Kim 등 2005), cysteine dioxygenase, decarboxylase, oxidase 등의 효소가 작용한다. 비타민 B<sub>6</sub>도 보조인자로 작용하여 비타민 B<sub>6</sub>가 결핍될 경우에도 타우린 합성이 저해된다(Fujihira 등 1974). 간에서는 cysteinesulfinate를 타우린 합성에 이용하며(Hosokawa 등 1988), 뇌에서는 hypotaurine 또는 cysteic acid를 타우린 합성에 사용하는 것으로 보고되었다(Arzate 등 1986). 타우린은 황산기가 포함되어 있기 때문에 강산이며, 양성이온이고, 극성이 높기 때문에 다른 아미노산에 비해 낮은 pH에서도 쉽게 이온화된다(Kim MJ 2000; Lim MH 2003). 타우린은 수용성이며, 알코올이나 에테르에는 용해되지 않고(Jacobsen & Smith 1968), 지방에도 녹지 않아 세포막을 통과할 때에는 수송체를 통해 세포 내로 이동하게 된다. 사람의 타우린 수송체 유전자는 갑상선에서 최초로 분리되었으며, Taut로 명명되었다(Jhang 등 1993). 타우린 수송체 유전자는 태반, 근육, 심장, 뇌, 신장 및 췌장 등에 풍부하며, 타우린과 구조가 비슷한  $\beta$ -alanine,  $\beta$ -aminobutyric acid, gamma-amino butyric acid 등도 타우린 수송체에 의해 운송될 수 있어 타우린 흡수가 제한될 수 있는 반면에, GABA 수송체에 의해 타우린이 흡수될 수도 있다(Goldman & Scriver 1967). 타우린은 다른 아미노산과 마찬가지로 신장에서 재흡수가 일어나며, 체내 타우린이 충분할 경우에는 소변으로 배설된다(Hayes KC 1985). 또한 담즙산과 포함되어 담즙으로 배출될 수도 있는데, Sturman JA(1988)에 의하면 체외로 배출되는 타우린 중 95% 정도는 소변으로, 5% 정도는 담즙을 통해 배출되는 것으로 보고되었다. 장에서는 타우린이 장내 세균에 의해 빠른 속도로 분해되므로 대변으로 배출되는 타우린은 매우 적다(Hayes & Sturman 1981).

체내에서 에너지를 발생시키는 것은 세포 내 미토콘드리아에 의한 작용인데, 이 과정에서 타우린이 중요한 역할을 한다. Suzuki 등(2011)은 미토콘드리아 내 tRNA에 타우린이 결합하여야 ATP가 생성된다는 것을 발견하였다. 또한 운동 등을 통해 에너지를 소모하게 되면 타우린 역시 소모되게 되는데, Cuisinier 등(2001)은 마라톤 후 소변에서 타우린 배출이 증가하였다고 보고하여 이와 같은 관계를 뒷받침하였다. 아울러 Dawson 등(2002)은 타우린 투여에 의해 운동수행 능력이 향상되었다고 보고하여 타우린 보충이 운동능력 향상 또는 유지에 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

타우린은 인체에서 가장 풍부한 아미노산 중의 하나로서, 타우린의 혈중 평균 농도는 45  $\mu$ M 가량이며(Vinton 등 1987), 백혈구·근육·망막·신장·골 조직·신경계·간 등에 상대적으로 풍부한 것으로 알려져 있다(Lubec 등 1997). 타우린의 생리적 작용은 크게 대사적 기능(metabolic action)과 비대

사적 기능(non-metabolic action)으로 나뉘는데, 타우린의 항산화적 요소, 합황아미노산에 대한 해독작용, xenobiotic conjugation 및 bile acid conjugation은 타우린의 대사적 기능에 근거를 둔 반면, 세포막의 안정, 전해질의 이동과 삼투압 조절, 세포막의 인지질 및 ion channel과의 상호작용은 zwitterionic 성질에 의한 비대사적 기능에 근거를 두고 있다(Lombardini 등 1998). 타우린은 이 같은 기작에 의해 체내 다양한 조직에서 여러 역할들을 수행한다.

따라서 본 연구는 인체 내에서 타우린의 다양한 역할과 효과를 살펴봄으로써 식품과 영양에서 타우린의 효과적 활용과 향후 관련 연구에 대한 기초 자료를 제공하기 위해 수행되었다.

## 타우린의 항산화 작용

각종 스트레스와 대사과정에서 발생하는 과산화물들은 세포막에 손상을 입혀 신체의 기능을 저해하고 부작용을 일으키게 된다.

과산화물 중 하나인 hydrogen peroxide는 효소적, 화학적 과정을 거쳐 산화력이 큰 hypochlorite를 생성하는데, 이는 아민과 반응하여 chloroamine으로 전환된다. 타우린은 hypochlorite와 잘 반응하는 아민으로 반응 시 비교적 안정적인 N-chlorotaurine을 형성한 후 2.5일의 반감기를 거치며, 염소이온과 타우린으로 환원된다. 이러한 과정을 통해 타우린은 항산화 효과를 보이는 것으로 추정되고 있다(Wright 등 1986).

타우린은 세포막의 지질과산화를 억제하고(Green 등 1991), 조직 손상 시 세포를 보호하는 것으로 알려져 있으며(Aruoma 등 1988), 산화스트레스를 경감시킬 수 있다는 보고도 있다(Goodman 등 2009). 지질과산화 반응은 생체막의 불포화지방산이 산화되는 과정에서 발생하며, 이에 대해 glutathione 의존 효소계가 방어 기능을 하게 되는데, 타우린은 지질과산화를 억제하고, 생체방어효소들의 활성도를 변화시키거나, 세포막을 안정화시키며, 지질과산화로 인한 발암과정의 지연 및 예방에 효과를 나타낸다(You & Chang 1998). 이러한 항산화효과로 인해 정자의 지질과산화를 감소시켜 운동성이 저하되는 것을 막아주며(Lim & Kim 1995), 노화 방지에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다. Banks 등(1991), Gordon & Heller(1992), Azuma 등(1987)은 심장, 폐, 거대 식세포 및 적혈구 세포 등의 조직에서 paraquat, bleomycin, adriamycin, ozone에 대한 타우린의 항산화 역할을 시사한 바 있다.

반면, 타우린의 항산화 작용에 대한 구체적 기작은 아직 더 밝혀져야 할 것으로 보인다. Biphasic 형태의 free amino acid로서 타우린은 buffer 능력이 있으나, 생화학적으로 불활성이고 생리적 pH 상태에서 대체로 중성이온을 띄고 있는데,

그 자체의 free radical 소거 능력에 대해서는 의견이 다르다. 항산화능력은 hypotaurine 상태에서 가능한 것으로 *in vitro* 실험에서 hypotaurine은 hydroxyl radical이나 hypochlorite(HOCl)와 반응하거나 Fenton reagent와 반응하여 생성된 산화물로서 cystamine-disulfone을 확인하였다(Fellman 등 1987). 그러나 생체 내에서 지질과산화에 대한 hypotaurine 항산화 효과는 millimolar 농도에서 가능한 것으로 확인되고, 이러한 농도는 남성 성기관이나 재생 중의 간 조직에서만 가능한 것으로 알려져 있다(Dupre 등 1998).

## 타우린의 항암 효과

암은 발암 유전자에 두 번 이상의 변화가 일어나 진행되며, 개시(initiation), 촉진(promotion), 진행(progression)의 단계를 거치게 된다(Pitot & Sirica 1980; Emmanuel F 1984). 이러한 유전자 변이가 일어난 세포는 정상 세포의 apoptosis 단계를 거치지 않고 계속하여 이상 증식을 함으로써 암으로 발전한다.

암의 치료법으로는 외과적 요법, 화학적 요법, 방사선 치료 방법이 주를 이루고 있다. 이 중 화학적인 요법인 항암제는 암세포뿐 아니라, 정상세포에도 작용하기 때문에 탈모, 골수 이상, 신장과 간 독성 등 다양한 부작용이 나타날 수 있다(Lewis C 1994; Link & Lewis 1999). 이러한 부작용으로 인해 항암제 사용이 더 이상 어렵게 되거나 또 다른 고통이 발생할 수 있기 때문에, 항암제의 부작용을 줄이면서 항암제의 효과를 유지시킬 수 있는 방법이 꾸준히 연구되고 있다. 이러한 방법 중 하나는 항암제를 천연 물질과 함께 투여하는 방법이다. 즉, 천연물을 같이 투여함으로써 항암제의 농도를 낮추고, 부작용을 감소시킬 수 있는 것이다. 이에 따라 최근에는 관련 연구가 주목되고 있다(Cipk 등 2003; Tokalov 등 2010; Xu 등 2011).

Park 등(1998)에 의해 타우린의 무독성이 보고되었으며, 정상세포에 타우린을 고농도로 처리한 경우에도 세포증식을 증가시킨다는 보고도 있었던 바, 타우린은 세포 수준의 실험에서도 정상세포에 대해 독성을 보이지 않는 것으로 볼 수 있다(Chen 등 1998; Hernandez-Bentez 등 2010; Shivaraj 등 2012). 이러한 타우린의 특성에 주목하여 관련 연구가 진행되었는데, 최근 발표된 논문들은 타우린이 다양한 항암제의 부작용을 감소시킨다는 것을 시사한다. Cisplatin의 투여로 인해 발생된 신장독성이 감소한다는 연구 결과가 있으며(Saad & Al-Rikabi 2002), Ito 등(2009)과 Das 등(2012)은 동물실험에서 doxorubicin으로 발생한 심장독성을 억제한다고 보고하였고, doxorubicin으로 인해 발생된 활성산소를 감소시킴으로써 항암제의 부작용을 감소시킨다는 보고도 있었다(Das 등 2011). 또 타우린이 doxorubicin의 유출(efflux)을 증가시켜 결과적으로

항암효과를 높인다는 연구 결과가 발표된 바 있다(Sadzuka 등 2009). Kim & Kim(2013)의 항암제와 천연물을 함께 처리한 경우에 관한 다른 연구결과로는 자궁경부암세포에 타우린과 cisplatin을 병용처리 하였을 때 항암효과가 있었으며, 유방암 세포에서도 같은 처리를 하였을 때 세포 증식이 억제되었다고 보고하였다(Kim & Kim 2013). 아울러 Wang 등(2009)은 생쥐를 이용한 실험에서 타우린 처리가 항암제 치료 후 백혈구의 기능을 강화하였다고 보고하였다.

이상과 같이 타우린은 항암제의 부작용을 줄이며, 항암효과를 높일 수 있는 것으로 알려져 있다. 또 타우린의 유도체 중 하나인 taurilidone이 악성흑색종, 대장암, 췌장암, 전립선암 등 여러 종류의 암에 대해 항암 효과를 보였으며, 부작용도 없는 것으로 보고되었다(Kilian 등 2003; Braumann 등 2005; Bobrich 등 2007; Braumann 등 2007; Chatzakos 등 2010). 한편, Mochizuki 등(2002)은 대장암 세포의 일종인 Caco-2 세포를 이용한 실험 결과, Caco-2 세포에서 TNF- $\alpha$ 의 처리가 타우린의 흡수(uptake)를 증가시켰음을 보고하였다. 이는 암 종류에 따라서 타우린의 적용을 달리할 수도 있음을 보여준다.

## 타우린이 지질대사에 미치는 영향

콜레스테롤의 대사과정에서 최종산물이라 할 수 있는 담즙산은 간에서 cholesteryl CoA 형태로 합성된 후, 장으로 분비되기 직전에 타우린이나 글리신과 conjugate된 형태의 1차 담즙산을 형성한 후, 대장 내의 미생물에 의해서 deconjugate되고, 7 $\alpha$ -dehydroxylation을 거치면서 2차 담즙산으로 된다. 이때 타우린은 담즙산의 합성 속도를 제한하는 효소인 cholesterol 7 $\alpha$ -hydroxylase의 분비를 조절함으로써 콜레스테롤을 담즙산으로 전환하여, 담즙산 배설의 증가를 통하여 콜레스테롤을 배설시킴으로써 혈중 지질을 감소시킨다(McKee JR 1999). 장으로 분비된 담즙산의 99%가 재흡수되고, 나머지 1%에 해당하는 500 mg/일이 변으로 배설되는데, 이는 간에서 새로 합성되는 담즙산의 양에 상응한다. 콜레스테롤의 상당 부분이 변을 통해 sterol 형태로 배설되고 있으나, 콜레스테롤의 분해산물로서 변 속의 담즙산은 체내 콜레스테롤을 배설하는 가장 주된 경로이다. 타우린이 결핍될 경우 담즙산이나 인지질 생성이 감소되어 담석이 생길 수 있다.

Wasserhess 등(1993)은 타우린 첨가로 담즙산 분비가 증가함에 따라 콜레스테롤이 담즙산으로 전환되는 과정이 증가하게 되고, 생성된 담즙산은 타우린과 포함되어 수용성의 bile salt를 형성한 후 담낭으로 분비되기 때문에, 타우린 보강이 담즙산 배설을 증가시킨다고 하였다. 또 Yokogoshi 등(1999)은 타우린이 담즙산으로 콜레스테롤의 biotransformation을 증가시켜 담즙산 배설로 콜레스테롤 제거가 증가되었기 때문에,

타우린이 콜레스테롤 분해와 담즙산 배설을 촉진한다고 추정하였다. 이러한 배출과정을 통해 타우린은 지방의 유효와 흡수를 도와주며, 이로 인하여 콜레스테롤과 중성지방도 감소시키는 것으로 보고되고 있다(Huxtable RJ 1992; Mochizuki 등 1998; Murakami 등 1999).

사람이나 쥐의 경우 타우린과 담즙산의 결합을 촉매하는 효소의 친화력은 글리신에 비해 약 50~100배 더 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 간세포에서는 타우린이 글리신에 비해 우선적으로 담즙산의 포합에 이용되며(Gottfries 등 1966), 타우린이 결핍된 상태에서 체내 타우린을 절약하기 위한 적응현상의 일환으로 글리신이 포합하게 된다(Brueton 등 1978; Stephan 등 1981).

실험동물을 대상으로 한 다른 연구에서도 식이를 통한 타우린 보강은 담즙산 합성과 분비를 증가시켰다고 보고되었으며(Kibe 등 1980; Stephan 등 1981; Strasberg 등 1983), 장기간의 타우린 보강이 무콜레스테롤 또는 고콜레스테롤 식이를 섭취하는 흰쥐의 혈장과 간의 콜레스테롤 및 중성지방 수준을 유의하게 저하시켰음이 발표된 바 있다(Gandhi 등 1992; Yan 등 1993; Park & Lee 1997; Park 등 1998b; Seo J 2005).

Park IS(2002)은 타우린 보강이 흰쥐에서 혈소판, 적혈구, 체내 지질수준, LDL 산화에 미치는 영향에 대해 연구했다. 타우린구가 대조구에 비해 혈소판 응집, 혈장 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤 농도, 중성지방 농도가 유의적으로 감소한 반면, HDL-콜레스테롤은 유의한 차이가 없었고, 간의 총 콜레스테롤과 중성지방 역시 타우린구가 낮게 나타났다. 간 조직의 지방구 관찰 결과에서도 타우린 처리구는 지방구 크기가 작고, 그 수도 적은 것으로 관찰되었다. 이상의 효과는 담즙산의 구성성분으로서 hypocholesterolemic 효과로 생각되며, 더 많은 연구가 필요하다고 보고하였다. Murakami 등(2002)은 타우린이 LDL 수용체에 대한 상승된 조절작용으로 콜레스테롤을 저하시킨다고 보고하였다. Lee KS(1997)는 고콜레스테롤 식이를 섭취시킨 흰쥐에 있어서 1.5%의 타우린 급여가 혈장 중성지방 농도 및 콜레스테롤 농도를 감소시켰으며, 간에서도 같은 경향이 나타났다고 보고하였다. Yokogoshi & Oda(2002)의 연구도 이와 일치하는 결과를 보여주었다. Ryu & Lee(2004)는 쥐에게 타우린 1.5%를 첨가한 식이를 급여한 결과, 대조군에 비해 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤이 유의적으로 감소하고, HDL-콜레스테롤이 유의적으로 증가하였으며, Chen 등(2004)도 고콜레스테롤 식이에 타우린을 첨가한 결과, 담즙산의 배설을 증가시키고, 총 콜레스테롤과 중성지방을 감소시켰다고 보고하였다. Kim HH(2004)은 수컷 SD 쥐에게 고지방식과 운동을 병행하면서 타우린을 섭취시킨 결과, 장간막지방, 복강내 지방, 혈중 지질관련 수치가 긍정적인 방향으로 변화하였다고 보고하였다.

Mizushima 등(1996)은 젊은 남성을 대상으로 고콜레스테롤 식이와 타우린을 4주간 섭취시킨 후 혈중 지질 농도의 변화를 살펴본 결과, 총콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤의 증가 폭이 현저하게 낮아졌다고 보고하였다. Zhang 등(2004)은 체질량 지수(Body mass index)가 25 이상이고, 당뇨는 아닌 사람들에게 타우린을 하루 3 g씩 7주간 섭취하도록 한 결과, 혈중 중성지방과 atherogenic index 값이 유의적으로 감소하였음을 보고하였다. Tsuboyama-Kasaoka 등(2006)은 7주령의 암컷 C57BL/6J 생쥐에 고지방식이와 타우린이 5% 포함된 고지방식을 18주간 먹여 지방세포의 크기를 비교하여 본 결과, 고지방식이 처리구의 혈중 타우린 농도는 감소하고, 지방조직의 무게는 증가한 반면, 타우린 처리 첨가구에서는 체지방과 지방세포의 크기가 감소한 것을 발견하였다. 이 연구에서는 타우린이 기초대사량을 증가시켜 지방 감소에 기여한 것으로 보았으며, 지방 조직에서도 갈색지방조직은 변화가 없었으나, 백색지방조직은 감소한 것으로 보고하였다. Chung 등(2000)은 성인 여성에게 타우린을 복용시킨 결과, 2주 후부터 혈중 콜레스테롤 농도가 유의하게 감소하였다고 보고하였다. Fain JN(1973)의 연구에 따르면 이러한 결과는 타우린이  $\beta$ -아드레날린 수용체를 통하여 adenylate cyclase의 활성을 증가시킴으로써 세포 내 cAMP의 농도가 증가되고, 이로 인하여 호르몬 민감성 리파아제(hormone sensitive lipase)의 활성을 증가시켜 결국 지방분해를 촉진시켰기 때문인 것으로 설명하였다.

타우린은 화학적 구조가 비슷한 다른 물질에 의해 그 흡수가 저해될 수 있기 때문에, 이에 대한 개선책의 일환으로 흡수를 높이기 위한 유도체를 만들어 그 효과를 확인하는 연구가 존재한다. Kim SY(2014)은 타우린 유도체의 일종인 타우린-리보오스를 흰쥐에게 급여하여 항비만, 항산화 효과를 연구한 결과, 타우린-리보오스 급여군이 비급여군에 비해 체중 증가량이 감소하였으며, 급여 농도 증가에 따라 지방세포 크기가 작아졌다고 보고하였다.

## 타우린과 신경과의 관계

타우린은 신경세포의 성장, 분화를 촉진시킨다. 또한 알코올에 의한 중추신경 억제를 막아줌으로써 취하는 것을 지연시켜 주며, 알코올의 대사산물인 아세트알데히드의 축적을 예방한다(Park 등 1998a). 타우린 수용에 있어서 타우린 수용체가 관여하지만, GABA 수용체도 일부 수용할 수 있어 GABA와 상호 작용하며, 신경 안정 효과를 보인다(Wang 등 2007). Wang 등(2007)은 쥐를 대상으로 타우린이 국소뇌허혈에 신경보호 효과가 있음을 보고하였고, 뇌신경세포의 노화과정을 지연시키는데 중요한 역할을 하고 있는 것으로 보고되었다(Hu 등 1997). Kang HY(2002)은 쥐의 해마절편에서 *N*-methyl-

D-aspartate로 세포 손상을 유도한 후 타우린을 처리하였을 때 세포 손상이 완화된다고 보고하였다. 타우린은 중추신경계에 고농도로 존재하며, ischemia-hypoxia, seizure, trauma, aging, hypertension, 알츠하이머병과도 관련이 있는 것으로 보고되었다(Huxtable RJ 1989; Lombardini JB 1992). 특히 알츠하이머 환자의 경우에는 정상인에 비해 타우린의 농도가 25% 정도 감소된 것으로 보고되었다(Alom 등 1991).

## 타우린과 뼈, 칼슘과의 관계

Lubec 등(1997)은 방사성동위원소를 이용한 실험 결과, 타우린이 골조직에도 존재한다는 것을 발견하여 골조직에서 타우린의 역할이 있을 수 있음을 시사한 이래, 타우린과 뼈에 관한 여러 연구가 진행되었다. 타우린은 골세포 내에 고농도로 존재하면서 골 형성에 필요한 콜라겐 합성과 기질 형성을 촉진하여 골세포의 형성을 증진시키고, 파골세포의 형성과 골 흡수를 저해함으로써 골 손실을 억제하는데 도움을 준다고 알려져 있다. 타우린은 칼슘 조절인자로서 중요하며, 칼슘 이용이 낮은 조건 하에서는 이용성을 증가시키고, 이용성이 높은 조건에서는 칼슘의 과부하를 막아 뼈 형성 자극과 뼈 흡수 저해 효과가 있어 뼈 대사의 표지물질로 이용된다(Chung YH 2001).

Choi & DiMarco(2009)는 난소 적출 쥐를 대상으로 타우린을 식이의 2% 비율로 첨가하여 급여한 결과, 대조군에 비해 척추와 대퇴부의 골 함량이 높은 경향을 보인 것으로 보고하였다. 또한 타우린이 뼈 형성 작용과 뼈 용해 저해 작용을 함으로써 치조골의 손실을 막는 효과가 있다고 밝혀졌다(Chung YH 2001; Park 등 2001; Chen 등 2003). Seo J(2005)의 연구에서는 타우린의 급여가 소변 중 칼슘 배설량을 낮추었고, 체중 당 대퇴골의 함량을 유의적으로 높였다고 보고하였다. Park 등(2001)은 *in vitro* 실험을 통해 타우린이 UMR-106과 같은 조골세포에서 알칼리 포스파타아제의 활성이나 콜라겐 합성을 자극한다는 것을 보고하였다. 타우린을 1~20 mM의 농도로 처리했을 때 32~87%까지 알칼리 포스파타아제의 활성을 촉진했다. 하이드록시프롤린이 형성된 정도를 이용해 콜라겐 합성을 측정했을 때, 20 mM의 타우린 농도에서 최대 56%까지 증가하는 것으로 나타났다. 조골세포 내에서 일어나는 작용에 대한 타우린의 관여 정도를 확인하기 위한 *in vitro* 실험에서 타우린은 수많은 단백질의 타이로신 인산화를 촉진하였다(Park TS 1996). Koide 등(1999)은 타우린의 골용해 저해 작용과 파골세포 형성 저해 작용을 보고하였는데, 100 µg/mL의 타우린으로도 골용해를 유도하는 lipopolysaccharide의 작용을 저해할 수 있다고 하였다. 이러한 타우린의 작용은 골형성을 자극하고, 골용해를 저해하는 역할을 하기 때문에, 타우

린의 저장고는 고령화에 따라 급진전되는 대사성 골질환을 치유하고 예방할 수 있을 것이라 추정된다. Lee JW(2009)는 난소절제 쥐에 고콜레스테롤 식이 및 타우린 2% 보강 식이를 섭취시켜 골밀도를 관찰한 결과, 타우린 첨가구가 골용해 관련 지표는 유의적으로 낮추었고, 척추 골밀도와 체중 당 척추 골 함량 및 체중 당 대퇴골 함량이 높게 나타나, 타우린 보강식이 골대사에 유리할 것으로 보고하였다. 이 외에도 근장세포의 소포체와 다른 세포내 미세구조에 칼슘저장능력을 증가시키는 것으로 보고되었다(Huxtable RJ 1992; Hayes & Trautwein 1994).

한편, 고지방식이나 고콜레스테롤 식이는 칼슘의 배설을 촉진한다는 가설이 있는데(Gacs & Bartop 1977), 그 이유는 지방과 칼슘이 염을 형성하여 배출하기 때문으로 추론하였다. 특히 식이성 칼슘은 소화관에서 지방산과 비누(soap)를 형성하며, 이 칼슘 비누는 불용성으로서 대변으로 칼슘 배출을 증가시키므로, 고지방식사 또는 고콜레스테롤 식사는 식이성 칼슘의 흡수를 저하시켜 골밀도에 불리하게 작용한다. 타우린은 이에 대한 감소 작용도 할 것으로 사료된다.

앞서 언급한 Seo J(2005)와 Choi & DiMarco(2009)를 조금 더 자세히 살펴보면, 성장기의 경우 타우린의 첨가는 골밀도 향상에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그 이유는 칼슘 섭취가 충분하기 때문으로 추론하였고(Seo J 2005), 난소절제 쥐에서는 2% 타우린 식이를 섭취시킨 결과, 체중 당 대퇴골 함량이 타우린 첨가군에서 높은 경향을 보였다고 하여 생리상태에 따라 타우린의 효과가 다른 것으로 나타났다.

## 타우린의 간 보호 효과

타우린의 간 보호효과에 대한 연구들을 보면, 간암화 과정에서 타우린의 공급은 산화적 스트레스를 억제하고, 세포막을 안정화시키며(You & Chang 1998), 타우린 결핍을 유도한 쥐의 경우 에탄올로 인한 간 손상에 더 민감하다고 하였다(Kerai 등 2001). Waterfield 등(1993)은 쥐에서 β-alanine으로 타우린을 고갈시켰을 때 간 독성이 크게 증가되었다고 보고하였으며, Nakashima 등(1982)은 사염화탄소로 간 손상을 유발한 후 타우린을 투여한 결과, 간 내 지질과산화 수준 증가가 완화되었다고 보고하였다. Waterfield 등(1993)의 연구에서는 간 내 타우린 수준과 여러 간독성 물질에 대한 민감성 사이에는 상관성이 있다고 하였으며, *in vitro* 연구에서는 타우린이 사염화탄소, hydrazine, 1,4-naphthoquinone에 대해 간세포를 보호한다고 알려졌다고 보고하였다. 타우린은 oxygenation, hypoxia 조건 하에서 분리된 간세포에 대한 보호효과를 나타내었다(Nakashima 등 1990).

타우린 전구체인 cysteine, cysteine sulfinate가 알코올 대사

에 관여하여 혈중 알코올 농도를 낮추는 효과가 있음이 보고된 바 있다(Park 등 1998a). 숙취의 원인물질로 알려진 아세트알데히드는 간의 마이크로솜에서 글루타치온을 비롯한 함유 황물질과 높은 친화력을 지니므로 체내에서 cysteine으로부터 합성되는 타우린은 다양한 간 독성물질에 대하여 보호활성을 나타냄이 알려져 있다. 그 외에도 타우린은 알코올 섭취로 인한 졸음 현상과 보행운동능력 저하 현상들을 완화시키고, 알코올의 약리작용에 대하여 영향을 나타냄이 인체와 동물을 대상으로 보고된 바 있다(Aragon 등 1992).

Um 등(2000)은 에탄올 섭취 및 타우린 보강에 의해 간의 지방산 조성의 변화가 생체막의 물리적 환경을 변화시켜 간 조직 microsome의 효소 활성에 관여하였을 가능성과 함께 free-radical에 의한 생체막의 산화적 손상에 대하여 방어작용을 나타낸 것으로 추정하고 있다.

### 타우린과 시각과의 관계

망막 중에서는 광수용체(photoreceptor) 부분에 타우린이 다량 함유되어 있다(Yim SB 2004). Lim MH(2003)은 혈청 타우린 농도와 retinol,  $\alpha$ -tocopherol 농도가 유의적인 상관성이 있으며, 타우린이 항산화 비타민을 보호하여 혈중 농도와 조직 중의 항산화영양소 유지에 주요한 역할을 담당하고 있을 가능성을 제시하였다.

수정체 내 타우린은 mM 농도로 존재하며(Reddy DVN 1967; Heinamaki 등 1986; Jacobsen & Smith 1968), 보통 사람의 경우 수정체 내 타우린 농도는 0.5 mM로 보고되었다(Kuck JFR 1975). 타우린은 주로 간에서 합성되나, 수정체 내에서도 cysteine 등 다른 함황 아미노산으로부터도 합성되며(Dardenna & Kirsten 1962; Heinamaki 등 1986), 방수(房水, aqueous humor)로부터 능동수송에 의해 수정체 내로 흡수된다(Reddy DVN 1968).

당뇨병성 백내장 수정체의 타우린 농도가 정상 수정체의 농도보다 낮다는 연구결과(Reddy DVN 1965; Gupta & Mathur 1983; Malone 등 1990)와 혈액 내 타우린 농도의 감소가 노인성 백내장을 증가시킨다는 연구(Taylor A 1989)를 볼 때, 타우린은 수정체의 투명성 유지와 백내장의 발병 지연에 관여하는 것으로 추정된다(Kasuya 등 1992; Son HY 2000). 이와 관련하여 Son HY(2000)는 타우린이 수정체의 산화적 스트레스를 어느 정도 경감시켰으며, 이는 산화적 스트레스 조건 하에서 항산화물질인 GSH의 감소를 타우린이 완화시키기 때문인 것으로 보고하였다. 또 Crabbe & Goode(1998)는 타우린이 포도당의 자동산화를 저해함으로써 sorbitol의 생성을 억제한다고 보고하였다. 또한 타우린은 hypochlorite를 해독한다고 보고되었으므로(Babior & Crowley 1983), superoxide나

peroxide 등의 활성산소를 해독한다고 볼 수 있다. 타우린이 항산화 작용을 할 수 있는 농도는 정상적인 생리 농도에서도 가능하며(Kilic 등 1999), 이러한 작용은 수정체 외에도 망막이나 초자체에서도 관찰되고 있다(Lake N 1994).

또한 타우린은 삼투압 조절에 관여하므로 방수와 초자체의 ocular fluid로 둘러싸인 수정체에서 삼투압 스트레스로 인한 변화에 대해서도 보호작용이 있을 것으로 생각된다(Kasuya 등 1992).

### 타우린과 심장, 혈액과의 관계

타우린의 심순환기 질환 예방효과는 항동맥경화 및 항혈전과 관련 있는 것으로 알려져 있다(Murakami 등 1999; Dawson 등 2000).

심근경색으로 인한 수술환자의 심근에서는 타우린의 농도가 증가되었으나, 혈소판의 타우린 농도에는 변화가 없었다(Paasonen 등 1982). 인슐린 의존형 당뇨 환자에 있어서 혈장과 혈소판의 타우린 농도가 정상인보다 낮고, 타우린 처방과 동시에 혈소판 응집도가 감소하였다(Franconi 등 1995). 사람에게 있어서 400~1,600 mg/일의 타우린 급여는 혈소판 응집성에 있어서 30~70%의 감소를 나타냈다(Hayes 등 1989). Welles 등(1993)은 *in vitro* 실험에서 혈소판 응집성에 대한 타우린의 효과는 ADP(adenosine diphosphate)로 응집이 유도된 경우 응집성이 감소된 반면, collagen에 대한 응집성은 오히려 증가하였다고 보고하였다. 이는 타우린이 ADP에 의한 irreversible aggregation을 억제하는 것으로 해석할 수 있다.

### 타우린과 염증, 면역과의 관계

사람의 호중구에는 20~50 mM의 타우린이 함유되어 있으며, 염증이 생기면 그 부위의 타우린 농도가 증가한다. 호중구는 염증 부위에서 외부균을 방어하는 과정에서 활성산소를 생성하며, 타우린은 이때 생성되는 활성산소를 제거하거나, 생성을 억제한다. 좀 더 자세히 살펴보면, 염증 부위에서 과량 생성되는 활성산소 HOCl/OCl<sup>-</sup>가 호중구에 함유된 타우린과 반응하여 타우린 클로라민을 생성함으로써 세포를 보호할 수 있다(Kim 등 1996). 또한 Jang 등(2009)은 이 타우린 클로라민이 세포에서 heme oxygenase, peroxiredoxin, thioredoxin, catalase 등의 항산화효소를 더 많이 생성한다고 보고하였다. Marcinkiewicz & Kontny(2014)도 review 문헌을 통해 이러한 점을 다시 한 번 확인한 바 있다.

Murakami 등(1995)은 헬리코박터 파일로리 감염에 의한 위점막 손상에 대하여 타우린이 보호효과를 갖는 것은 손상 부위에서 생성된 HOCl이 타우린과 우선 결합하여 HOCl이

독성이 더 강한 모노클로라민으로 전환되는 것을 억제하기 때문이라고 설명하였다.

Mas 등(2004)은 hepatic stellate cells로 실험한 결과, 산화 스트레스에 대해 타우린이 효과가 있다고 보고하였고, Parvez 등(2008)도 생쥐를 대상으로 한 실험에서 타우린이 항암제의 일종인 타목시펜으로 인한 미토콘드리아의 산화적 손상을 방지하는 효과가 있다고 보고하였으며, Balkan 등(2002)은 만성 에탄올 처리 쥐에서 간 효소 수치 및 malondialdehyde 감소와 더불어 글루타치온, 비타민 C, 비타민 E 증가 효과를 보고하였다. 타우린 보충 시 Sener 등(2005a, 2005b)은 니코틴을 투여한 쥐에서 지질과산화와 myeloperoxidase의 활성이 감소하고, 글루타치온이 회복되었다고 하였으며, Cetiner 등(2005)은 백혈병 치료에 사용되는 항악성종양제 methotrexate을 투여한 쥐에서 malondialdehyde, myeloperoxidase 활성 감소와 글루타치온이 회복되는 효과가 있었다고 보고하였다. Cho S(2000)은 고강도 운동에 의한 산화 스트레스에 타우린이 미치는 영향을 관찰한 결과, 타우린을 보충한 처리구에서 대조구 대비 산화 스트레스가 방어되었으며, 이로 인해 항산화물질인 글루타치온을 절약했을 가능성을 시사하였다고 보고하였다.

반면, Aruoma 등(1988)은 타우린이 superoxide radical, hydrogen peroxide, hydroxyl radical과 반응성이 없다고 하였고, Shi 등(1997)은 electron spin resonance에서 hydroxy radical을 효과적으로 제거하지 못했다고 하였으며, Mehta & Dawson(2001)은 peroxynitrite의 제거 기능이 약하다고 보고하였다.

스트레스, 감염, 수술, 외상, 방사선, 과음으로 인한 간 조직의 손상 등 위급 시 몸속의 타우린이 동원되고, 이때 소변으로 배설되는 타우린의 대사산물은 2~4배로 증가한다. 건강인의 경우, 생리적 요구량은 1일 200~500 mg 수준이나, 질병 상태에선 1,000 mg 이상이 필요하게 된다(Huxtable RJ 1992). 타우린은 천공술의 결점 보완, 상처 치유, 발치 후 치유에 긍정적인 효과가 있는 것으로 밝혀졌다(Ito 등 2009). Da Costa 등(2001)도 생쥐를 대상으로 한 실험에서 암 제거 수술 후 taurolidine 처리가 생존률을 높인 것으로 보고하였다.

## 타우린의 미백 효과

멜라닌은 산화적 스트레스(Larriere 등 2005), NO, UV(Takeuchi 등 2004) 등의 자극에 의해 생성되기도 하는데, 타우린의 항산화, 항염증 효과가 피부 멜라닌과 관련이 있을 것으로 판단된다(Joung HS 2007). 또한 Joung HS(2007)은 마우스 악성흑색종세포에서 멜라닌 생성에 관한 타우린의 효과를 실험한 결과, 40 mM 농도로 처리했을 때 kojic acid 처리구보다 멜라닌 생성 억제 효과가 뛰어났으며, 이 세포에 LPS로 염증을

유도한 후 타우린을 처리한 결과, 멜라닌 생성이 감소되었고, 외부의 화학적·물리적 자극에 의해 생성되는 멜라닌 함량도 감소시켰다고 보고하였다. 이는 Price 등(1998)의 연구에서도 같은 결과가 보고되어 타우린을 미백물질로도 사용할 가능성을 시사하였다.

이 외에도 타우린과 피부미용에 관한 보고도 있다. Guido 등(2003)은 타우린이 보습에 효과가 있다고 보고하였고, Jung 등(2007)은 멜라닌 생성세포(B16F10)에 타우린을 처리하여 멜라닌 양을 측정된 결과, 멜라닌 억제 효과가 나타났음을 보고하였다. 또한 Jung SK(2014)은 타우린을 2% 포함한 크림을 4주간 여성들에게 사용시킨 결과, 보습, 주름 개선, 색소 침착 개선에 유의적인 효과가 있다고 보고하였다.

## 그 외 타우린의 다양한 역할

현재까지 밝혀진 타우린의 기능은 이 외에도 여러 가지가 존재한다. 우선 타우린의 삼투압 조절에 관한 연구를 살펴보면, 세포막에 있어서 타우린의 삼투압 조절작용은 free radical에 의한 세포막의 산화손상에 대한 방어작용에 의한 것이 아니고, 세포막에 결합된 인지질이나 지단백과의 상호작용을 통해 세포막을 안정시켜 다른 이온의 이동에 관여함으로 이루어진다. 이렇게 타우린은 세포막의 안정화를 통한 다른 이온의 이동에 관여할 뿐만 아니라, 그 자체가 하나의 osmolyte로 작용함으로써 삼투조절 작용에 관여한다. 또한 타우린은 삼투압 조절에 관여하므로 방수와 초자체의 ocular fluid로 둘러싸인 수정체에서 삼투압 스트레스로 인한 변화에 대해서도 보호작용이 있을 것으로 생각된다(Kasuya 등 1992).

이 외에도 Zhou 등(2011)은 신경아교세포에 모르핀을 처리하여 세포 사멸을 유도한 후 타우린을 처리하자 세포사멸이 감소하였으며, 세포사멸을 촉진시키는 단백질 발현을 감소시켰다고 보고하였고, Palackal 등(1986)과 Sturman JA(1988)은 성장한 뇌와 망막에 존재하는 고도의 타우린이 항경련 작용과 신경세포 손상 예방 작용이 있으며, 소뇌와 망막의 기능 유지에 관여하고, 뇌와 망막의 발달에 관여함을 보고하였다.

타우린이 무기질 대사에 미치는 영향은 관련된 연구가 많지 않다. Kim MJ(2000)은 흰쥐에게 알코올을 장기간 섭취시켰을 때 타우린 보강이 무기질 대사에 미치는 영향을 관찰한 결과, 타우린 첨가는 노 중 셀레늄 배설량을 유의적으로 감소시켰다고 보고하였다.

Barthel 등(2001)은 타우린 함유 음료 섭취 시 인지능력, 건강 증진 효과와 더불어 여러 신체적 잠재 적응력을 키워준다고 보고하였으며, Redmond 등(1998)은 타우린의 혈소판 응집 저하효과 등을 보고하였다. Park & Choi(1997)는 닭에서 식이 내 타우린 첨가에 의해 간의 중량이 유의하게 증가하였다고

보고하였는데, 이는 간 단백질 함량 증가에 따른 간세포 분열 및 간세포 수가 증가하였기 때문으로 설명하였다.

Maturo & Kulakowsk(1988)은 *in vitro* 연구에서 타우린이 인간의 인슐린 수용체와 결합할 수 있다고 보고하여, 타우린의 탄수화물대사 조절작용이 인슐린 수용체와 상호작용을 통해 이루어질 가능성을 제시하였다. 또한 혈액 중에 타우린 농도가 증가하면 글리코겐 분해가 감소된다고 보고되고 있다(Lampson 등 1983).

Lombardini JB(1996)는 심장 및 망막 세포에서 타우린이 세포내 신호전달에 중요한 단백질 인산화 작용에 일부 변화를 줄 수 있다고 보고하였다.

Crabbe & Goode(1998)는 타우린의 포도당의 자동산화를 저해함으로써 sorbitol의 생성을 억제한다고 보고하였다. 또한 타우린은 hypochlorite를 해독한다고 보고된 바(Babior & Crowley 1983), 이는 superoxide나 peroxide 등의 활성산소를 해독한다고 볼 수 있다. 타우린이 항산화 작용을 할 수 있는 농도는 정상적인 생리 농도에서도 가능하며(Kilic 등 1999), 이러한 작용은 수정체 외에도 망막이나 초자체에서도 관찰되고 있다(Lake N 1994).

타우린을 비롯한 유리 아미노기를 가진 화합물들이 포도당의 carbonyl기와 결합하여 Schiff base를 형성함으로써 단백질의 당화과정을 막아준다는 보고도 있다(Devamanoharan 등 1997).

## 요약 및 결론

서구화된 식사로 인해 지방의 섭취가 많아지고 있어, 현대인들의 건강을 위협할 수 있는 현 시점에서 타우린의 역할은 더욱 중요시 여겨지고 있다. 타우린은 인체에서 가장 많이 분포하고 있는 유리 아미노산이며, 체내 여러 조직에 분포하면서 다양한 역할을 수행하고 있다. 본 논문에서 고찰한 타우린의 기능 및 효과들은 항산화 효과, 지질 배출, 신경세포의 성장·분화·보호, 칼슘·골 대사 관련 기능, 간 보호 효과, 삼투압 조절, 망막 및 수정체 관련 효과, 심순환기 질환 예방, 면역 증진, 미백, 항암 효과 등이 있으며, 이 외에도 다양한 기능과 효과가 있을 것으로 기대된다. 이에 따라 앞으로 관련된 연구가 더 많이 수행되어야 함과 동시에 타우린을 식품과 학적, 영양학적으로 더욱더 활용하려는 노력이 필요한 것으로 사료된다. 특히 타우린을 이용한 다양한 기능성 음료나 식품개발에 더욱 노력을 해야 할 것이다.

## References

Alom J, Mahy JN, Brandi N, Tolosa E. 1991. Cerebrospinal fluid

taurine in Alzheimer's disease. *Ann Neurol* 30:735

Aragon CMG, Trudeau LE, Amit Z. 1992. Effect of taurine on ethanol-induced change in open-field locomotive activity. *Psychopharmacology* 107:337-340

Aruoma OI, Halliwell B, Hoey BM, Butler J. 1988. The antioxidant action of taurine, hypotaurine and their metabolic precursors. *Biochem J* 256:251-155

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

Azuma J, Hamaguchi T, Ohta H. 1987. Calcium overload induced by myocardial damage caused by isoproterenol and by adriamycin: Possible role of taurine in its prevention. *Adv Exp Med Biol* 217:167-179

Babior BM, Crowley CA. 1983. Chronic granulomatous disease and other disorders of oxidative killing by phagocytes. In "The Metabolic Basis of Inherited Disease (Stanbury et al. Eds.). McGrawhill Ch 15:1956-1985

Balkan J, Kanbagli O, Aykac-Toker G, Uysal M. 2002. Taurine treatment reduces hepatic lipids and oxidative stress in chronically ethanol-treated rats. *Biol Pharm Bull* 25:1231-1233

Banks MA, Porter DW, Martin WG, Gastronova B. 1991. Ozone-induced lipid peroxidation and membrane leakage in isolated rat alveolar macrophages: protective effects of taurine. *J Nutr Biochem* 2:308-313

Barthel T, Mechau D, Wehr T, Schnittker R, Lieses H, Wei M. 2001. Readiness potential in different states of physical activation and after ingestion of taurine and/or caffeine containing drinks. *Amino Acids* 20:63-73

Bobrich E, Brauman C, Optiz I, Menenakos C, Kristiansen G, Jacobi CA. 2007. Influence of intraperitoneal application of taurolidine/heparin on expression of adhesion molecules and colon cancer in rats undergoing laparoscopy. *J Surg Res* 137:75-82

Braumann C, Jacobi CA, Rogalla S, Menenakos C, Fuehrer K, Trefzer U, Hofmann M. 2007. The tumor suppressive reagent taurolidine inhibits growth of malignant melanoma-a mouse model. *J Surg Res* 143:372-378

Braumann C, Stuhldreier B, Bobrich E, Menenakos C, Rogalla S, Jacobi CA. 2005. High doses of taurolidine inhibit advanced intraperitoneal tumor growth in rats. *J Surg Res* 129:129-135



- Brueton MJ, Berger HM, Brown GA, Ablitt L, Iyangkaran N, Wharton BA. 1978. Duodenal bile acid conjugation pattern and dietary sulphur amino acid in the newborn. *Gut* 19: 95-98
- Cetiner M, Sener G, Schirli AO, Eksioglu-Demiralp E, Ercan F, sirvanci S, Gedik N, Akpulat S, Tecimer T, Yegen BC. 2005. Taurine protects against methotrexate-induced toxicity and inhibits leukocyte death. *Toxicol Appl Pharmacol* 209:39-50
- Chatzakos V, Slätis K, Djureinovic T, Helleday T, Hunt MC. 2010. Anti-proliferative effects of taurine conjugated fatty acids. *Chem Physics Lipid* 163S:S36
- Chen W, Matuda K, Naomichi N, Yokogoshi H. 2004. The effect of taurine on cholesterol degradation in mice fed a high-cholesterol diet. *Life Sci* 74:1889-1898
- Chen W, Nishimura N, Oda H, Yokogoshi H. 2003. Effect of taurine on cholesterol degradation and bile acid pool in rats fed a high-cholesterol diet. *Adv Exp Med Biol* 526:261-267
- Chen XC, Pan ZL, Liu DS, Han X. 1998. Effect of taurine on human fetal neuron cells: proliferation and differentiation. *Adv Exp Med Biol* 442:397-403
- Cho S. 2000. Effect of taurine on oxidative stress induced by high intensive training. MS Thesis, Seoul Univ. Korea
- Choi MJ, DiMarco NM. 2009. The effects of dietary taurine supplementation on bone mineral density in ovariectomized rats. *Adv Exp Med Biol* 643:341-349
- Chung EJ, Um YS, Oh JY, Park TS. 2000. Effects of oral taurine supplementation on blood antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in healthy female adults. *J Nutr Health* 33:745-754
- Chung YH. 2001. Effect of dietary taurine on skeletal metabolism in ovariectomized rats. *Korean J Human Ecology* 4:84-93
- Cipk L, Rauko P, Miadokov E, Cipkov I, Novotn L. 2003. Effects of flavonoids on cisplatin-induced apoptosis of HL-60 and L1210 leukemia cells. *Leuk Res* 27:65-72
- 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
- Crabbe MJC, Goode DJ. 1998. Alsode reductase: a window to the treatment of diabetic complications. *Prog Retinal Eye Res* 17:313-383
- 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
- Da Costa ML, Redmond HP, Bouchier-Hayes DJ. 2001. Tauridine improves survival by abrogating the accelerated development and proliferation of solid tumors and development of organ metastases from circulating tumor cells released following surgery. *J Surg Res* 101:111-119
- Dardenna U, Kirsten G. 1962. Presence and metabolism of amino acids in young and old lenses. *Exp Eye Res* 1:415-421
- Das J, Ghosh J, Manna P, Sil PC. 2011. Taurine suppresses doxorubicin-triggered oxidative stress and cardiac apoptosis in rat via up-regulation of PI3-K/Akt and inhibition of p53, p38JNK. *Biochem Pharmacol* 81:891-909
- Das J, Ghosh J, Manna P, Sil PC. 2012. Taurine protects rat testes against doxorubicin-induced oxidative stress as well as p53, Fas and caspase 12-mediated apoptosis. *Amino Acids* 42:1839-1855
- 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
- Devamanoharan PS, Ali AH, Varma SD. 1997. Prevention of lens protein glycation by taurine. *Mol Cell Biochem* 177: 245-250
- Dupre S, Macone A, Masella R, Modesti D, Catafora A. 1998. *In vitro* evaluation of taurine activity oxidized LDL. In Taurine 3. Plenum Press, New York, 9-15
- Emmanuel F. 1984. The multistep nature of cancer development. *Cancer Res* 44:4217-4223
- Fain JN. 1973. Biochemical aspects of drug and hormone action on adipose tissue. *Pharmacol Rev* 25:67-118
- Fellman JH, Green TR, Eicher AL. 1987. The oxidation of hypotaurine to taurine: bis-aminoethyl- $\alpha$ -disulfone, a metabolic intermediate in mammalian tissue. *Adv Exp Med Biol* 217: 39-48
- Franconi F, Bennardini F, Mattana A, Miceli M, Ciuti M, Mian M, Gironi A, Anichini R, Seghieri G. 1995. Plasma and platelet taurine are reduced in subjects with insulin-dependent diabetes mellitus: effects of taurine supplementation. *Am J Clin Nutr* 61:1115-1119
- Fujihira E, Ohshima T, Ushioda I, Takahashi N. 1974. Effect of biliary drainage on bile acid conjugation with taurine in vitamin B<sub>6</sub>-deficient rats. *Cham Pharm Bull* 22:1174-1178

- Gacs G, Bartop D. 1977. Significance of Ca-soap formation for calcium absorption in the rat. *Gut* 18:64-66
- Gandhi VM, Cherian KM, Mulky MJ. 1992. Hypolipidemic action of taurine in rats. *Ind J Exp Biol* 30:413-417
- 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
- Goldman H, Scriver CR. 1967. A transport system in mammalian kidney with preference for  $\beta$ -amino compounds. *Pediatr Res* 1:212-213
- Goodman CA, Horvath D, Stathis C, Mori T, Croft K, Murphy RM, Hayes A. 2009. Taurine supplementation increase skeletal muscle force production and proteic muscle function during and after high-frequency *in vitro* stimulation. *J Appl Physiol* 107:144-154
- Gordon RE, Heller RF. 1992. Taurine protection of lungs in hamster models of oxidant injury: A morphologic time study of paraquat and bleomycin treatment. *Adv Exp Med Biol* 315:319-328
- Gottfries A, Scherstén T, Ekdhal PH. 1966. The capacity of human liver homogenates to synthesize taurocholic and glycholic acid *in vitro*. *Scand J Clin Lab Invest* 18:643-653
- Green TR, Fellman JH, Eicher AL, Pratt KL. 1991. Antioxidant role and subcellular location of hypotaurine and taurine in human neutrophils. *Biochim Biophys Acta* 1073:91-97
- Guido J, Oliver B, Hand S. 2003. Role of taurine accumulation in keratinocyte hydration. *J Invest Dermatol* 121:354-361
- Gupta K, Mathur RL. 1983. Distribution of taurine in the crystalline lens of vertebrate species and in cataractogenesis. *Exp Eye Res* 37:793-796
- Hayes KC, Pronczuk A, Addesa AE, Stephan ZF. 1989. Taurine modulates platelet aggregation in cats and humans. *Am J Clin Nutr* 49:1211-1216
- Hayes KC, Sturman JA. 1981. Taurine in metabolism. *Annu Rev Nutr* 1:401-425
- Hayes KC, Trautwein EA. 1994. Taurine. in "Modern Nutrition in Health and Disease" 8th ed. Lea & Febiger. pp.477-485
- Hayes KC. 1985. Taurine requirements in primates. *Nutr Rev* 43:65-70
- Heinamki AA, Muhonen ASH, Piha RS. 1986. Taurine and other free amino acids in the retina, vitreous, lens, iris, ciliary body, and cornea of the rat eye. *Neurochem Res* 11:535-542
- Hernandez-Bentez R, Pasantes-Morales H, Saldaa IT, Ramos-Mandujano G. 2010. Taurine stimulates proliferation of mice embryonic cultured neural progenitor cells. *J Neurosci Res* 88:1673-1681
- 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
- Hu S, Zhao X, Yin S, Meng J. 1997. A study on the mechanism of taurine postponing the aging process of human fetal brain neural cells. *Wei Sheng Yan Jiu* 26:98-101
- Huxtable RJ. 1989. Taurine in the central nervous system and the mammalian action of taurine. *Prog Neurobiol* 32:471-533
- Huxtable RJ. 1992. Physiology actions of taurine. *Physiol Rev* 72:101-163
- Ito T, Muraoka S, Takahashi K, Fujio Y, Schaffer SW, Azuma J. 2009. Beneficial effect of taurine treatment against doxorubicin-induced cardiotoxicity in mice. *Adv Exp Med Biol* 643:65-74
- Jacobsen JG, Smith LH. 1968. Biochemistry and physiology of taurine and taurine derivatives. *Physiol Rev* 48:429-511
- Jang JS, Piao SY, Cha YN, Kim C. 2009. Taurine chloramine activates Nrf2, increases HO-1 expression and protects cells from death caused by hydrogen peroxide. *J Clin Biochem Nutr* 45:37-43
- 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
- Joung HS. 2007. Antimelanogenic effect of taurine in murine melanoma cells. MS Thesis, Sookmyung Women's Univ. Korea
- Jung HS, Song KH, Kim AK. 2007. Antimelanogenic effect of taurine in murine melanoma B16F10 cells. *Yakhak Hoeji* 51:350-354
- Jung SK. 2014. A study on improvement effects of taurine's skin. MS. Thesis, Sungkyul Univ. Korea
- Kang HY. 2002. Neuroprotection effects of taurine and antiepileptic action of ginseng total saponin in the rat hippocampal slice. MS Thesis, Inha Univ. Korea
- Kasuya M, Itoi M, Kobayashi S, Sunaga H. 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
- Kerai MD, Waterfield CJ, Kenyon SH, Asker DS, Timbrell JA. 2001. The effect of taurine depletion by beta-alanine treatment on the susceptibility to ethanol-induced hepatic dysfunction in rats. *Alcohol Alcohol* 36:29-38
- Kibe A, Wake C, Kuramoto T, Hoshita T. 1980. Effect of dietary taurine on bile acid metabolism in guinea pigs. *Lipid* 15: 224-229
- Kilian M, Mautsch I, Braumann C, Schimke I, Guski H, Jacobi CA, Wenger FA. 2003. Effect of taurolidine and octreotide on tumor growth and lipid peroxidation after staging-laparoscopy in ductal pancreatic cancer. *Prostaglandines Lukot Essent Fatty Acids* 69:261-267
- Kilic F, Bhardwaj R, Caulfeild J, Trevithick JR. 1999. Modelling cortical cataractogenesis 22: Is *in vitro* reduction of damage in model diabetic rat cataract by taurine due to its antioxidant activity. *Exp Eye Res* 69:291-300
- 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- $\alpha$  in the conditioned media is inhibited by taurine chloramine. *Immunopharmacol* 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. *Kor J Nutr* 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 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 SY. 2014. Antiobesity and antioxidant effects of taurine-ribose supplement in rat fed a high-fat diet. MS Thesis, Inha Univ. Korea
- Kim T, Kim AK. 2013. Taurine enhances anticancer activity of Cisplatin in human cervical cancer cells. *Adv Exp Med Biol* 776:189-198
- Kim YS, Jung YS, Kim SK. 2005. Effect of betaine supplementation on changes in hepatic metabolism of sulfur-containing amino acids and experimental cholestasis induced by  $\alpha$ -naphthylisothiocyanate. *Food and Chemical Toxicology* 43:663-670
- 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
- Kuck JFR Jr. 1975. Composition of the lens. In "Cataract and Abnormalities of the Lens" Grune and Stratton. pp.69-96
- Lake N. 1994. Taurine and GABA in the rat retina during postnatal development. *Vis Neurosci* 11:253-260
- Lampson WG, Kraemer JH, Schaffer SW. 1983. Potentiation of the actions of insulin by taurine. *Can J Physiol Pharmacol* 61:457-463
- Larribere L, Hilmi C, Khaled M, Gaggioli C, Nille K, Auberger P, Ortonne JP, Ballotti R, Bertolotto C. 2005. The cleavage of microphthalmia associated transcription factor, MITF, by caspases plays an essential role in melanocyte and melanoma cell apoptosis. *Gene Develop* 19:1980-1985
- Lee JW. 2009. The effect of dietary taurine supplementation on bone mineral density in ovariectomized rats fed a high cholesterol diet. MS Thesis, Keimyung Univ. Korea
- Lee KS. 1997. The effects of taurine supplementation on plasma and liver lipid concentration of rats. MS Thesis, Yonsei Univ. Korea
- Lewis C. 1994. A review of the use of chemoprotectants in cancer chemotherapy. *Drug Saf* 11:153-162
- Lim EY, Kim H. 1995. Effect of taurine supplement on the lipid peroxide formation and the activity of glutathione-dependent enzyme in the liver and islet of diabetic model mice. *J Korean Soc Food Nutr* 24:195-201
- Lim MH. 2003. Taurine intake and excretion, and blood levels of taurine, retinol and  $\alpha$ -tocopherol in Seoul and Yeosu area women. MS Thesis, Dankook Univ. Korea
- Links M, Lewis C. 1999. Chemoprotectants: a review of their clinical pharmacology and therapeutic efficacy. *Drugs* 57: 293-308
- 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

- Lombardini JB. 1996. Quantitative analysis of the combination dose-effects of taurine and taurine analogues on the phosphorylation of an approximately 44-Kd protein present in a mitochondrial subfraction of rat heart. *J Cardiovasc Pharmacol* 28:107-114
- 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
- Malone JI, Lowitt S, Cook WR. 1990. Nonosmotic diabetic cataracts. *Pediatr Res* 7:293-296
- Marcinkiewicz J, Kontny E. 2014. Taurine and inflammatory diseases. *Amino Acids* 46:7-20
- Mas MR, Comert B, Oncu K, Vural SA, Akay C, Tasci I, Ozkomur E, Serdar M, Mas N, Alcigir G, Yener N. 2004. The effect of taurine treatment on oxidative stress in experimental liver fibrosis. *Hepatology Res* 28:207-215
- Maturo J, Kulakowski EC. 1988. Taurine binding to the purified insulin receptor. *Biochem Pharmacol* 37:3755-3760
- McKee JR. 1999. Biochemistry: An Introduction. 2nd ed. Life Science Publication Co. pp. 219-220
- Mehta TR, Dawson R Jr. 2001. Taurine is a weak scavenger of peroxynitrite and does not attenuate sodium nitroprusside toxicity to cells in culture. *Amino Acids* 20:419-433
- Mizushima S, Nara Y, Sawamura M, Yamori Y. 1996. Effects of oral taurine supplementation on lipids and sympathetic nerve tone. *Adv Exp Med Biol* 403:615-622
- Mochizuki H, Oda H, Yokogoshi H. 1998. Increasing effect of dietary taurine on the serum HDL-cholesterol concentration in rats. *Biosci Biotechnol Biochem* 62:578-579
- Mochizuki T, Satsu H, Shimizu M. 2002. Tumor necrosis factor  $\alpha$  stimulates taurine uptake and transporter gene expression in human intestinal Caco-2 cells. *FEBS Letters* 517:92-96
- Murakami M, Asagoe K, Dekigai H, Kusaka S, Saita H, Kita T. 1995. Products of neutrophil metabolism increase ammonia-induced gastric mucosal damage. *Dig Dis Sci* 40:468-273
- Murakami S, Kondo Y, Toda Y, Kitajima H, Kameo K, Sakono M, Fukuda N. 2002. Effect of taurine on cholesterol metabolism in hamsters: Up-regulation of LDL receptor by taurine. *Life Sci* 70:2355-2366
- Murakami S, Kondo Y, Tomisawa K, Nagate T. 1999. Prevention of atherosclerotic lesion development in mice by taurine. *Drug Exp Clin Res* 25:227-234
- Murakami S, Kondo Y, Tomisawa W. 1999. Improvement in cholesterol metabolism in mice given chronic treatment of taurine and fed high-fat diet. *Life Sci* 64:83-91
- Nakashima T, Nakagawa Y, Sano A, Sakamoto Y, Shima T, Nakajima T, Seto Y, Okuno T, Kashima K. 1990. Regurgitation of bile acids in rat liver under bile drainage: quantitative analysis by taurine or ursodeoxycholate loading test. *J Gastroenterol Hepatol* 5:121-125
- Nakashima T, Takino T, Kuriyama K. 1982. Therapeutic effect of taurine administration on carbon tetrachloride-induced hepatic injury. *Jpn J Pharmacol* 32:583-590
- Paasonen MK, Penttila O, Merikallio, E, Siltanen P, Himberg JJ, Solatunturi E. 1982. Taurine in human auricular myocardium and blood platelets. *Ann Clin Res* 14:115-118
- Palackal T, Morets RC, French J, Wieniewski H, Sturman JA. 1986. Abnormal visual cortex development in the kitten associated with maternal dietary taurine deprivation. *J Neurosci Res* 15:223-239
- Park IS. 2002. Effects of taurine on platelet aggregation, Na efflux, plasma and liver cholesterol and LDL-oxidation in Sprague Dawley Rats. MS Thesis, Cheju National Univ. Korea
- Park JE, Cha HS, Park TS. 1998a. Effect of dietary taurine of glycine supplementation on plasma and liver free amino acid concentrations in rats. *Kor J Nutr* 31:126-134
- Park KH, Choi HS. 1997. Effects of dietary taurine on growth of broiler chicks and its physiological mechanisms. *Kor J Anim Sci* 39:124-134
- Park SY, Kim H, Kim SJ. 2001. Stimulation of ERK2 by taurine with enhanced alkaline phosphatase activity and collagen synthesis in osteoblast-like UMR-106 cell. *Biochemical Pharmacology* 62:1107-1111
- Park T, Lee KS, Um YS. 1998b. 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, Lee KS. 1997. Effects of dietary taurine supplementation on plasma and liver lipid levels in rats fed a cholesterol-free diet. *Kor J Nutr* 30:1132-1139
- Park T, Park JE, Chang JS, Son MW, Sohn KH. 1998c. Taurine contents in Korean foods of plant origin. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27:801-807
- Park TS. 1996. Effect of dietary and taurine on cysteine catabolism in cat liver. *Korean J Nutr* 29:729-737
- Parvez S, Tabassum H, Banergee BD, Raisuddin S. 2008. Taurine

- prevents tamoxifen-induced mitochondrial oxidative damage in mice. *Basic Pharmacol Toxicol* 102:382-387
- Pitot HC, Sirica AE. 1980. The stage of initiation and promotion in hepatocarcinogenesis. *Biochem Biophys Acta* 605:191-215
- Price ER, Hortsmann MA, Wells AG, Weilbaeher KN, Takemoto CM, Lnadis MW. 1998. Alphamelonocyte stimulating hormone signaling regulates expression of microphthalmia, a gene deficient in Waardenburg syndrome. *J Biol Chem* 273:33042-33047
- 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
- Reddy DVN. 1965. Amino acid transport in the lens in relation to sugar cataracts. *Invest Ophthalmol* 4:700-708
- Reddy DVN. 1967. Distribution of free amino acid and related compounds in ocular fluids, lens and plasma of various mammalian species. *Invest Ophthalmol* 6:473-483
- Reddy DVN. 1968. Intraocular transport of taurine. *Biochim Biophysica Acta* 158:246-254
- Redmond HP, Stapleton PP, Neary P. 1998. Immunonutrition: The role of taurine. *Nutr* 14:599-604
- Ryu SP, Lee SC. 2004. Effects of exercise training and taurine ingestion on blood lipid metabolism in high fat-fed rats. *Kor J Physic Edu* 43:351-356
- Saad SY, Al-Rikabi AC. 2002 Protection effects of taurine supplementation against cisplatin-induced nephrotoxicity in rats. *Chemotherapy* 48:42-48
- Sadzuka Y, Matsuura M, Sonobe T. 2009. The effect of taurine, a novel biochemical modulator, on the antitumor activity of doxorubicin. *Biol Pharm Bull* 32:1584-1587
- Sener G, Sehirli AO, Ipci Y, Cetinel S, Cikler E, Gedik N, Alican I. 2005a. Taurine treatment protects against chronic nicotine-induced oxidative changes. *Fundam Clin Pharmacol* 19:155-164
- Sener G, Sehirli O, Ipci Y, Cetinel S, Cikler E, Gedik N, Alican I. 2005b. Protective effects of taurine against nicotine-induced oxidative damage of rat urinary bladder and kidney. *Pharmacology* 74:37-44
- Seo J. 2005. The effect of dietary taurine supplementation on plasma lipid concentrations and bone mineral density in male rats. MS Thesis, Keimyung Univ. Korea
- Shi X, Flynn DC, Porter DW, Leonard SS, Vallyathan V, Castranova V. 1997. Efficacy of taurine based compounds as hydroxyl radical scavengers in silica induced peroxidation. *Ann Clin Lab Sci* 27:365-374
- Shivaraj MC, Marcy G, Low G, Ryu JR, Zhao X, Rosales FJ, Goh EL. 2012. Taurine induces proliferation of neural stem cells and synapse development in the developing mouse brain. *PLoS One* 7:e42935
- Son HY. 2000. Effects of taurine on glucose-induced diabetic cataractogenesis. MS Thesis, Seoul Natl Univ. Korea
- Stephan ZF, Armstrong MJ, Hayes KC. 1981. Bile lipid alteration in taurine-depleted monkeys. *Am J Clin Nutr* 34:204-210
- Strasberg SM, Ilson RG, Palopheim JE. 1983. Bile salt-associated electrolyte secretion and the effect of sodium taurocholate on bile flow. *J Lab Clin Med* 101:317-326
- Sturman JA. 1988. Taurine in development. *J Nutr* 118:1169-1176
- Suzuki T, Nagao A, Suzuki T. 2011. Human mitochondrial tRNAs: biogenesis, function, structural aspects, and diseases. *Annu Rev Genet* 45:299-329
- Takeuchi S, Zhang W, Wakamatsu K, Ito S, Hearing VJ, Kraemer KH, Brash DE. 2004. Melanin acts as a potent UVB photosensitizer to cause an atypical mode of cell death in murine skin. *PNAS* 101:15076-15081
- Taylor A. 1989. Associations between nutrition and cataract. *Nutr Rev* 47:225-234
- Tiedeman F, Gmelin L. 1827. Einige neue bestandtheile der galle des ochsen. *Ann Physik Chem* 9:326-327
- Tokalov SV, Abramyuk AM, Abolmaali ND. 2010. Protection of p53 wild type cells from taxol by genistein in the combined treatment of lung cancer. *Nutr Cancer* 62:795-801
- Tsuyoyama-Kasaoka N, Shozawa C, Sano K, Kamei Y, Kasaoka S, Hosokawa Y, Ezaki O. 2006. Taurine (2-Aminoethanesulfonic Acid) deficiency creates a vicious circle promoting obesity. *Endocrinology* 147:3276-3284
- Um YS, Chung EJ, Oh JY, Park TS. 2000. Effects of chronic ethanol consumption and taurine supplementation on hepatic total and phospholipid fatty acid compositions in rats. *J Nutr Health* 33:124-133
- 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
- Wang GH, Jiang ZL, Fan XJ, Zhang L, Li X, Ke KF. 2007. Neuroprotective effect of taurine against focal cerebral ischemia in rats possibly mediated by activation of both GABAA and glycine receptors. *Neuropharmacology* 52:1199-

1209

- Wang L, Zhao N, Zhang F, Yue W, Liang M. 2009. Effect of taurine on leukocyte function. *Euro J Pharmacol* 616:275-280
- Wasserhess P, Becker M, Staab D. 1993. Effect of taurine on synthesis of neutral and acidic sterols and fat absorption in pre-term and full-term infants. *Am J Clin Nutr* 58:349-353
- Waterfield CJ, Turton JA, Scales MDC, Timbrell JA. 1993. The correlation between urinary and liver taurine levels and between pre-dose urinary taurine and liver damage. *Toxicology* 77:1-5
- Welles EG, Boudreaux MK, Tyler JW. 1993. Platelet, antithrombin, and fibrinolytic activities in taurine-deficient and taurine-replete cats. *Am J Vet Res* 54:1235-1243
- Wright E, Tallan E, Lin Y. 1986. Taurine: biological update. *Am Rev Biochem* 55:427-453
- Xu Y, Xin Y, Diao Y, Lu C, Fu J, Luo L, Yin Z. 2011. Synergistic effects of apigenin and paclitaxel on apoptosis of cancer cells. *PLoS One* 6:e29169
- Yan CC, Bravo E, Cantafora A. 1993. Effect of taurine levels on liver lipid metabolism: An *in vivo* study in the rat. *Proc Soc Exp Biol Med* 202:88-96
- Yim SB. 2004. Chemical and fermentation characteristics of taurine added Kimchi. Ph. D. Thesis, Sejong Univ. Korea
- Yokogoshi H, Mochizuki H, Nanami K, Hida Y, Miyachi F, Oda H. 1999. Dietary taurine enhances cholesterol degradation and reduces serum and liver cholesterol concentrations in rats fed a high-cholesterol diet. *J Nutr* 129:1705-1712
- Yokogoshi H, Oda H. 2002. Dietary taurine enhances cholesterol degradation and reduces serum and liver cholesterol concentrations in rats fed a high-cholesterol diet. *Amino Acids* 23:433-439
- 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
- Zhang M, Bi LF, Fang JH, Su XL, Da GL, Kuwamori T, Kagamimori S. 2004. Beneficial effects of taurine on serum lipids in overweight or obese non-diabetic subjects. *Amino Acids* 26:267-271
- Zhou J, Li Y, Yan G, Bu Q, Lv L, Yang Y, Zhao J, Shao X, Deng Y, Zhu R, Zhao Y, Cen X. 2011. Protective role of taurine against morphine-induced neurotoxicity in C6 cells via inhibition of oxidative stress. *Neurotox Res* 20:334-342

Received 8 July, 2015

Revised 10 October, 2015

Accepted 13 October, 2015