

아연 영양상태의 평가 (Assessment of Zinc Status)

서울대학교 식품영양학과
백 희 영

아연은 인체에 1.5-2g 정도로 존재하며 다양한 생리적 기능을 수행하는 미량무기질로 사람에게서 아연의 결핍증이 보고된 1960년대 이래 필수영양소로서의 중요성은 널리 알려져 있다. 아연이 부족하면 성장이 저하되고 생식기능, 면역반응, 미각능력감퇴, 피부염등 다양한 증상이 나타나며 각종 질병에 대한 저항력의 감소로 질병감염율이 증가한다(Hunt & Groff, 1990; Cousins, 1996). 아연은 여러 종류의 식품에 널리 분포하므로 정상적인 식사를 하는 성인에서 심한 결핍이 발생하는 예는 드물지만, 식사중의 함량이 권장량에 비하여 낮은 경우가 많아 경계결핍(marginal deficiency)은 비교적 많을 것으로 우려된다. 특히 성장기, 임신기등 아연의 필요량이 상대적으로 높을 때, 아연 결핍의 위험은 증가한다.

인체 내에서 아연의 기능에 대한 생화학적인 연구는 매우 활발한 반면 아연의 영양상태 평가는 아직 방법론적인 제한이 많아 인체에 적절한 아연의 섭취 범위를 추정하는 데에 많은 어려움을 주고 있다(King, 1990). 정확한 영양상태 평가 자료는 적절한 영양소 섭취범위를 확립하기 위하여 꼭 필요한 자료이다. 우리 나라에서는 1995년에 제정된 한국인 영양권장량 제 6차 개정에서 처음으로 아연의 권장량이 설정되었다(한국영양학회, 1995). 그러나 당시에 자료가 매우 제한된 여건에서 제정되었으므로 앞으로 보다 타당한 적정 섭취범위를 제정할 수 있도록 우리 나라 사람들의 아연 영양상태를 정확히 평가하기 위한 다각적인 노력이 요구된다고 생각된다. 본 논문에서는 아연의 영양상태 평가의 중요성과 많이 사용되는 평가방법을 살펴보고 우리 나라 사람들의 아연 영양상태에 관한 자료를 검토하여 앞으로 아연의 영양상태를 향상시키고 타당한 적정섭취범위를 제정할 수 있는 방안에 대하여 고찰하고자 한다.

1. 영양상태 평가의 의의와 주요 방법

영양상태와 그 평가방법

영양상태란 인체가 필요한 영양소의 양(requirement)과 영양소 섭취량(intake)의 관계에 의하여 결정되는 'nutritional health'로서 섭취량이 필요량에 비하여 부족하거나 너무 많을 때에는 결핍상태(deficiency)와 과잉상태(overnutrition, toxicity)가 되며 적절한 섭취수준을 유지할 때에 최

적의 상태(optimal status)를 유지하게 된다. 최적 상태란 각 영양소에 대하여 체내에서 (1) 모든 대사적 기능을 수행하고, (2) 저장을 포화시킨 상태라고 할 수 있다(Wardlaw & Insel, 1993). 영양소의 섭취량이 필요량보다 적을 경우, 인체에서는 저장량을 이용하여 대사적 기능을 수행하므로 영양소의 생화학적 기능에는 아무런 손상이 없고 섭취량이 많을 때에 사용된 저장을 다시 보충한다. 그러나 섭취량이 지속적으로 부족하면 저장량이 모두 고갈되어 기능을 하도록 보충할 수 없게 되고 나아가 임상적 결핍이 초래된다. 반면, 영양소 섭취량이 너무 많으면 체내에 과잉으로 축적되고 생리적 기능에 손상을 주는 독성을 나타내게 된다. 영양상태는 연속적인 스펙트럼이므로 각 개인이 어떤 상태에 있는가를 여러 방법을 이용하여 평가한다(Gibson, 1990).

영양상태를 평가하는 방법은 신체의 일부 부위나 체구성을 측정하는 신체계측(Anthropometry), 신체에서 채취한 시료를 이용하여 영양소의 기능과 저장 지표를 측정하는 생화학적 평가(Biochemical assessment), 임상적 결핍증상을 관찰하는 임상적 방법(Clinical assessment), 섭취량의 적절성을 평가하는 식이섭취조사(Dietary assessment)방법등이 기본적인 방법이며 신체적 기능의 수행(Functional assessment)을 평가하는 것이 바람직하다고 하나 아직 많이 사용되고 있지는 않다.

영양평가와 식이섭취기준 설정

오랫동안 영양소는 결핍되면 건강에 해롭지만 많이 섭취하는 것은 별로 해롭지 않다고 하여 최적의 상태란 즉 결핍되지 않는 상태로 생각되었고 이러한 개념이 권장량(Recommended Dietary Allowances; RDA)을 설정하는 데에 기본이 되었다. 권장량이란 대상 인구 층에서 체내의 영양상태를 최적으로 할 수 있는 것으로 생각되는 섭취수준이었으며 대상 인구의 필요량의 분포를 고려하여 그 대부분이 필요량을 충족시키는 수준으로 제정하였다. 여기에서 사용되는 필요량이란 최저필요량(minimum requirement)을 말하는 것으로 영양소 섭취가 제한되는 여건에서 인체로부터의 손실을 보충할 수 있는 양을 말한다(NRC, 1989; WHO/FAO/UNU, 1985; King, 1995). 이 때에 최저필요량의 자료는 영양소 섭취가 제한되는 상태에서 평형을 이룰 수 있는 최소의 수준을 찾는 평형연구(balance study), 체내에서 영양소가 손실되는 양을 기초로 계산하는 요인법(factorial method), 체내의 영양소를 엄격히 조절하여 대사적 변화를 보는 고갈-보충연구(depletion-repletion study)등이 가장 적절한 것으로 생각되었다. 그러나 이러한 자료들은 실제 사람들의 식생활과 매우 다른 조건에서 연구되는 것으로 인체의 대사적 적응현상등이 고려되지 못하는 것으로 지적되었다. 이러한 자료들이 없는 경우에는 영양결핍이 없는 것으로 보이는 건강한 사람들의 섭취량을 조사하여 그 평균값을 기준으로 권장량을 제정한다. 영양상태가 섭취량과 체내의 필요량에 의하여 결정됨을 고려할 때 적정섭취수준이란 영양상태가 최적인 섭취수준을 기준으로 제정됨이 타당하며 그러기 위해서는 인구집단을 대상으로 섭취량과 영양상태를 측정한 역학적 자료를 함께 사용하는 것이 타당할 것으로 제안되었다(King, 1995).

더욱이, 최근 미국에서 영양권장량 개정 작업을 하면서 식이 섭취 기준을 종전의 권장량이라는 단일 수치로 제시하는 것의 제한점을 인식하고 이를 식이섭취기준(Reference Dietary Intake; RDI)으로 전환하였다. 식이섭취기준은 평균필요량추정치(Estimated Average Requirement; EAR), 적정섭취량(Adequate Intake; AI), 권장량(RDA), 최대허용수준(Tolerable Upper Intake Level; UL)등 여러 가지를 영양소에 따라 적절하다고 생각하는 것을 제시하는 것이다(Anonymous, 1997). 이러한 개정 작업을 추진하기 위하여 여러 개의 위원회가 제정되었으며 작년도에 제 1차로 칼슘, 인, 마그네슘, vitamin D, 불소에 대한 기준을 발표하였으며, 올해에는 제 2차로 비타민 B군에 대한 기준을 발표하였다. 칼슘의 경우에는 적정섭취량(AI)으로 남, 녀의 구분 없이 19세-50세까지는 1일 1,000mg, 50세 이상은 1,200mg을 제시하였고, 인의 경우 칼슘과 동량을 권장하였던 종래의 권장량으로부터 크게 변경하여 19세 이상의 성인인 1일 750mg을 권장량(RDA)으로 정하였다. 칼슘과 관련영양소의 경우 최대허용수준(UL)도 제시하여 성인의 경우 하루에 칼슘은 2.5g, 인 4g, 마그네슘 350mg, vitamin D 50 μ g, 불소 10mg 이상을 섭취하지 않도록 제시하고 있다. 종전의 권장량에서 크게 문제시되었던 엽산의 경우에는 성인 남, 녀 모두 1일 400 μ g으로 다시 증가시켰다. 이렇게 다양한 섭취 기준을 제시할 수 있으려면 인구층의 영양소 섭취량과 영양상태에 대한 정확한 평가자료가 앞으로 더욱 필요하게 될 것이다.

II. 아연 영양상태 평가 방법

아연의 영양상태를 정확히 평가하는 방법은 아직 확실히 확립된 것이 없으며 이는 아연 영양 문제의 파악과 섭취기준 설정에 어려움이 되고 있다. 신체계측은 아연부족으로 성장이 정지된 성장기 어린이의 아연상태 평가에 사용될 수 있으나 대부분의 경우 단백질-열량결핍이 함께 존재하므로 사용에 제한이 될 수밖에 없다. 식이섭취평가는 많은 지역에서 적합한 성분표가 없어 섭취량을 정확히 추정하기 어려우며 임상적 평가는 대부분의 다른 미량영양소의 경우와 마찬가지로 심한 결핍상태에서만 관찰이 가능하고 specificity가 낮은 단점이 있다. 아연 영양상태 평가에서 많이 사용되거나 사용될 가능성이 있는 것을 살펴보면 다음과 같다.

식이섭취평가(Dietary Assessment)

다른 영양소의 경우와 마찬가지로 아연의 식이섭취평가는 대상자들이 섭취하는 식사의 내용을 조사한 후, 각 식품의 아연함량을 이용하여 섭취량으로 환산한다. 아연의 섭취량 평가에서 고려되어야 할 점은 아연의 절대적 섭취량과 섭취한 아연의 이용률(bioavailability)이다. 아연은 꿀, 조개 등의 해산물과 간, 육류등에 많이 들어 있고 이용률도 높다. 그러나 곡류, 두류등 식물성 식품에도 비교적 많이 들어있어 여러 종류의 식품으로부터 섭취가 가능하다.

아연은 소장의 전 부분에서 흡수되며 일반적인 식생활을 하는 조건에서는 주로 운반체에 의한

(carrier-mediated) 흡수기전으로 흡수되며 흡수율은 식이의 내용과 아연 영양상태에 따라 15~55% 정도로 차이가 크다. 아연이 부족한 상태에서는 아연 흡수율이 증가하며 섭취량이 증가하면 흡수율은 감소하나 흡수되는 절대량은 증가한다. 식이의 여러 가지 요인이 아연의 이용률에 영향을 미치는데 아연 흡수율을 감소시키는 대표적인 물질로는 곡류등에 들어 있는 피틴산(phytate)으로 피틴산은 아연과 결합하여 불용성복합체를 형성하므로 흡수를 방해하며 피틴산과 함께 칼슘이 고농도로 존재할 때에는 불용성복합체의 형성이 더욱 증가한다. 반면 동물성단백질은 아연의 흡수율을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 따라서 식이의 종류에 따라 높은 이용률 식이(A), 보통 이용률 식이(B), 낮은 이용률 식이(C)로 나눈다(WHO, 1996). A형의 식이는 곡류는 도정된 것으로 소량 섭취하고 육류가 많이 함유된 식사로 이용률은 50~55%, B형의 식이는 육류와 생선이 포함된 혼합식이므로 아연의 이용률은 30~35%이며 C형의 식이는 통밀등 도정하지 않은 식물성 식품이 많이 함유된 식사로 이용률은 섭취량에 관계없이 15%정도이다. 이러한 기준에서 볼 때, 우리 나라의 식이는 식이구성에 따라 B형으로 아연의 흡수율은 30~35% 정도이거나 동무성 식품의 섭취가 적은 경우 C형으로 흡수율이 15%정도에 불과할 수도 있는 것으로 생각된다. 그러나 Harland등은 식이 아연의 이용률을 피틴산과 아연의 함량에만 의존하여 $Phy : Zn$ 의 몰비율이 15~30 이면 흡수율이 15%, $Phy : Zn$ 몰비율이 15 미만이면 30%로 추정하여 일반적으로 흡수율을 낮게 평가하였다(Harland등, 1988). 더우기 일반적으로 식품의 phytate 함량에 대한 자료가 제한되므로 $Phy : Zn$ 의 몰농도를 구하기 어렵다.

아연의 적정 섭취 기준으로 우리 나라에서는 성인 남자는 1일 15mg, 성인여자는 1일 12mg을 권장하며, 1989년에 제정된 미국의 권장량과 같은 수준이다. 최근 WHO 에서는 미량무기질의 섭취기준을 제정하는 데에 필요량(requirement)을 기초필요량(basal requirement)과 정규필요량(normative requirement)으로 나누어 고려하였으며 독성을 예방할 수 있는 최대허용섭취기준도 적용하였다(WHO, 1996). 기초필요량이란 임상적으로 결핍에 의하여 나타나는 병리적 현상을 막을 수 있는 섭취량을 말하며 정규필요량이란 체내의 조직 수준이나 저장량을 정상적으로 유지시킬 수 있는 섭취량을 말한다. 아연은 결핍 시에 배설량을 극도로 낮추고 조직의 수준을 최대한으로 보존하는 제 2형의 반응을 보이는 영양소로 이러한 개념의 차이가 중요하게 적용되어야 할 대표적인 영양소이다. 영양소 섭취 기준은 영양상태를 최적으로 유지시킬 수 있는 수준이어야 하므로 기초필요량에 근거하여 계산한 기초섭취 기준보다는 정규필요량에 근거하여 산출된 정규섭취 기준이 더욱 적절하다고 하겠다. 섭취량이 정규섭취기준보다 낮으나 기초섭취기준보다 높으면 생리적 기능의 손상 위험이 증가하며 섭취량이 기초섭취 기준보다도 낮을 때에는 심각한 결핍증상이 우려된다. 이용률이 보통정도인 B형의 식이를 기준으로 체중 65kg인 성인 남성의 정규 섭취 기준은 9.4mg, 기초섭취 기준은 5.7mg이며 체중 55kg인 성인 여성은 각각 6.5mg, 4.0mg으로 계산되었다. 이용률이 15%인 C형의 식이에서 섭취기준은 남자 18.7mg과 13.4mg, 여자 13.1mg과 9.4mg으로 각기 증가한다. 최대허용섭취기준은 남, 녀 모두 1일 40mg이다.

생화학적 평가법 (Biochemical Assessment)

생화학적 평가법은 생체로부터 sample 을 채취하여 영양소 및 관련 화합물의 함량을 측정하거나(static test) 영양소의 기능을 측정(functional test)하는 것으로 각 영양소마다 가장 적절한 sample과 지표(indicator)를 선정하여 시행한다. 이 방법의 장점은 좋은 지표가 존재하는 경우에는 직접 체내의 영양소 저장량이나 기능을 평가할 수 있으므로 가장 좋은 평가방법이라고 하겠다. 그러나 영양소에 따라 이용할 수 있는 예민한 지표에 제한이 있고 사용할 수 있는 sample의 종류에도 제한이 있으므로 사용에는 한계가 있다(Gibson, 1990). 아연의 경우에도 여러 가지 지표들이 사용되어 왔으나 아직 학계에서 sensitivity와 specificity가 충분히 인정받은 방법이 없다. 이제 까지 사용되어 온 아연의 생화학적 평가방법에 대한 review 논문들이 최근에도 여러편 발표되었는데 그 내용을 간단히 요약하면 다음과 같다(Gibson, 1990; King, 1990; Walsh 등, 1994; Cousins, 1996; Sandstead & Smith, 1996).

혈장/혈청 아연 (Plasma/Serum Zinc) : 혈장/혈청 아연은 가장 널리 쓰이는 아연 영양상태의 생화학적 지표이다(Gibson, 1990). 그러나 혈장/혈청의 아연은 항상성에 의하여 조절되므로 심한 결핍상태에서만 감소하고 한계 결핍에서는 잘 변화하지 않는다. 아연의 약한 결핍시에는 배설량을 감소시키거나 성장속도를 지체하거나 멈춤으로써 조직의 아연을 유지하며 심한 결핍에서만 조직의 아연이 손실된다. 혈장 아연은 결핍시에 사용될 수 있는 교환가능 pool(exchangeable pool)의 일부이며 그 이외에 간, 신장, 뼈등으로부터 아연이 이동하여 이용되거나 근육의 아연은 이용되지 못한다. 따라서 아연의 교환가능 pool은 매우 제한되며 혈장 아연은 그 크기를 나타내 주는 지표이기도 하다. 이와 같이 혈장 아연은 초기 결핍을 반영할 수 있는 예민도가 떨어지며 또한 채혈시간, 식사 후 경과 시간, 채혈 전의 식사내용, 호르몬 상태, 스트레스, 감염, 질환등에 의하여 수준이 달라지므로 아연 영양상태의 정확한 지표로는 제한이 있다(King 등, 1994; Hambidge 등, 1990).

혈구의 아연 (Erythrocyte and Leukocyte Zinc) : 혈구의 아연 함량은 비교적 장기간의 부족상태를 나타내는 것으로 보인다. 적혈구는 반감기가 120일 정도로 매우 길기 때문에 체내 아연 저장의 변화를 신속하게 반영하지 못하는 것으로 보인다. 또한 아연은 막의 안정성에 중요한 역할을 하여 아연 결핍은 적혈구의 용혈현상을 증가시키므로 적혈구의 아연이 혈장으로 나와 아연 고갈시 혈장 아연의 증가 원인이 되는 것으로 보인다. Buerk 등(1973)은 아연고갈연구에서 저아연 식이를 90일까지 지속시켰을 때 적혈구 아연 농도 감소는 21% 정도였다고 보고하였다. Thomas(1992) 등의 연구에서 적혈구 아연은 아연고갈단계에서 감소하였다. Abdallah 와 Samman(1993)은 1일 50mg 의 아연을 12일간 보충하였을 때에 적혈구의 아연 농도에 유의적인 변화가 없었다고 하였다.

백혈구는 적혈구보다 25배까지 높은 아연을 함유하며 초기의 보고들에서 적혈구나 혈장의 아연보다 백혈구의 아연농도가 아연의 영양상태나 체조직의 함량을 잘 반영하는 것으로 보고되었

다. 그러나 백혈구 아연이 식이 섭취량을 민감히 반영하는가에 대한 연구결과들의 보고가 엇갈리며 백혈구중에도 종류에 따라 반응이 다를 것으로 생각되지만 실제로 백혈구를 충분한 양을 얻기가 어렵고 특히 이를 종류별로 분리하는 것이 매우 어렵기 때문에 현실적으로 survey 연구에서 사용되기엔 부적절하다(Gibson, 1990).

소변의 아연 (Urinary Zinc) : 질병이 없는 건강한 성인에서 소변의 아연 배설량은 식이에 따라 변화하며 특히 아연 섭취가 급격히 감소할 때 소변중의 아연 배설량은 빠르게 감소하는 것으로 보고되고 있다(Baer & King, 1984; Ruz등, 1991; Thomas, 1992). 아연은 섭취가 부족할 때 체외로 배설되는 양을 감소시키고 조직의 양을 보존하는 제 2형의 반응을 보이는 영양소이므로 소변의 아연 배설량은 체내상태보다는 최근의 섭취량을 민감하게 반영한다(King, 1990; Cousins, 1996). 그러나 아연 섭취가 낮을 때 배설량이 감소하는 것은 주로 대변을 통한 배설량이 많이 감소하기 때문이며 이는 endogenous secretion의 감소에도 기인한다. 또한 1일 50mg, 100mg수준의 아연을 보충하였을 때, 소변의 아연 배설량은 50mg 보충에서는 별 변화가 없었고 100mg 보충에서만 증가하여 소변의 배설량이 과잉 섭취를 반영하지 못하는 것으로 보인다(Verus & Sammon, 1994). 소변중 배설량은 개인에 따라, 날에 따라 변화가 심하며 질환등에 의하여 영향받기 쉬우므로 영양상태의 정확한 지표로 사용되기에는 제한이 있다.

머리카락의 아연 (Hair Zinc) : 머리카락의 아연함량은 장기간의 아연상태를 반영하며 혈장 아연에 비하여 더 안정적인 것으로 평가된다. 머리카락의 아연함량이 낮은 것은 사춘기 소년들의 아연결핍이 보고된 중동지방의 연구에서 처음 보고되었으며(Strain등, 1966) 그 후에도 여러 연구들에서 아연 영양상태가 나쁜 경우에 함량이 낮은 것으로 보고되었다. Gibson과 Huddle(1998)은 Malawi 의 임신부를 대상으로 시행한 연구에서 Phy : Zn의 물비율이 높은 대상자들에서 머리카락 아연이 낮다고 하였다. 그러나 머리카락의 아연 함량은 머리카락의 성장속도와 분석하는 길이에 따라 이전의 4-8주의 아연상태를 반영한다고는 하나 계절, 분석방법등의 영향을 받는다.

침의 아연농도(Salivary Zinc Concentration) : 아연은 맛감지(taste acuity)에 중요한 단백질인 gustin의 구성요소로 알려져 있고 아연 결핍 시에는 맛감지능력이 감소하므로 침의 아연 농도가 아연 영양상태에 따라 달라질 것으로 생각되었다(Henkin등, 1971). 그러나 여러 연구에서 아연 섭취나 영양상태와 침의 아연농도사이에 유의적인 관계가 관찰되지 않아 평가지표로서의 중요성은 아직 입증되지 못하고 있다.

아연 의존 효소 (Zinc-Dependent Enzymes) : 미량영양소를 보조인자로 사용하는 효소들은 관련 영양소 상태의 기능적 평가방법으로 매우 유용하게 사용될 수 있다. 아연은 생체내에서 200여가지 효소의 보조인자로 사용되나 그중 아직까지 영양상태의 평가에 이용된 것은 극히 소수이다. 가장 많이 사용되는 것은 각 subunit에 아연을 포함하는 dimeric protein인 alkaline phosphatase(ALP)이다. 그러나 ALP 활성 역시 다른 요소들의 영향을 많이 받아 아연의 상태에 specific 하게 반응하지 않는 것으로 보인다(Ruz등, 1997). 최근 혈장의 extracellular superoxide

dismutase(EC-SOD)가 아연섭취량을 반영하여 활성이 변하는 것으로 보고되어 아연의 생화학적 평가지표로서 가능성을 보여주고 있다. Olin등(1995)이 성장기 쥐와 사춘기의 원숭이를 대상으로 시행한 실험에서 성장기의 쥐에서는 3주간 아연이 부족한 식이를 섭취시켰을 때 혈장의 아연, 구리의 함량 및 EC-SOD 활성이 대조군에 비하여 모두 감소하였으나, 사춘기의 원숭이에서는 아연 함량이 낮은 식이를 12개월, 18개월간 공급하였을 때 혈장의 아연과 구리 농도가 대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았으며 EC-SOD 활성만이 유의적으로 낮았다. 최근 아연 섭취량이 낮은 우리 나라 농촌 성인을 대상으로 EC-SOD 활성을 측정하였을 때 혈장 아연이 아주 낮은 대상자들에서 활성이 낮아 인체의 아연 상태 평가에 사용할 수도 있을 것으로 보인다(Paik등, 1998).

Metallothionein : Metallothionein은 cystein 함량이 높고 금속과의 결합력이 높은 저분자량의 단백질로 대부분의 조직에서 발견된다. 정상적인 신체내 조건에서 metallothionein은 아연과/또는 구리와 결합하며 조직의 metallothionein 함성은 아연 섭취와 관계가 깊다. 아연 섭취가 부족할 때, metallothionein은 거의 합성되지 않으며 아연을 주입하거나 섭취를 증가시킬 때 함성이 증가하는 것으로 보고되고 있다. 따라서 혈장 metallothionein 농도를 혈장 아연과 함께 사용하는 것이 아연 상태 평가에 적절한 것으로 제안되었다(King, 1990). 여러 연구들에서 특히 적혈구 metallothionein이 아연섭취변화를 반영하는 것으로 보고되었으나(Grider등, 1990; Thomas등, 1992; Lee & Nieman, 1996) 좁은 범위의 아연 섭취의 차이를 반영하기에는 제한이 있는 것으로 보인다.

기타 평가방법 (Other Methods)

경구 아연 내용 검사(Oral Zinc Tolerance Test; ZTT) : 아연내용검사는 공복상태에서 과량의 아연(보통 25mg 또는 50mg을 zinc acetate 형태로 섭취)을 경구 섭취한 후 혈장 아연농도를 측정하는 것으로 plasma appearance test라고도 한다. 이는 아연 흡수율을 반영할 수 있는데 아연 흡수율은 체내 아연이 결핍일 때에 증가하므로 아연 상태 평가에 이용할 수 있다(Gibson, 1990; Cousins, 1996). 그러나 사람에 따라 반응곡선에 차이가 있으므로 각자 자신을 대조로 하여 아연 섭취후의 반응을 비교하는 것이 더욱 타당한 것으로 제안되었다(Abu-Hamdan등, 1986). Valberg(1985)는 아연동위원소를 이용한 흡수율과 비교하여 ZTT 결과가 아연 흡수를 반영한다고 하였다. Fickel등(1986)은 아연 섭취후 혈장 아연의 증가는 저아연식을 섭취한 후에 증가하였으나, 아연 보충기간에는 증가정도가 훨씬 높아 ZTT 결과의 해석이 어렵다고 하였다. ZTT는 공복시에 시작하여 여러번에 걸쳐 혈액을 채취해야하므로 일반적인 영양상태조사에서 실시하기 어렵다.

맛감지능력 검사 (Taste Acuity Tests) : 맛 감지능력의 저하는 아연 결핍된 어린이와 성인에게 나타나는 특징중의 하나로 아연 결핍의 기능적 지수(functional index)로 사용할 수 있다(Gibson, 1990; Gibson등, 1989; Henkin, 1984). 아연 상태 이외에도 검사시간, 식사 후 경과시간,

피검사자의 연령, 검사자, test 물질의 양, 허의 반응부위등 여러 가지 조건이 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 검사 standard procedure 가 개발되어야할 것으로 생각된다

III. 우리 나라 사람들의 아연 영양상태 평가 자료

식이섭취평가자료

아연섭취량과 아연 밀도 : 우리 나라 사람들의 아연 영양섭취량에 대한 자료는 극히 제한되어 있다. 그 가장 큰 이유는 우리 나라 식품영양가표(한국영양학회, 1995)나 식품성분표(농촌영양개선연수원, 1991)에 아연 함량이 일부 식품에 한하여만 함량이 따로 나와 있으므로 섭취량 추정 에 제한이 있기 때문이다. 이미 보고된 아연 섭취량의 자료를 보면 오영주등(1987)은 농촌의 40대 주부 45명을 대상으로 하루동안 섭취한 식이를 동량 수거(duplicate collection)하여 분석한 결과 아연 함량이 15.8mg 으로 비교적 높은 수준을 보고하였는데 이들의 열량 섭취량은 1,970kcal로 보고되었으므로 이들 식사의 아연밀도는 8.0mg/1,000kcal 로 매우 높다. 이주연등(1996)도 농촌 40대 남, 녀 30명을 대상으로 하루동안의 식이를 동량 수거(duplicate collection)하여 분석한 결과 아연 함량이 남자는 8.2mg, 여자는 8.4mg으로 보고하여 남·녀간에 차이가 없었다. 이들의 열량 섭취량은 각기 1일 평균 2,176kcal와 1,587kcal였으므로 아연밀도를 계산해 보면 남자는 3.77mg/1,000kcal, 여자는 5.29mg/1,000kcal 가 되어 여자가 훨씬 아연 밀도가 높게 나온다. 반면 박진순과 천종희(1993), 오현미와 윤진숙(1997)은 한국 식품영양가표와 미국 식품성분표를 합하여 아연 섭취량을 계산하였다. 박진숙과 천종희(1993)는 남, 녀 대학생 50명을 대상으로 아연 섭취량을 계산한 결과 1일 아연 평균 섭취량은 남자가 8.52mg, 여자가 6.42mg 으로 아연밀도는 모두 4.1mg/1,000kcal 정도였다. 오현미와 윤진숙(1997)은 20~64세의 대구지역 여성 102명의 아연 섭취를 계산하였을 때 평균 5.9mg, 아연 밀도는 3.6mg/1,000kcal로 위의 결과와 비슷하였다. 이주연 등(1998)은 식품영양가표의 아연함량을 여러 가지로 보완하여 아연 영양가표를 작성하여 30세 이상의 남,녀 농촌성인 2,037명의 아연 섭취량을 계산하였다. 새로이 작성한 아연성분표에 의하여 계산된 아연 섭취량은 1일 평균 남자 7.0mg, 여자 5.2mg으로 전체평균 6.0mg으로 나타났으며 이는 보완하기전의 아연함량표에 의한 계산치 4.2mg 에 비하여 43% 가량 증가한 수치이다. 이들의 아연 밀도는 3.7mg/1,000kcal로 위에 제시된 오현미와 윤진숙의 결과와 비슷하다. 같은 아연함량 표를 이용하여 서울지역 남, 녀 대학생 각 561명과 307명의 아연 섭취량을 계산하였을 때, 남학생의 섭취량은 1일 평균 9.0mg, 여학생은 6.8mg으로 남학생이 높았으나 식사의 아연밀도는 각각 3.4mg/1,000kcal, 3.5mg/1,000kcal로 비슷하였다(백희영등, 미발표자료). 이상의 결과를 볼 때, 한국 사람들의 아연 섭취량을 각기 다른 3가지의 보완된 성분표를 사용하여 계산한 결과가 비교적 비슷하게 나타나 성인 여자는 5~7mg, 성인 남자는 7~9mg 정도이며 아연밀도는 3.5~4.1mg/1,000kcal 정도이다. 한국인 영양권장량을 기준으로 할 때, 적정 아연밀도는 남, 녀 모두

6mg/1,000kcal이므로 식사의 아연 함량을 높이기 위한 노력이 있어야 적정 수준의 아연을 섭취할 수 있을 것으로 생각된다.

식이 아연의 급원과 이용률 : 한국 식이는 곡류 위주의 식사로 아연의 이용률이 비교적 낮을 것으로 우려된다. 오현미와 윤진숙(1997)은 성인여성 102명을 대상으로 식품섭취빈도조사를 이용하여 아연 섭취를 구하였을 때 총 섭취량 6.24mg 중 어패류에서 섭취한 비율이 26.9%, 육류 25.6%, 곡류 24.8%, 난류 및 유제품 14.7%, 두류 7.7%, 과일 및 채소류 1.4%로 동물성 식품으로 공급된 아연의 비율이 전체의 67.2%로 나타났다. 그러나 이주연등(1998)이 농촌성인을 대상으로 24시간 회상법으로 조사한 결과에서는 곡류 및 그 제품으로부터 섭취한 것이 총 섭취량의 38.2%에 달하였으며 육류 26.1%, 어패류 9.1%, 두류 8.8%, 채소류 8.5%, 감자류 6.9%등으로 나타나 1일 아연 섭취량중 67.6%가 식물성식품으로부터 섭취되었다. 또한 대학생들 대상으로 조사한 결과에서도, 곡류의 비중이 35.4%로 가장 높았고 육류 29.1%, 어패류 5.1%, 두류 3.8%, 채소류 7.6%, 유제품 7.6%, 계란류 3.8%로 식물성 식품으로부터 섭취하는 아연이 54.4%로 농촌지역에 비해서는 현저히 낮으나 높은 편이다(미발표자료).

이와 같이 곡류를 비롯한 식물성 식품으로부터 섭취되는 아연의 비율이 높은 것을 볼 때 우리나라 식이의 아연 이용률이 낮을 것으로 우려된다. 식품중 phytate 함량 자료(Oberleas & Harland, 1981)를 인용하여 우리나라 식이의 대체적인 phytate 함량 및 $Phy : Zn$ 몰비율과 $Phy \times (calcium)/zinc$ 를 계산해 보았다. 농촌성인의 식이에서 1일 phytate 함량은 2,926.5mg으로 계산되어 $Phy : Zn$ 몰비율과 $Phy \times (calcium)/zinc$ 는 각기 47.4과 283.0mM/1,000kcal 이었다. 대학생들의 식이에서는 1일 식사의 phytate 함량은 3,817mg이었고 $Phy : Zn$ 몰비율과 $Phy \times (calcium)/zinc$ 는 각기 44.5와 295.5mM/1,000kcal로 농촌성인의 수치와 비슷하였다. 식이의 $Phy : Zn$ 몰비율이 15이상이면 아연이용률이 낮다고 제안되었으며(WHO, 1996) Ellis등(1987)은 $Phy \times (calcium)/zinc$ 이 200mM/1,000kcal이상이면 아연결핍의 위험이 높다고 하였으므로 우리나라 식이의 아연 이용률은 매우 낮은 것으로 평가된다. Harland와 Peterson(1978)은 미국인의 평균 섭취량조사에서 $Phy \times (calcium)/zinc$ 은 43mM/1,000kcal, 채식주의자의 식사에서는 316mM /1,000kcal로 보고하여 우리나라 사람들의 비율은 그 사이에 있음을 알 수 있다.

적정섭취기준과의 비교 : 이상의 자료들을 종합하면 한국인의 아연 섭취량은 1일 평균 5-9mg 정도로 성별, 연령별로 약간의 차이가 있으며 한국 식사의 아연 밀도는 3.6-4.1mg/1,000kcal 정도이나 이용률이 낮을 것으로 생각된다. 농촌성인 2033명과 서울지역 대학생 868명의 섭취수준을 기존에 보고된 자료들의 percentile 수치와 비교한 것이 <표 1>에 제시되어 있다. 모든 우리나라 사람들은 모든 group에서 각 percentile에 해당하는 섭취량이 낮아 아연 섭취수준이 매우 저조함을 나타내 준다. 우리나라 사람들의 아연 섭취 상한을 99 percentile 수치로 제시한 것은 극히 일부 대상자가 아주 높은 수준을 섭취하였기 때문이다. 최대허용기준인 40mg 이상을 섭취한 대상자는 농촌의 남성 3명과 여대생 1명이었다. 이것은 본 조사 자료가 1회

의 24 시간 회상자료이기 때문에 과다한 섭취를 한 경우가 나타난 것으로 생각된다.

이들의 섭취량을 보통이용률(B형)식사와 낮은 이용률(C형)에서의 기초섭취기준 및 정규섭취기준(WHO, 1996)을 적용하여 이에 해당하는 대상자의 비율을 비교한 것이 <표 2>에 제시되어 있다. 우리 나라 식사가 보통의 아연이용률을 갖는 것으로 가정했을 때 체내저장량의 고갈을 가져올 수 있는 정규섭취기준 미만을 섭취하는 대상자는 농촌성인에서 75% 이상이고 대학생에서도 50%가 넘었으며 생리적인 결핍증상을 가져올 우려가 있는 기초섭취기준 미만 섭취자의 비율도 농촌은 40%이상, 대학생은 20%에 가까웠다(<표 2>, 가). 우리 나라 식이가 낮은 아연 이용률식사라고 가정하면 농촌성인의 90%이상, 대학생의 80%이상 이 기초섭취수준미만으로 극심한 아연 부족이 우려된다고 볼 수 있다(<표 2>, 나).

이상의 결과들을 종합해 볼 때, 아연의 섭취량이 부족함은 여러 자료에서 공통적으로 나타나는 현상이고 아연의 이용률도 낮을 것으로 우려된다. 아연 섭취 부족한 대상자의 비율은 아연의 이용률을 어느 정도로 보느냐에 따라 비율에 차이가 있으나 남, 녀 모두에서 상당한 비율로 존재하는 것으로 볼 수 있겠다.

생화학적 평가 자료

혈청 아연 농도 (Plasma Zinc Concentration): 위에 제시된 박진순과 천종희(1993)의 연구에서 보충시작 전 대학생들의 혈청아연 농도는 남자가 평균 $67.44 \mu\text{g/dl}$ ($10.4 \mu\text{mol/l}$), 여자가 평균 $60.33 \mu\text{g/dl}$ ($9.3 \mu\text{mol/l}$)로 모두 평균치가 적정수준인 $10.7 \mu\text{mol/l}$ 에 비하여 낮았다. 이들에게 1일 30mg의 아연보충을 2주간 시킨 후 이들의 혈청 아연농도는 남, 녀 각기 $78.8 \mu\text{g/dl}$ ($12.1 \mu\text{mol/l}$)와 $76.4 \mu\text{g/dl}$ ($11.7 \mu\text{mol/l}$)로 유의적으로 증가하였으나 4주, 6주후에는 다시 처음 수준으로 돌아왔다. 반면 이주연등(1996)은 농촌의 40대 남, 녀의 혈청 아연이 $142 \mu\text{g/dl}$ ($22.0 \mu\text{mol/l}$)로 비교적 높게 보고하였다. Paik등(1998)은 30대 이상의 농촌지역 성인 444명의 혈청 아연농도를 측정하였을 때, 남자는 평균 $11.3 \mu\text{mol/l}$, 여자는 $10.9 \mu\text{mol/l}$ 로 비슷하나 70세 이상의 여성노인들이 특히 낮았다. 이들중 혈청농도가 $10.7 \mu\text{mol/l}$ 이하인 대상자는 전체의 44.6%나 되었고 10%의 대상자는 $9 \mu\text{mol/l}$ 미만으로 혈청 수준이 매우 낮았다. 같은 연구자들이 서울지역 여자대학생 110명을 대상으로 혈청 아연 농도를 측정하였을 때 평균농도는 $14.1 \mu\text{mol/l}$ 로 비교적 높고 $10.7 \mu\text{mol/l}$ 미만인 대상자의 비율은 3% 정도에 불과하여(백희영등, 미발표자료) 농촌의 성인이나, 박진순과 천종희(1993)의 보고에 비하여도 혈청 수준이 높게 나타났다.

소변중 아연 배설량 (Urinary Zinc Excretion): 이주연등(1996)이 농촌 중년 성인을 대상으로 3일간 소변을 수거하여 1일 평균 아연 배설량을 측정하였을 때 남자는 $310 \mu\text{g}$, 여자는 $291 \mu\text{g}$ 으로 각기 섭취량의 3.8%와 3.5%에 해당하였으며 아연 섭취량과 소변 배설량 사이에 유의적인 상관관계는 없었다. 1일 소변 배설량이 $300 \mu\text{g}$ 미만이면 경계결핍(marginal deficiency)을 나타내므로(Baer & King, 1984), 대상자중 경계결핍인 사람이 상당히 있을 것으로 추정된다. 오현미와

윤진숙(1997)이 대구지역 성인여성 102명을 대상으로 1일 소변을 수거하여 아연 함량을 측정하였을 때, 평균 0.28mg으로 섭취량의 5.3%에 해당하였으며 소변중 배설량이 0.3mg 이하로 경계결핍의 우려가 있는 사람은 59명으로 전 대상자의 58%였다. 두 연구에서 모두 식이 아연섭취량과 소변중 아연 배설량 사이에는 유의적인 상관관계가 없었다.

혈청 EC-SOD 활성 : Paik등은(1998) 혈청 아연 농도를 측정한 444명의 농촌지역 성인들중 혈청 아연농도가 $9\mu\text{mol/l}$ 미만 7명, $9\sim 10.7\mu\text{mol/l}$ 22명, $10.7\mu\text{mol/l}$ 이상 21명등 총 50명을 대상으로 혈청 EC-SOD 활성을 측정하였다. 각 군의 평균 활성은 $7.9\pm 3.0\text{units/ml}$, $11.7\pm 6.2\text{units/ml}$, $14.1\pm 6.6\text{units/ml}$ 로 군간에 유의적인 차이가 있었으며($p<0.05$), 혈청 EC-SOD 활성과 혈청 아연농도사이에 유의적인 상관관계가 있었다($r=0.2891$, $p<0.05$). 여자대학생 110명을 대상으로 혈청 EC-SOD 활성을 측정한 결과 평균 활성은 9.4 ± 11.1 로 variability 가 매우 크며 혈청 아연농도와 유의적인 상관관계가 없었다(백희영등, 미발표자료). 농촌지역 성인중 혈청 아연농도가 특히 낮은 대상자들의 EC-SOD 활성이 낮은 것으로 미루어 혈청 아연농도가 $9.0\mu\text{mol/l}$ 이상인 경우 EC-SOD 활성은 혈청 아연에 큰 영향을 받지 않는 것으로 해석할 수 있겠다. 그러나 아직 사람을 대상으로 혈청 EC-SOD 활성과 아연 상태에 관한 자료가 더 이상 보고된 것이 없으므로 앞으로 아연 영양상태 지표로서의 혈청 EC-SOD의 가치는 확인작업이 필요하다고 하겠다.

IV. 앞으로의 과제

앞으로의 과제는 아연 영양상태 방법의 개발과 우리나라 사람들의 아연 영양상태를 향상시킬 수 있는 방안을 모색하는 것으로 생각할 수 있다. 앞에서 제시된 바와 같이 아연 섭취량의 추정 을 위해서는 모두가 사용할 수 있는 정확한 아연함량표의 마련이 가장 시급하다고 생각된다. 또한 우리 나라 식이의 아연 이용률을 계산할 수 있도록 식품의 phytate 함량에 대한 자료도 필요하다. 부분적인 함량표를 이용하여 계산한 결과는 우리나라 식이의 아연 이용률을 낮은 것으로 평가하고 있으며 이 경우에 우리나라 사람들의 섭취상태는 대부분의 성인이 정규섭취기준미만에 해당된다. 생화학적 평가지표의 개발은 세계적으로 학계에서 해결을 위하여 노력하고 있는 과제라 하겠다. 우리 나라는 외국에서 보고된 것보다 아연 섭취량이나 혈청 아연 수준이 낮은 경우가 많아 경계결핍상태에서의 생화학적 지표 개발 연구에 유리한 위치에 있다고 생각된다. 이와 더불어 우리 나라 사람들의 아연 섭취량과 식이의 아연 이용률 증진방안을 연구하여 아연 영양상태를 향상시킬 수 있도록 노력해야 할 것으로 생각된다.

<표 1> 우리 나라 조사와 외국에서 보고된 섭취 백분위의 비교

Group	No. of studies	Percentile of intake					
		0 (min.)	10	50 (median)	90	100 (max.)	
외국의 보고¹⁾							
Females	46	4.7	5.7	8.5	10.9	13.8	
Males	36	6.6	9.1	12.0	15.4	18.5	
Vegetarians	10	7.6		9.5	14.9	15.0	
All adults	171	4.2	7.0	10.0	14.3	18.5	
IAEA study	9	8.3		10.0		14.0	
우리나라							
	No. of subjects					(99)	
농촌 ²⁾	남	868	0.03	2.95	6.13	12.45	26.7
	여	1165	0.64	2.24	4.47	8.82	18.1
	계	2033	0.03	2.5	5.11	10.92	22.2
대학생 ³⁾	남	561	0.88	4.59	8.45	13.64	24.9
	여	307	0.57	3.22	6.19	10.85	14.8
	계	868	0.57	3.98	7.71	12.83	24.5
Total	2901	0.03	2.71	5.78	11.56	22.4	

¹⁾ WHO, 1996. p274에서 인용; ²⁾ 이주연등 (1998); ³⁾ 백희영등, 미발표자료

<표 2> 아연 섭취 기준의 수준별 섭취 대상자 비율

가. 우리 나라 식사가 아연 이용률에서 보통이용률의 식사로 가정할 때

남자		(percent)				
구분	Zn level (mg/day)	<5.7	<9.4	<13.1	<16.8	≥16.8
		(기초섭취기준)	(정규섭취기준)			
농촌		43.6	35.1	12.7	4.3	4.4
대학생		21.2	38.3	28.2	8.6	3.7

여자		percent				
구분	Zn level (mg/day)	<4	<6.5	<9	<11.5	≥11.5
		(기초섭취기준)	(정규섭취기준)			
농촌		41.7	34.9	13.7	5.3	4.3
대학생		17.6	35.5	24.4	15.6	4.9

나. 우리 나라 식사가 아연 이용률에서 보통이용률의 식사로 가정할 때

남자		(percent)		
구분	Zn level (mg/day)	<13.4	<18.7	≥18.7
		(기초섭취기준)	(정규섭취기준)	
농촌		91.7	5.3	3.0
대학생		88.6	9.1	2.3

여자		(percent)		
구분	Zn level (mg/day)	<9.4	<13.1	≥13.1
		(기초섭취기준)	(정규섭취기준)	
농촌		91.2	5.5	3.4
대학생		81.1	15.6	3.3

참 고 문 헌

- 농촌영양개선연수원. 식품성분표. 4개정판. 1991.
- 박진순, 천종희. 한국 성인의 아연 섭취 실태 및 아연 보충에 의한 아연 영양상태변화. 한국영양학회지. 26(9):1110-1117, 1993.
- 오영주, 황인주, 우순자. 여주지역 농촌주부들의 영양소 섭취실태. 한국영양학회지 20:301-308, 1987.
- 오현미, 윤진숙. 섭취량과 배설량에 근거한 대구지역 성인여성의 아연 영양상태. 지역사회영양학회지. 2(1):52-62, 1997.
- 이주연, 정효지, 백희영. 한국인 상용 식품의 아연함량표를 보완하여 평가한 한국 농촌 성인의 아연 섭취 실태. 한국영양학회지(게재 중). 1998.
- 이주연, 최미경, 승정자. 일부 농촌 성인 남녀의 아연, 구리, 철분의 섭취량, 혈액 수준, 뇨중 배설량과 혈청지질과의 관계. 한국영양학회지. 29(10):1112-1120, 1996.
- 한국영양학회. 한국인 영양권장량, 제 6차개정. pp.108-112, 1995.
- Abdallah SM & Samman S. The effect of increasing dietary zinc on the activity of superoxide dismutase and zinc concentration in erythrocytes of healthy female subjects. Eur. J. Clin. Nutr. 47:327-332, 1993.
- Abu-Hamdan DK, Mahajan SK, Migdal SD, Prasad AS, & McDonald FD. Zinc tolerance test in uremia. Annals of Internal Medicine 104:50-52, 1986.
- Anonymous. Nutrition Review 55(9), 1997.
- Baer MT & King JC. Tissue zinc levels and zinc excretion during experimental zinc depletion in young men. Am. J. Clin. Nutr. 39:556-570, 1984.
- Buerk CA, Chandy MG, Pearson E, MacAuly A, & Soroff HS. Zinc deficiency. Effect on healing and metabolism in man. Surgical Forum 24:101-103, 1973.
- Cousins RJ. Zinc. in Present Knowledge in Nutrition(7th ed.) ILSI, 1996.
- Ellis R, Kelsay JL, Reynolds RD, Morris ER, Moser PB, & Frazier CW. Phytate : zinc and phytate×calcium : zinc millimolar ratios in self-selected diets of Americans, Asian Indians, and Nepalese. JADA 87(8):1043-1047, 1987.
- Fickel JJ, Freeland-Graves JH, & Roby MJ. Zinc tolerance tests in zinc deficient and zinc supplemented diets. Am. J. Clin Nutr. 43:47-58, 1986.
- Gibson RS. Amit-Vanderkooy PD, MacDonald AV, Goldman A, Ryan B, & Berry M. A growth limiting mild zinc deficiency syndrome in some Southern Ontario boys with low growth percentiles. Am. J. Clin. Nutr. 49:1266-1273, 1989.
- Gibson RS. Assessment of zinc status. in Principles of nutritional assessment. pp 542-553, 1990.
- Gibson RS & Huddle JM. Suboptimal zinc status in pregnant Malawian women: its association with low intakes of poorly available zinc, frequent reproductive cycling, and malaria. Am. J. Clin. Nutr. 67:702-709, 1998.
- Grider A, Bailey LB, & Cousins RJ. Erythrocyte metallothionein as an index of zinc status in humans. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 87:1259-1262, 1990.

- Hambidge KM, King JC, Kern DL, English-Westcott JL, & Stall C. Prebreakfast plasma zinc concentrations: the effect of previous meals. *J. Trace. Elec.* 4(4):229-231(abstr), 1990.
- Harland BF & Peterson M. Nutritional status of lacto-ovo vegetarian trappist monks. *JADA* 72:259264, 1978.
- Harland BF, Smith SA, Elis R, & Smith JC. Nutritional status and phytate:zinc and phytate× calcium:zinc dietary molar ratios of lacto-ovo vegetarian Trappist monks:10 years later. *J. Am. Dietet. Assoc.* 88:1562-1566, 1988.
- Henkin RI. Review. Zinc in taste function. A critical review. *Biol Trace Element Research* 6:263-280, 1984.
- Henkin RI, Schechter PJ, Hoyer R, & Mattern CFT. Idiopathic hypogeusia with dysgeusia, hyposmia, and dysosmia. A new syndrome. *J. Am. Med. Assoc.* 217:434-440, 1971.
- Hunt SM & Groff JL. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. West Publishing Company. pp. 298-306, 1990.
- King JC. Assessment of zinc status. *J. Nutr.* 120:1474-1479, 1990.
- King JC, Hambidge KM, Westcott JL, Kern DL, & Marshall G. Daily variation in plasma zinc concentrations in women fed meals at six-hour intervals. *J. Nutr.* 124:508-516, 1994.
- King JC. Concepts underlying the recommended dietary allowances. *한국영양학회지* 28(4):360-367, 1995.
- Lee RD & Nieman DC. *Nutritional Assessment*(2nd ed.). Mosby 1996.
- National Research Council. *Recommended Dietary Allowances* 10th ed, National Academy Press, 1989.
- Oberleas D & Harland BF. Phytate content of foods: Effect on dietary zinc bioavailability. *J. Am. Diet. Assoc.* 79:433-436, 1981.
- Olin KL, Golub ML, Gershwin ME, Henrickx AC, Lonnerdal B & Keen CL. Extracellular superoxide dismutase activity is affected by dietary zinc intake in nonhuman primate and rodent models. *Am J Clin Nutr.* 61:1263-1267, 1995.
- Paik HY, Joung H, Lee JY, Lee HK, King JC, & Keen CL. Serum extracellular superoxide dismutase activity as an indicator of zinc status in humans. *Biol Trace Element Res.* 1998. (in press)
- Ruz M, Castillo-Duran C, Lara X, Codoceo J, Revollo A, & Atalah E. A 14-mo zinc-supplementation trial in apparently healthy preschool children. *Am. J. Clin. Nutr.* 66:1406-1413, 1997.
- Ruz M, Cavan KR, Bettger WJ, Thompson L, Berry M, & Gibson RS. Development of a dietary model for the study of mild zinc deficiency in humans and evaluation of some biochemical and functional indices of zinc status. *Am. J. Clin. Nutr.* 53:1292-1303, 1991.
- Sandstead HH & Smith JC. Deliberations and evaluations of approaches, endpoints and paradigms for determining zinc dietary recommendations. *J. Nutr.* 126:2410s-2418s, 1996.
- Strain WH, Steadman LT, Lankau CA, Berliner WP, & Pories WJ. Analysis of zinc levels in hair for the diagnosis of zinc deficiency in man. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 68:244-249, 1966.

- Thomas EA, Bailey LB, Kauwell GA, Lee DY, & Cousins RJ. Erythrocyte metallothionein response to dietary zinc in humans. *J. Nutr.* 122:2408-2414, 1992.
- Valberg LS, Flanagan PR, Brennan J, & Chamberlain MJ. Does the oral zinc tolerance test measure zinc absorption? *Am. J. Clin. Nutr.* 41:37-42, 1985.
- Verus AP & Samman S. Urinary zinc as a marker of zinc intake : results of a supplementation trial in free-living men. *Eur. J. Clin. Nutr.* 48:219-221, 1994.
- WHO/FAO/UNU, Energy and protein requirement. WHO Technical Report Series 724, Geneva, 1985.
- WHO. Trace Elements in Human Nutrition and Health. Geneva. 1996.
- Walsh CT, Sandstead HH, Prasad AS, Newberne PM, & Fraker PJ. Zinc: Health effect and research priorities for the 1990s. *Environ Health Perspect* 102(suppl 2):5-46, 1994.
- Wardlaw GM & Insel PM. Perspectives in Nutrition. 2nd ed. Mosby. pp. 10-12, 1993.