

인체의 아연필요량 측정방법

- 총 설 -

윤 진 숙

계명대학교 식생활학과

Assessment of Zinc Requirement for Human

Jin-Sook Yoon

Dept. Food and Nutrition, Keimyung University, Taegu 705-701, Korea

Abstract

The dietary requirement for zinc to maintain optimally the various metabolic and physiological functions is still under study. Human beings adapt to reductions in zinc intake by reducing the rate of growth or zinc excretion. Reductions in dietary zinc beyond the capacity to maintain homeostasis lead to utilization of zinc from an exchangeable pool. Loss of a small, critical amount of zinc from this pool leads to both biochemical and clinical signs of zinc deficiency. Zinc requirements have been assessed by balance studies and factorial method. As tissue zinc status influences endogenous losses and the dietary needs, individuals in good status may require higher amounts of zinc than those in poor status. While plasma zinc is insensitive to reductions in dietary zinc, it is regarded as a valid, useful indicator of the exchangeable pool of zinc. Plasma metallothionein concentrations may prove useful for identifying poor zinc status. It has been suggested that functional end point measurement is the new direction for zinc requirement. However, determination of the functional response to a marginal zinc intake is difficult because of the lack of a specific, sensitive indicator of zinc status. Presently, no good method for assessment of human zinc requirements exists.

Key words : human zinc requirement, balance method, factorial method, functional approach, zinc indicator

서 론

아연은 오래 전부터 필수영양소로 인식되어 온 영양소로서 생체내에서 여러 대사과정에 관여하고 있기 때문에 인체가 이러한 대사작용과 생리기능을 적정수준으로 유지하는데 필요한 아연의 양을 정확히 파악하는 것은 매우 중요한 일이라고 하겠다. 가장 최근에 개정된 한국인 제 6차 개정 영양권장량에는 아연에 대한 권장량이 미국의 경우¹⁾와 동일한 수준으로 새로 추가되지만 한국인을 대상으로 한 근거자료가 매우 부족한 상태이다. 일부 대학생²⁾이나 농촌주민들을 대상^{3~5)}으로 조사했을 때 한국인의 아연섭취량은 대략 8~10mg으로 추정되었으며 다른 연구자들에 의해 일부 성인들의 혈청아연농도가 조사^{6~8)}되기는 하였지만 생리적인 기능을 정상적으로 유지하기에 충분한 양인지는 검토되지 않았다. 인체의 아연 필요량과 관련하여 아연 영양상태를 나타내는 생화학적인 지표로 혈장아연, 적혈

구 및 배혈구의 아연농도, 머리카락의 아연 함량 등 여러가지가 사용되어 왔지만⁹⁾ 아연 영양상태에만 민감하게 반응하는 지표는 아직 알려지지 않았다. 따라서 앞으로 이 분야의 연구가 활발히 진행되도록 하기 위해서 인체의 아연 필요량 측정과 관련되는 제반 요인들을 소개하고 필요량 측정을 위한 앞으로의 연구방향을 제시하고자 한다.

체내 아연분포와 대사적 기능

아연은 모든 생물세포의 구성 성분으로서 미량원소들 중에서는 철분 다음으로 양이 많은 원소이다.

아연의 체내분포상태는 Table 1에 정리된 바와 같이 약 90% 가량이 근육 및 골격에 있고 그밖에 10% 가량이 기타 기관에 고르게 들어 있는데 근육이나 골격 등에 들어 있는 아연은 다른 조직의 아연과 쉽게 평형을 이루지 않는다.¹⁰⁾

그런데 이들 아연의 약 95%는 단백질과 결합되어 금속효소의 형태로 세포막 혹은 내부에 존재하고 있다¹¹⁾. 이에 반해 세포외액에 존재하는 아연의 양은 별로 많지 않다. 예로서 혈장에는 체내에 존재하는 아연총량의 0.1%만이 존재하나 일반적으로 아연영양상태 평가에 혈장아연을 이용하고 있다. 혈액의 아연은 대부분(75~85%)이 적혈구에 있으며 carbonic anhydrase의 구성성분이다. 혈장에는 10~20% 가량 들어있는데 혈장의 아연은 가장 동적이라고 할 수 있으며 3가지 pool로 구분된다. 즉 80%가 albumin과 느슨하게 결합되어 있고 18% 정도가 alpha-2-macroglobulin과 단단히 결합되어 있으며 나머지 2%는 transferrin, ceruloplasmin, amino acid와 결합되어 있다¹²⁾.

모든 생물세포의 구성 성분으로서 아연이 생체내에서 하는 역할은 크게 5가지로 분류할 수 있다(Table 2). 첫째 효소의 구성요소로서 적절한 기능을 유지하는데 관여하며, 둘째 단백질과 혼합대사에서 아연은 중요한 역할을 담당하므로 아연 결핍시 DNA복제과정이나 RNA합성과 분해 등이 손상을 받는다^{13,14)}. 콜라겐, 헤모글로빈 그리고 면역단백질(e.g., thymulin) 등의 합성에도 아연은 직접적으로 영향을 미친다. 세째, 전구체로부터 진 사슬 지방산의 합성이나 프로스타글란딘의 합성 과정에 아연이 관여하며, 탄수화물대사와 관련하여 아연결핍시에는 glucose tolerance가 손상된다. 네째로 호르몬 작용과의 관계로서 아연은 인슐린, 성장호르몬, 갑상선 호르몬, 성호르몬 등의 생성, 저장, 분비 등에 영향을 미친다. 다섯째, 인체의 면역체계를 유

지하는데 아연은 필수적이며 세포성 면역기능에 특히 중요한 영향을 미친다. 그 밖에도 성장 및 생식, 식욕조절, 미각, 시각능력, 그리고 비타민 대사 등의 여러 생물학적인 기능을 담당하고 있다^{9,12~16)}.

동적평형조절과 아연결핍증

아연은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 장관을 통한 소화, 흡수과정에서 동적평형조절이 활발히 이루어지는 영양소이다. 적은 양을 섭취했을 때나 체내 아연이 부족한 경우에는 보다 효율적으로 흡수되며 장관을 통해 배설되는 양은 식이 섭취량이나 체내보유상태에 비례하는 편이다¹⁰⁾.

장에서의 아연흡수는 여러요인의 영향을 받는다. 생리적 요구량이나 식이 중의 특정 성분들은 아연흡수에 영향을 미치는데 서양식 혼합식사에서 약 20% 가량이 흡수된다¹¹⁾. 아연 함량과 이용률은 식품에 따라 많은 차이가 있다. 패류(특히 끓), 육류, 간, 가금류, 유류 등의 동물성 식품은 함량이 높을 뿐만 아니라 이용성이 높은 아연의 급원이며 이에 비해 곡류 및 채소류는 적은 양의 아연을 포함하고 있을 뿐만 아니라 이용율도 떨어진다^{1,10)}. Oxalate, phytate, EDTA는 아연과 불용성 화합물을 만들기 때문에 아연흡수를 저해한다고 알려져 있으며 섬유소가 아연흡수에 미치는 영향은 아직 확실하지 않다^{1,10)}. 철분은 아연과 상호경쟁적으로 작용함으로써 아연흡수에 영향을 미친다. 아연에 대한 철분의 비율이 높을 때 아연흡수가 저하되며, 철분보충제를 섭취하는 임신부나 영유아의 경우 아연흡수의 저하가 우려되지만 일반 식사에서는 크게 우려되지 않는다. 구

Table 1. Zinc distribution in the body¹⁰⁾

Tissue	Proportion of total body zinc (Percent)
Muscle	60
Bone	29
Liver	2
Gastrointestinal tract	1
Skin	1
Kidney	1
Brain	1
Lung	1
Prostate	1
Other organs	<1

Table 2. Functions of zinc

Enzyme functions and structure
Protein and nucleic acid metabolism
Lipid and carbohydrate metabolism
Interactions with hormones
Support of immune system

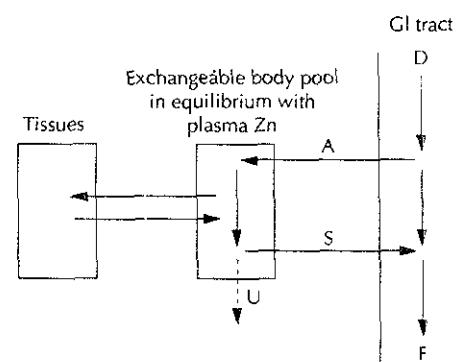


Fig. 1. Diagrammatic representation of the over-all processes of zinc absorption and gastrointestinal (GI) secretion. D : Dietary intake of Zn, A : absorbed Zn, S : GI secretion of Zn, U : urinary output of Zn, F : fecal output of Zn¹¹⁾.

리도 철분과 마찬가지로 많은 양을 투여했을 때 부정적인 상호작용을 미친다^[1,10,17~21].

체내에서 아연평형의 조절은 식이섭취 변화에 따라 흡수 및 배설이 변화함으로써 이루어진다. 가장 중요한 배설경로는 대변이며 아연섭취량이 낮아지면 배설량이 감소하는데 이때 흡수되지 않은 아연 뿐만 아니라 내인성 아연도 대변으로 배설되는 양이 감소하게 된다(Fig. 1 참조).

아연결핍증을 유발하는 요인은 크게 두가지로 요약된다. 첫째 섭취부족에 의한 것으로서 아연 함량이 낮은 음식을 섭취하거나 함량은 부족하지 않더라도 이용율을 저하시키는 다른 성분을 많이 섭취하는 경우이다. 둘째는 흡수감소, 배설증가, 혹은 필요량 증가 등의 2차성 요인에 기인하는 것으로 소화기능의 저하에 따른 흡수감소, 수술, 화상 혹은 임신 및 수유, 악성종양 등으로 인해 아연에 대한 요구량이 증가하는 경우이다^[9,10].

아연결핍의 진행은 여러단계로 설명할 수 있다(Fig. 2 참조)^[22]. 성장기에 아연이 결핍되면 무엇보다도 우선적으로 성장이 지연되지만 아연결핍 초기 단계에서는 조직의 아연량 자체는 변화가 거의 없다. 아연부족이 더욱 계속되는 경우 조직의 아연량을 그대로 유지하기 위하여 동적평형이 다시 이루어지게 되는데 이를 위해 교환가능한 pool로부터 아연이 이동됨으로써 조직의 아연이 감소하고 나아가서는 조직의 기능장애가 나타나게 된다. 인체의 아연결핍증상으로서 식욕감퇴,

Steps in Dietary Zinc Deficiency

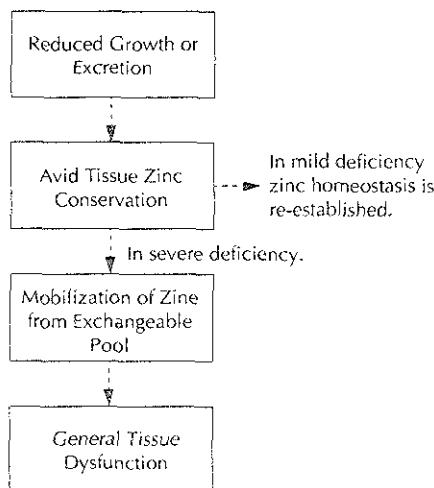


Fig. 2. A flow-chart depicting steps in the development of mild and severe zinc deficiency^[22].

미각의 변화, 피부 변화, 면역기능의 저하 등이 알려져 있으며 동물의 경우 임신기간 동안 아연결핍시 2세의 기형을 유발하기도 하나 사람에서는 아직 보고된 바 없다. 중동지방에서는 심각한 아연결핍시 저생식선증(hypogonadism), 왜소증 등이 보고되었다^[23,24].

필요량 산출근거와 방법

순 필요량

순 필요량은 식사를 통한 필요량과는 다른 개념으로서 크게 두가지로 분류된다. 즉, (1) 여러 경로를 통한 내인성 손실량을 대체하는 양과 (2) 성장이나 유즙분비에 필요한 양이다. 식사를 통한 아연 필요량은 순 필요량과 이용율로부터 산출된다. 앞에서 이미 설명한 바와 같이 섭취한 아연의 형태나 식이조성에 따라 아연의 이용율이 차이가 나므로 이러한 식이의 이용율을 감안했을 때 섭취해야 하는 양이다^[25].

내인성 손실량

내인성 손실량에는 소변, 대변, 땀 등으로 인한 손실과 기타 머리카락, 손톱, 발톱이나 기타 분비물질 등을 통한 손실이 포함된다. 이러한 내인성 손실량의 측정은 무아연식이를 섭취하였을 때의 배설량을 측정하거나 동위원소를 이용한 실험에서 turnover rate으로부터 추정할 수 있다. 즉 동위원소를 이용한 실험에서는 대변의 배설량에서 식이로 부터 흡수가 안되고 배설된 아연과 내인성 손실을 쉽게 구분할 수 있지만 그렇지 않을 경우에는 아연이 함유되지 않은 식이를 투여했을 때에만 내인성 손실량을 알아낼 수 있다^[26].

내인성 손실 총량(total endogenous losses)을 zero time으로 역계산하면 최소의 내인성 손실량이 계산되는 데 이 방법은 아연을 적절히 섭취하는 상태에서의 내인성 손실 총량을 과소평가할 우려가 있다. 왜냐하면 무아연식이를 섭취하게 되면 뇨, 대변의 아연 배설량이 급격하게 감소하기 때문이다. 따라서 동위원소를 이용하면 무아연식이를 투여하고 적어도 2~3주간의 대사실험을 해야하는 번거로움 없이 내인성 질소 손실량을 측정할 수 있다는 장점이 있다^[27~29]. 그러나 방사성 동위원소는 인체에 사용할 때 안정성 측면에서 우려가 되므로 이것을 극복하기 위해 최근에는 stable isotope를 이용한 실험들이 개발되었지만 분석과정이 용이하지 않다^[27~29].

성장 및 유즙분비에 필요한 양

성장 및 유즙분비에 필요한 양은 인체대사에 필요한

양을 측정하기 위한 또 다른 구성요소로서 흔히 요인가산법에 의해 계산된다. 즉 새로 합성된 조직의 양과 조직의 아연농도, 유즙의 아연농도 등으로부터 계산하는 방식이다. 예로서 임신기 동안 태아조직, 양수, 태반 등의 아연농도로부터 임신에 따른 추가 필요량을 계산해내는데 (Table 3 참조)²⁶⁾ 임신부 자신의 순 필요량은 비임신기와 다르지 않다는 가정하에서 산출한다. 그런데 신생아의 최적 성장을 위한 아연 필요량에 관해서는 아직 확실하게 정의되지 않았으며 모유만을 섭취하는 영아의 경우 평균 모유섭취량으로부터 필요량이 산출되었다. 한편 성장기에 증가되는 조직의 조성을 파악하는 것은 매우 어려운 일이기 때문에 평형실험으로 대처하는 수가 흔히 있는데 이 경우에 섭취량과 손실된 양의 차이를 필요량으로 해석한다. 그러나 평형실험은 철저한 식이통제와 더불어 대사물질의 수집이 요구되기 때문에 성장기 아동을 대상으로 실시하기란 매우 어려운 일이다. 특히 대사실험 전에 실험식이에 대한 적응기간이 적어도 4주 정도 필요하기 때문에 현재 건강한 아동들을 대상으로 이러한 실험요구 조건을 충족시켜서 시행한 연구는 세계적으로 전무한 실정이다. 따라서 현재로서는 성장에 필요한 양 계산에 요인가산법을 사용하는 것이 보다 바람직하다고 여겨진다²⁰⁾.

아연 필요량의 산출방법

인체의 영양소 필요량을 결정하는데 사용되어 온 일반적인 연구방법으로는 평형연구법, 요인가산법, 역학조사를 통한 관찰법 등이 있는데 아연 필요량 측정에는 평형연구법과 요인가산법이 대표적으로 사용되어 왔으며 최근에는 functional response를 관찰하는 방법이 추가로 제안되고 있다.

평형연구법

이 방법은 현재까지 아연 필요량 측정시에 가장 많이 사용한 방법^{31~36)}으로 필요량은 모든 경로의 손실량

을 대치할 수 있는 최소의 섭취량이며 이 보다 적은 양을 섭취하였을 때 음의 평형이 된다고 가정한다.

Jackson 등의 연구²⁷⁾에 의하면 건강한 성인남자를 대상으로 아연섭취량을 1일 7, 15, 30mg으로 증가시켰을 경우 대변으로의 아연배설량은 섭취량 증가와 더불어 비례적으로 증가하였으나 소변으로의 배설량은 큰 변동이 없었다고 한다. 동일한 기간에 동위원소를 사용하여 소화기관으로의 분비와 흡수를 관찰한 결과 소화기관으로의 아연분비량 증가 및 흡수율 감소를 관찰하였다. 즉 섭취량의 증가에 따라 위장관으로의 분비량이 증가하고 흡수율이 감소함으로써 조절이 이루어지는 것을 알 수 있다.

성인남자 6명을 대상으로 한 대사실험^{37,38)}에서 식이 중의 아연 섭취량을 16.5mg에서 5.5mg으로 낮추었을 경우 1명을 제외하고는 모두 평형에 도달하였다. 이렇게 아연평형을 다시 이루게 되기까지의 아연 배설량의 변화를 보면 대변으로의 배설이 우선적으로 감소하여 실험시작 10일째에는 14mg에서 4mg으로 감소하였는데, 반면 소변으로의 배설량이나 혈장 아연량에는 큰 변화가 없었다. 대변으로의 배설량이 감소한 것은 주로 흡수되지 않은 아연의 배설이 감소한 것에 기인하지만 아연흡수가 증가하면서 소화기관으로의 내인성아연의 배설도 또한 감소했을 것으로 보인다. 한편 fractional Zn absorption을 비교하면, 16.5mg의 아연을 공급하였을 때는 흡수율이 25%였으나 5.5mg 공급시에는 흡수율이 2배가 되었다. 그러나 실제로 흡수된 아연량을 비교하면 아연을 충분히 공급하였던 시기에 비해 불과 약 1mg만 낮은 양을 섭취하고 있었으며 그 이후 아연을 계속 5.5mg 공급했을 때도 비슷한 경향을 보였다. 여기에서 소변으로의 아연 배설은 감소하지 않았기 때문에 다른 경로를 통한 즉, 위장관으로의 분비 혹은 피부를 통한 손실 등을 줄여들었을 것으로 보인다. 아마도 GI를 통한 아연분비가 감소되어 대변으로의 아연 배설량이 더 줄어들었을 수도 있다 (Table 4 참조).

Table 3. Zinc cost of pregnancy²⁶⁾

Tissue	Zinc content (mg)
Fetus	57.8
Uterus	24.3
Placenta	6.5
Blood	6.3
Mammary tissue	5.3
Amniotic fluid	0.5
Total added zinc	100.7

Total zinc in adult human : 1500~2500mg

Table 4. Urinary and fecal zinc excretion and zinc absorption when 5.5mg zinc is fed per day²⁷⁾

Time	Urine	Feces	Fractional Zn absorption	Total Zn absorption
— mg/day —				
Initial day	0.50±0.17*	14.5±1.9	24.7±2.2	4.1±0.9
Days 10~12	0.53±0.16	4.2±1.1	52.6±4.4**	2.9±0.6
Days 49~54	0.53±0.15	4.5±0.9	48.9±2.8***	2.7±0.4

* Mean±standard deviation

** Measured day 13 after the diet change

*** Measured day 42 after the diet change

한편 성인남자를 대상으로 하여 0.3mg의 아연, 즉, RDA의 2%만을 공급한 대사실험³⁰⁾에서는 실험시작 21일 후 소변과 대변으로의 배설량이 11mg에서 약 1mg으로 모두 현격하게 감소되었다. 앞의 연구^{31,32)}에서 5.5mg의 아연을 공급하였을 때 소변으로의 배설량에는 변화가 없었던 것에 반해 아연 섭취량이 아주 줄어들면 신장을 통한 배설작용에 변화가 와서 조직의 아연을 소모시키지 않고 유지하도록 하는 것으로 보인다(Table 5 참조).

이들 연구에서 공통적으로 관찰할 수 있는 것은 아연섭취량을 증가 혹은 감소시킴에 따라 동적평형조절이 강력하게 이루어졌다는 사실이다. 그런데 5.5mg의 아연을 장기적으로 공급한 경우 비록 평형유지는 되었지만 serum albumin이나 기초대사 등 아연과 관련되는 대사기능의 저하³³⁾가 관찰된 것으로 보아 아연필요량을 단순히 평형유지를 시킬 수 있는 양으로 보아서는 안될 것이다.

요인가산법

아연 필요량을 측정하는데 요인가산법을 사용한다면 필요량은 내인성 손실을 충족시키는 가장 최소의 양이라고 정의할 수 있겠으며 이 방법은 두 단계를 필요로 한다. 우선 (1) 내인성 손실량을 측정하는 것과 (2) 평상 식사로 부터의 fractional Zn absorption을 측정하는 것이다. 식이의 아연 필요량은 내인성 손실량을 fractional absorption rate로 나누어 산출된다²⁶⁾.

내인성 손실량은 Zn isotope의 turnover rate나 무아연 식이 섭취시의 아연 배설량으로 측정이 가능하다. 식사로 부터 흡수되지 않은 아연이나 내인성 아연이 모두 대변으로 배설되기 때문에 내인성 아연 손실량을 측정할 때 isotope를 사용하지 않는 경우에는 식사로 부터 흡수되지 않은 아연을 대변으로 부터의 아연 배설량에서

Table 5. Urinary and fecal response to a 0.3mg daily intake of zinc³⁰⁾

Time	Urine	Feces
Basal*	0.45±0.27**	10.5±2.9
Week 1	0.46±0.37	4.5±6.1
Week 2	0.38±0.30	1.4±1.4
Week 3	0.31±0.29	0.7±0.3
Last week of depletion***	0.17±0.21	0.5±0.2

* Basal diet provided 15mg zinc per day

** Mean±standard deviation

*** Last week of depletion was week 4, 5, 6, or 9 for the six men studied

Depletion was discontinued when plasma zinc dropped below 70µg/dl

따로 분리하여야 하므로 무아연식이를 공급하지 않고서는 측정이 어렵다.

내인성 아연 손실량을 측정하기 위해 무아연식이에 근접하는 0.3mg의 아연을 공급하고 regression analysis를 이용하여 내인성 아연 손실량을 측정했을 때³⁰⁾ 남자 1.36mg/day, 여자 0.84mg/day로서 남자가 여자 보다 60% 더 높은 양을 보였는데 이것은 남자가 LBM이 더 많기 때문인 것으로 여겨진다. 그런데 이미 언급한 바와 같이 무아연식이를 섭취할 경우에 대소변으로의 아연 배설이 빨리 감소하기 때문에 linear regression analysis를 했을 때 zero time에서의 손실량을 과소평가할 가능성 있다.

한편 21~73세 성인남녀를 대상으로 Zn 동위원소를 이용하여 내인성 아연 손실량을 측정한 연구결과³⁰⁾에 의하면 내인성 아연 손실량은 2.7mg으로 측정되었는데 이것은 5.5mg의 아연을 공급하였을 때 대상자들의 아연흡수 총량^{37,38)}과 동일한 양이다. 만약 아연이 평형을 이루고 있는 상태라면 흡수된 양은 내인성 손실량을 반영한다고 볼 수 있을 것이다. 그렇지만 성장기의 아연 흡수량은 내인성 손실량과 성장에 필요한 양을 함께 충족시키는 양이다.

내인성 손실량 측정 후에는 아연의 fractional absorption rate를 측정해야하는데 이것은 식이아연의 양, 금원, 대상자의 연령^{40~42)}, 그리고 영양상태 등에 따라 영향을 받기 때문에²⁶⁾ 산출이 까다롭다.

필요량 측정 개선방향

지금까지 필요량 측정에 보편적으로 사용되었던 방법들에 있어서 공통적인 점은 섭취량을 증가시키거나 감소시킴에 따라 배설량도 역시 증가, 감소하여 동적평형이 활발히 이루어지기 때문에 필요량을 정확히 측정하기 어려웠다는 것이다. 따라서 현재 아연 필요량은 매우 제한된 연구결과에 의존하여 산출된 상태이며 특히 성장단계가 다른 아동들의 아연 필요량에 관해서는 많은 보완연구가 시급하다.

아연영양상태 지표

Table 6에 제시된 바와 같이 아연 영양상태를 측정하기 위해서 조직이나 채액을 이용하여 여러 종류의 지표들이 사용³⁹⁾되어 왔으나 민감도 혹은 실험방법의 표준화 측면에서 문제점들을 내포하고 있다. 그 중에서 혈장 아연은 대표적인 아연상태 지표로서 이용되고 있으나 앞에서 이미 언급한 바와 같이 식이변화, 체내

Table 6. Indices of zinc status⁹⁾

Tissue or fluid	Normal	High
Serum	65 ~ 140 µg/dl	
Red blood cells	40 ~ 44 µg/g hemoglobin	
White blood cells	80 ~ 130 µg/10 ¹² cells	
Saliva (Parotid)	23 ~ 79 ng/g	
Sweat	0.55 ~ 1.75 mg/1	
Skin	10 ~ 80 µg/g	
Nails	100 ~ 400 µg/g	
Hair	100 ~ 250 µg/g	
24-hour urine	230 ~ 600 µg/g	

아연 보유량의 변화에 민감하게 변화하지 못한다^{14,17)}. 이것은 교환가능한 아연 pool의 크기를 나타내는 지표라고 보는 것이 오히려 더 적절하다²²⁾. 그러나 대사실험에서 내인성 아연 손실량과 혈장아연간에 유의한 상관관계 ($r=0.631$)가 나타난 것으로 보아 체내조직의 아연상태를 나타내는 지표임에는 틀림없다¹⁰⁾. 한편 혈장의 아연농도는 스트레스의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 식사섭취 후에는 공복시에 비해 아연농도가 상승하며⁴³⁾ 그밖의 경우에는 스트레스를 받으면 조직으로 아연의 재분배가 일어나서 혈장아연농도는 감소하게 된다^{22,44~46)}. 일반적으로 스트레스를 받지 않은 정상상태에서는 metallothionein이 아연과 우선적으로 결합하여 조직의 metallothionein량은 아연영양상태에 비례한다. 만약 감염이 있거나 상처를 입으면 아연은 간·골수 등으로 유입이 많아지게 되어 혈장아연농도가 낮아지는 반면, 간에서는 metallothionein의 합성이 높아지게 되므로 혈액내의 metallothionein의 양도 많아진다. 따라서 혈장아연농도가 낮을 때 그 원인이 스트레스에 의한 것인지 아니면 아연결핍에 의한 것인지를 구분하기 위해서는 metallothionein을 보조수단으로 사용하는 것도 좋은 방법이다^{22,47,48)}. 최근에 적혈구의 총 아연농도만을 측정하던 종래의 방법을 개선하려는 시도로서 적혈구의 labile zinc의 양의 변화를 측정하여 아연영양상태 지표로 사용하는 방안이 제기되었으나 아직 타당성이 충분히 검증되지 않았다⁴⁷⁾.

Functional approach

이 방법은 아연의 필요량을 측정하는데 사용할 또 다른 접근 방법으로 최근에 인식되고 있는 방법이다. 아연섭취 수준을 아주 낮은 수준에서 필요량 이상의 수준까지 다양하게 변화시켰을 때 생리적, 대사적 기능에 변화를 가져오지 않는 최소의 아연 섭취량을 필요량으로 보는 것이다. 그러나 실제로 이 접근방법은

아연필요량 측정에 사용하는데 있어서 현재로는 많은 제한점이 있다. 왜냐하면 아연은 여러 대사작용에 관여하고 있지만 아연고갈에만 나타나는 기능저하가 아직까지 확실히 알려지지 않았기 때문이다.

아연결핍에 나타나는 일반적 기능저하로서 serum albumin, prealbumin, retinol-binding protein, TSH, T3, T4 그리고 기초 대사율의 저하 등이 알려져 있다^{17,49)}. 그런데 저아연식이를 장기간 섭취케 하였을 때 이러한 지표들이 통계적으로 유의하게 저하하였지만 임상적으로는 정상수준에 있었기 때문에 지표로 사용되기에에는 현단계에서 문제점을 내포하고 있다. 한편 효소활성에 아연을 필요로 하는 alkaline phosphatase, carboxypeptidase, lactate dehydrogenase 등⁴⁹⁾이 아연영양상태 저하시 활성이 감소하는 것으로 알려져 있으나 기능적 측정방법에 유통할 수 있는지는 아직 검토되지 않은 단계이다⁵⁰⁾.

결론

아연 필요량은 생리기능이나, 여러 대사과정을 적절히 유지하는데 필요한 양이라고 정의할 수 있으나 어떤 집단의 식이 필요량을 한 수치로 나타내기란 어렵다. 오히려 다양한 연령, 생리적 상태, 식이조성에 따라, 특히 식사에 함유된 유기물질과 무기질 조성에 의해 아연 흡수와 이용은 달라지기 때문이다. 아연은 동적평형조절작용이 활발히 이루어지는 영양소로서 적은 양을 섭취하였을 때나 많은 양을 섭취하였을 때 모두 평형에 도달할 수 있다. 따라서 아연필요량 측정시 평형법이나 요인간산법에 의존하여 저아연식이를 공급하는 상태에서 필요량을 산출하면 아연 필요량을 자칫 과소평가 할 우려가 있다. 채액이나 여러 생체조직이 아연영양상태의 지표로 사용되어 왔으나 아연영양상태의 변화를 민감하게 반영하는 적절한 지표는 없는 상태이다. 아연을 필요로 하는 여러 생리적인 기능을 원활히 수행하는데 요구되는 아연의 양을 필요량으로 정의한다면 아연영양상태에 따라 특이적으로 반응하는 기능적 지표의 개발이 시급하며 이러한 지표를 통해서 보다 구체적으로 인체의 필요량이 산출될 수 있을 것이다. 특히 인구집단에 따른 다양한 생리조건과 섭취상태의 차이를 포괄하는 필요량이 설정되어야겠다.

문현

- Food and Nutrition Board : Recommended Dietary Allowances. 10th ed., National Academy Press, Was-

- hington, D. C. (1982)
2. 박진순, 천종희 : 한국성인의 아연 섭취실태 및 아연 보충에 의한 아연 영양상태 변화. *한국영양학회지*, **26**, 1110(1990)
 3. 김애정 : 일부지역 농촌 부인의 Fe, Cu, Zn 섭취수준 및 혈액 성상에 관한 연구. *숙명여자대학교 석사학위논문*(1988)
 4. 오영주, 황인주, 우순자 : 여주지역 농촌주민들의 영양소 섭취실태. *한국영양학회지*, **20**, 309(1987)
 5. 이주연 : 한국 일부 농촌 성인남녀의 일상식이 종 아연, 구리, 철분 대사와 혈청지질과의 관계 연구. *숙명여자대학교 석사학위논문*(1991)
 6. 최미경, 안홍석, 문수재, 이민준 : 모유의 철분, 아연 및 구리 함량과 모유 영양아의 모유와 미량원소 섭취량에 관한 연구. *한국영양학회지*, **24**, 442(1991)
 7. 하은정, 나혜복 : 한국의 일부 가임여성과 임신부의 혈장내 아연 및 구리 농도에 관한 연구. *한국영양학회지*, **26**, 347(1993)
 8. 송미영, 정영진 : 아연 보충이 젊은 여성의 혈청 콜레스테롤 농도에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **23**, 237(1990)
 9. Solomons, N. W. : Zinc and copper. In "Modern Nutrition in Health and Disease" Shils and Young (eds.), 7th ed., Philadelphia, p.238(1988)
 10. Cunnane, S. C. : Zinc : Clinical and biochemical significance. Boca Raton, F. L., CRC Press, Inc.(1988)
 11. Jackson, M. J. : Physiology of Zinc : General Aspects In "Zinc in Human Biology" Mills, C. F. (ed.), Springer-Verlag, London, p.1(1989)
 12. Hambidge, K. M., Casey, C. E. and Krebs, N. E. : In "Trace Elements In Human and Animal Nutrition" Mertz, W. (ed.), Fifth ed., Vol. 2, New York, Academic Press, p.1(1986)
 13. Bogden, J. D., Oleake, J. M. and Lavenhar, M. A. : Zinc and immunocompetence in elderly people : Effects of zinc supplementation for 3 months. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 655(1988)
 14. Castillo-Duran, C., Heresi, G. and Fisberg, M. : Controlled trial of zinc supplementation during recovery from malnutrition : effects on growth and immune function. *Am. J. Clin. Nutr.*, **45**, 602(1987)
 15. Fraker, P. J., Gershwin, M. E. and Good, R. A. : Interrelationships between zinc and immune function. *Fed. Proc.*, **45**, 1474(1986)
 16. Keen, C. L. and Gershwin, M. E. : Zinc deficiency and immune function. *Annu Rev Nutr.*, **10**, 415(1990)
 17. Solomons, N. W. and Jacob, R. A. : Studies on the bioavailability of zinc in humans : effects of heme and nonheme iron on the absorption of zinc. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 475(1981)
 18. Sandstrom, B., Kivistö, B. and Cederblad, A. : Absorption of zinc from soy protein meals in humans. *J. Nutr.*, **117**, 321(1987)
 19. Storey, M. L. and Greger, J. L. : Iron, zinc and copper interaction : chronic versus acute responses of rats. *J. Nutr.*, **116**, 1423(1986)
 20. Yip, R., Reeves, J. D. and Lonnerdal, B. : Does iron supplementation compromise zinc nutrition in healthy infants? *Am. J. Clin. Nutr.*, **42**, 683(1985)
 21. Festa, M. D., Anderson, H. L., Dowdy, R. P. and Ellersiek, M. R. : Effect of zinc intake on copper excretion and retention in men. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 285(1985)
 22. King, J. C. : Assessment of zinc status. *J. Nutr.*, **120**, 1474(1990)
 23. Prasad, A. S., Halsted, J. A. and Nadimi, M. : Syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, hypogonadism, dwarfism, and geophagia. *Am. J. Med.*, **31**, 532(1961)
 24. Prasad, A. S. : Essential and toxic trace elements in human health and disease. New York, Alan R Liss Inc. (1988)
 25. Hambidge, K. M. : Mild zinc deficiency in human subjects. In "Zinc in human biology" Mills, C. F. (ed.), Springer-Verlag, London, p.281(1989)
 26. King, J. C. and Turnlund, J. R. : Human zinc requirement. In "Zinc in human biology" Mills, C. F. (ed.), Springer-Verlag, London, p.335(1989)
 27. Jackson, M. J., Jones, D. A. and Edwards, R. H. T. : Zinc homeostasis in man : Studies using a new stable isotope dilution technique. *Br. J. Nutr.*, **51**, 199(1984)
 28. Turnlund, J. R., Durkin, N. and Costa, F. : Stable isotope studies of zinc absorption and retention in young and elderly men. *J. Nutr.*, **116**, 1239(1986)
 29. Foster, D. M., Aamodt, R. L., Henkin, R. I. and Berman, M. : Zinc metabolism in humans : A kinetic model. *Am. J. Physiol.*, **237**, R340(1979)
 30. King, J. C. : Assessment of techniques for determining human zinc requirement. *J. Am. Diet. Assoc.*, **86**, 1523(1986)
 31. Patterson, K. Y., Holbrook, J. T., Bodner, J. E., Kelsay, J. L., Smith, J. C. and Veillon, C. : Zinc, copper and manganese intake and balance for adults consuming self-selected diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**, 1397(1984)
 32. Colin, M. A., Taper, L. J. and Ritchey, S. J. : Effect of dietary zinc and protein levels on the utilization of zinc and copper by adult females. *J. Nutr.*, **113**, 1480(1983)
 33. Johnson, M. A., Baer, M. J. and Greger, J. L. : Effects of dietary tin on zinc, copper, iron, manganese, and magnesium metabolism of adult males. *Am. J. Clin. Nutr.*, **35**, 1332(1982)
 34. Milne, D. B., Canfield, W. K., Mahalko, J. R. and Sandstead, H. H. : Effect of dietary zinc on whole body surface loss of zinc : Impact on estimation of zinc retention by balance method. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 181(1983)
 35. Robinson, M., McKenzie, J. M., Thomson, C. D. and vanRij, A. L. : Metabolic balance of zinc, copper, cadmium, iron, molybdenum, and selenium in young New Zealand women. *Br. J. Nutr.*, **30**, 195(1973)
 36. Spencer, H., Asmussen, C. R., Holtzman, R. B. and Kramer, L. : Metabolic balances of cadmium, copper, manganese, and zinc in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1867(1979)
 37. Wada, L., Turnlund, J. R. and King, J. C. : Zinc utilization in young men fed adequate and low zinc intakes. *J. Nutr.*, **115**, 1345(1985)
 38. Wada, L. and King, J. C. : The effect of low intakes on

- basal metabolic rate, thyroid hormones and protein utilization in adult men. *J. Nutr.*, **16**, 1045 (1986)
39. Baer, M. T. and King, J. C. : Tissue zinc levels and zinc excretion during experimental zinc depletion in young men. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 556 (1984)
 40. Hutton, C. W. and Hayes-Davis, R. B. : Assessment of the zinc nutritional status of selected elderly subjects. *J. Am. Diet. Assoc.*, **82**, 148 (1983)
 41. Walravens, P. A., Krebs, N. F. and Hambidge, K. M. : Linear growth of low income preschool children receiving a zinc supplement. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 195 (1983)
 42. Sandstrom, B. and Lonnerdal, B. : Zinc absorption from human milk, cow's milk, and infant formulas. *Am. J. Dis. Child.*, **137**, 726 (1983)
 43. Henry, R. W. and Elmes, M. E. : Plasma zinc in acute starvation. *Br. Med. J.*, **4**, 625 (1975)
 44. Swanson, C. A. and King, J. C. : Zinc and pregnancy outcome. *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 763 (1987)
 45. Casey, C. E., Hambidge, K. M. and Neville, M. C. : Studies in human lactation : zinc, copper, manganese, and chromium in human milk in the first month of lactation. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 1193 (1985)
 46. Hambidge, K. M., Walravens, P. A., Casey, C. E., Brown, R. M. and Bender, C. : Plasma zinc concentrations of breast-fed infants. *J. Pediatr.*, **94**, 607 (1979)
 47. Grider, A., Bailey, L. B. and Cousins, R. J. : Erythrocyte metallothionein as an index of zinc status in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **87**, 1259 (1990)
 48. Cousins, R. J. : Absorption, transport, and hepatic metabolism of copper and zinc : special reference to metallothionein and ceruloplasmin. *Physiol. Rev.*, **65**, 238 (1985)
 49. Cousins, R. J. : Systemic transport of zinc. In "Zinc in human biology" Mills, C. F. (ed.), Springer-Verlag, London, p.79 (1989)
 50. King, J. C. : The need to consider functional endpoints in defining nutrient requirement. In "New approaches to Define Nutrient Requirements" WHNRC, San Francisco, p.4 (1994)

(1995년 3월 10일 접수)