

## 생활속의 중금속 노출과 건강영향

울산의대 산업환경의학교실 / 김 양 호

### 클 신는 순서

- ❶ 환경과 건강
- ❷ 지구온난화와 건강영향
- ❸ 내분비계 교란물질과 건강영향
- ❹ 생활속의 중금속 노출과 건강영향
- ❺ 유전자조작식품과 건강영향
- ❻ 환경성 발암물질과 건강영향
- ❼ 민감취약집단의 환경과 건강  
(여성, 모자환경보건)
- ❽ 민감취약집단의 환경과 건강
- ❾ 대기오염과 건강영향
- ❿ 수질오염과 건강영향
- ⓫ 환경문제에 대한 대중과의  
홍보와 소통
- ⓬ 정부의 환경보전정책
- ⓭ 시민참여와 환경보건

### 1. 납 중독

생활 속의 환경성 납 노출은 주로 어린이에서 주로 문제가 될 수 있다.

1) **노출**: 태반을 통하여 태아에게 이동되거나, 외부환경에서 오염되어 중독될 수 있다. 외부환경으로부터의 오염은 유연 휘발유나 납포함 페인트에서 생길 수 있다.

미국에서 유연 휘발유에 대한 규제가 생기기 전인 1976-1980년에는 자동차 배기가스에 의하여, 1-5세 어린이의 혈중 납 농도의 중앙값이  $15\mu\text{g}/\text{dL}$  이었고, 1988-1991년에는  $3.6\mu\text{g}/\text{dL}$ , 1999년에는  $1.9\mu\text{g}/\text{dL}$ 로 유연휘발유에 대한 규제에 따라 혈중 납 농도가 감소하였다. 한국에서도 유연휘발유를 사용하지 않게 되어 혈중 납 농도가 감소하고 있다.

영·유아 및 어린이는 모든 것을 입으로 가져가는 습성이 강하기 때문에 실내에 납 페인트를 사용한 경우에는 납 페인트가 오래되어 페인트가루가 바닥에 떨어질 수 있으며, 이를 어린이가 집어먹게 되면 납에 노출될 수 있다. 한국에서는 대부분 실내에는 도배를 하므로 납 노출의 염려가 적으나, 어린이 집이나 공공건물 등에서 실내에 페인트를 사

표 1. 환경성 납 노출과 직업성 납 노출과의 비교

	환경성	직업성
노출대상	어린이	성인 근로자
노출기준(혈중 납농도)	10 $\mu$ g/dL	30 $\mu$ g/dL
건강영향	인지기능장애, 뇌증(encephalopathy)	조혈, 말초신경, 경련성 복통, 신장장애

용하는 경우도 있으므로 노출될 가능성이 있다. 또한, 장남감 등에 납 페인트가 칠해져 있는 경우 어린이들이 노출될 수도 있다. 이런 경우에서처럼 납함유 페인트에 노출되면 보통 2살 전후가 혈중 납 농도가 최고가 된다. 어른에서는 한약이나 무허가 화장품에 의한 납중독이 문제가 되기도 한다.

2) 증상: 어른에게는 문제가 되지 않는 농도(10 $\mu$ g/dL)에서도 어린이는 인지기능장애가 생길 수 있다. 최근에는 그 이하에서도 생길 수 있다는 보고도 있다. 혈액 납 농도 1 $\mu$ g/dL 상승함에 따라 IQ가 0.87씩 저하한다는 보고도 있다. 소아의 납 노출은 학습장애, 주의 장애를 일으킬 수 있으며, 주의력 결핍-과잉행동장애(ADHD)와도 관련이 있다는 보고도 있다. 어린이의 혈중 납 농도는 보통 2살 전후가 최고이나, 인지장애 등은 4세 이후에 뚜렷해지는 경향이 있다. 혈중 납 농도가 60 $\mu$ g/dL을 넘으면 두통, 복통, 식욕 저하, 변비, 서투름, 안절 부절, 활동저하, 졸림 등 CNS 전조증상이 나타날 수 있다. 상기 전조증상이 진행되어 구토, 혼돈, 경련 등 납 뇌증(lead encephalopathy)을 나타

내기도 한다. 한편, 성인 납 중독에서 나타나는 산통(colic), 말초신경염, 만성 신장장애 등은 드물다.

3) 진단: 혈액 납 농도를 측정한다. 모발 검사는 도움이 되지 않는다. 장기적으로 과거의 축적된 노출을 평가하기 위하여 뱃속의 납을 XRF를 사용하여 잴 수도 있으나 어린이보다는 어른에서 그 효용성이 크다.

4) 예방대책: 어린이의 정기적인 검사를 통하여 혈액 납 10 $\mu$ g/dL이상이면 재검사를 하고, 20 $\mu$ g/dL이상이면 환경평가 및 의학 적 평가를 하며, 원인제거를 위한 노력을 한다. 즉 부모의 혈액 검사를 하고, 가정/주위 환경의 노출원에 대한 세심한 검토를 한다. 우선 유연 휘발유나 납 포함 페인트에 노출되고 있는 지 파악한다. 그 밖에도 민간요법 사용여부, 오랜 도자기 사용여부, 부모의 직업성 납 노출여부 등도 평가한다. 또, 철분과 칼슘이 부족하면 장에서의 납 흡수가 증가하므로 부족하지 않도록 하는 영양대책도 고려할 필요가 있다.

표 2. 환경성 납 노출에 대한 접근법

어린이	직업성노출이 없는 어른
10 $\mu$ g/dL이상:재검사	10 $\mu$ g/dL이상:재검사
20 $\mu$ g/dL이상:환경평가 및 의학적 평가	10-30 $\mu$ g/dL:원인에 대한 평가
45 $\mu$ g/dL이상:착화요법	30 $\mu$ g/dL이상:중재조치

※최근 어린이에서 혈액중 납농도 10 $\mu$ g/dL 이하에서도 건강영향이 생길 수 있다는 보고가 있으나, 10 $\mu$ g/dL 이하에서는 어느 수준을 기준(threshold)으로 삼을 것인지에 대한 증거가 불충분하고, 정도관리의 문제가 있으며, 마땅한 중재조치가 없다는 공중보건학적 이유 등으로 현재까지는 10 $\mu$ g/dL을 기준으로 삼고 있다.

5) 치료: 원칙적으로 연 노출로부터 격리키는 것이다.

착화(chelation)치료는 어린이들에서 혈중 연 농도가 45 $\mu$ g/dL 이상인 경우, 특히 납 뇌증 시 사용할 수 있다. 급성 또는 아급성 시(증상호소) 사용하나, 만성 시는 사용하지 않는다. 혈중 납농도가 45 $\mu$ g/dL 이상인 경우, 우선 meso-2,3-dimercaptosuccinic acid (DMSA)를 경구에 사용한다. DMSA는 한국희귀의약품 센터에서 구할 수 있다(02-508-7316).

Calcium disodium edetate (CaNa<sub>2</sub>EDTA)는 70 $\mu$ g/dL가 넘거나 DMSA에 대한 알레

르기가 있을 때 입원시켜 (iv)로 사용한다.

## 2. 수은 중독

근로자가 무기수은이나 금속 수은을 흡입하여 생기는 직업성 수은 노출과는 달리, 환경성 수은노출은 어린이나 산모 등이 주로 생선을 섭취하여 생길 수 있다.

1) 노출: 자연환경 및 산업활동에서 무기수은이 생성되고, 물속의 일부 세균에 의하여 유기수은으로 변하여 먹이사슬을 통하여 물고기 속에 축적된다. 메틸수은은 수명이 길고, 대형어 일수록 생선내 농도가 증가된

표 3. 환경성 수은 노출과 직업성 수은 노출의 비교

	환경성	직업성
노출대상	어린이, 산모, 노인	성인 근로자
노출물질	유기수은(생선)	무기수은/금속수은
노출경로	경구	흡입
생체시료	모발, 혈액	소변
노출기준	50ppm(모발), 어린이 10ppm	35 $\mu$ g/L(소변)
건강영향	유기수은 중독	무기수은 중독

표 4. 물고기 속의 메틸수은 함량

종류	함량(ppm)
고래	10
상어/황새치/청새치	1
참치(tuna)	0.3-0.6
일본 생선 기준: 0.4ppm	

※미나마타병이 발생한 지역의 어패류 메틸수은 함량은 20-40ppm으로 보고되었다. 고래, 상어, 황새치, 청새치는 임신부, 1년 이내 임신예정자, 16세미만 어린이는 금지하여야 하고, 기타 성인은 1주에 1회(140g)는 허용된다. 신선한 참치는 주 140g씩 2회 까지 또는 참치 통조림의 경우는 주 140g씩 4회까지는 임신중 또는 임신예정인 경우 태아에 영향이 없다고 알려져 있다. 메틸수은은 반감기가 약 70일이며, 1년후에는 약 3%가 잔존하므로, 임신하기 1년 정도가 중요하다.

다. 그러므로 대형어를 많이 섭취하게 되면 메틸수은에 노출된다.

2) 대사: 메틸수은은 cystein(아미노산)과 잘 결합하며, 소화기에서 영양분과 함께 흡수된다. 뇌혈관장벽을 잘 통과하며, 태반도 잘 통과한다. 태아에서의 혈중 수은농도가 산모의 1.5-2배의 농도가 된다. 모발(cystein이 많음)에도 흡수되며, 간/신장에 축적된다.

3) 증상: 무기수은 및 금속수은에 의한 직업성 수은 중독의 주요 증상이 수지진전, 구내염, 신경과민 등인데 반하여 메틸수은 중독의 주요 증상은 소뇌실조, 중추성 감각이상 및 중추성 청각장애, 시야협착 등이 주증상이다. 또한, 임신부는 증상이 없어도 태아는 심각한 중독증상이 나타날 수 있으며, 뇌성 마비와 비슷한 증세를 나타낸다. 즉, 어른에게는 문제가 되지 않는 농도에서도 어

린이는 건강장애가 생길 수 있다.

4) 진단: 메틸수은 중독의 진단은 모발 수은 측정이 매우 유용하다. 모발 총 수은의 90%가 메틸수은이고 10%는 무기수은이며, 혈중 메틸수은 농도와 좋은 상관관계를 보인다. 그러므로 모발 총 수은 농도는 메틸수은 노출을 반영하며, 무기 수은 농도 노출은 반영하지 않는다.

적혈구는 메틸수은이 대부분이고 혈장은 메틸수은과 무기수은이 반반씩 된다. 일반적으로 혈액 수은 농도는 메틸수은의 노출을 나타낸다고 볼 수 있다. 한편, 혈액 중 총 수은 농도는 무기수은 및 금속수은에 대한 최근의 노출을 반영하기도 한다. 정상치는 10ppm이하이다.

소변의 수은은 대부분 무기수은이나, 신장질환이 있으면 유기수은이 배출되는 수도 있다. 장기간의 무기수은에 대한 직업적 노

표 5. 모발 수은 농도에 대한 참고치

농도(ppm)	의미
50	NOAEL : 성인에서는 신경학적 장애 위험은 낮다.(1990, WHO)
10	태아신경독성의 NOAEL
2.5	일본인 남성 평균치
1.6	일본인 여성 평균치

※참고로 모발중의 수은농도는 혈액의 250-300배이며, 미나마타병 환자들의 모발 수은 농도는 수십-수백 ppm으로 보고되었다.

※모발을 통한 측정이 신뢰도 있고 타당한 방법으로 확립된 금속은 메틸수은, 비소, 탈륨의 3가지 정도이며, 메틸수은이 가장 효용성이 크다. 나머지 금속에 대하여는 모발 중금속 측정으로 체내 노출정도를 평가해서는 안된다.

출정도를 평가하기 위하여 소변의 수은농도를 측정하는 것과는 달리, 환경성 유기수은 노출을 평가하기 위해서는 소변의 수은 검사는 적절하지 않다.

5) 예방: 부모의 혈액 및 모발 검사가 중요하다. 생선섭취가 과다하지 않도록 하고, 주위 환경이 수은 폐기물에 오염되지 않도록 하는 것이 중요하다. 어린이의 경우 영양 대책으로 셀레늄 섭취가 부족하지 않도록 한다.

6) 치료: 원칙적으로 수은 노출로부터 격

리시킨다. 생선섭취가 원인으로 추정되면, 생선섭취를 줄인다.

### 3. 비소 중독

1) 노출: 직업성 노출은 분진 및 흙의 흡입 노출이 많지만, 환경성 노출은 토양에 고농도로 포함된 비소가 음식이나 물을 통하여 경구로 노출되는 경우가 많다. 토양에 비소가 많이 포함된 지역은 방글라데시, 인도, 중국내륙지역, 타이완 등이며, 한국은 그런 위험은 없다. 다만 폐광산 지역 등은 국소적

표 6. 환경성 수은 노출에 대한 접근법

	어린이/산모	직업성노출이 없는 어른
혈액	50 $\mu$ g/L 이상: 노출평가	50 $\mu$ g/L 이상: 재검사
		50-200 $\mu$ g/L: 노출평가
		200 $\mu$ g/L 이상: 중재조치
모발	10ppm: 중재조치	20-30ppm: 재검사 및 노출평가
		50ppm: 중재조치

표 7. 환경성 비소중독과 직업성 비소중독의 비교

	어린이/산모	직업성노출이 없는 어른
노출경로	경구	흡입
건강장해	피부암, 피부각화증	폐암
노출물질	무기비소	무기비소

으로 비소에 노출될 위험이 있다.

2) 대사: 비소화합물은 흡입 또는 경구 섭취를 통하여 흡수되며, 피부를 통한 흡수는 거의 없다. 특히 경구로 섭취하였을 때, 소화관에서의 흡수율이 다른 중금속과는 달리 90% 정도로 매우 높다. 비소는 적혈구와 결합되어 간, 신장, 근육, 뼈, 모발, 피부, 손발톱 등에 침착된다. 배설경로는 주로 소변이

며, 대변, 모발, 손발톱, 피부, 땀 등이 있다.  $As^{3+}$ 는 황수화기 (SH-)와 결합되어 비소가 모발이나 손발톱에 오래 남아 있게 된다.

5가 비소는 생체에서 3가 비소로 전환되며, 대부분의 3가 비소는 monomethyl arsonic acid (MMA)를 경유하여 dimethyl arsenic acid (DMA)로 대사되어 요로 배출된다(그림 1). 김, 다시마, 미역 등 해조류(sea weed)를 섭취하게 되면 대부분의 해조

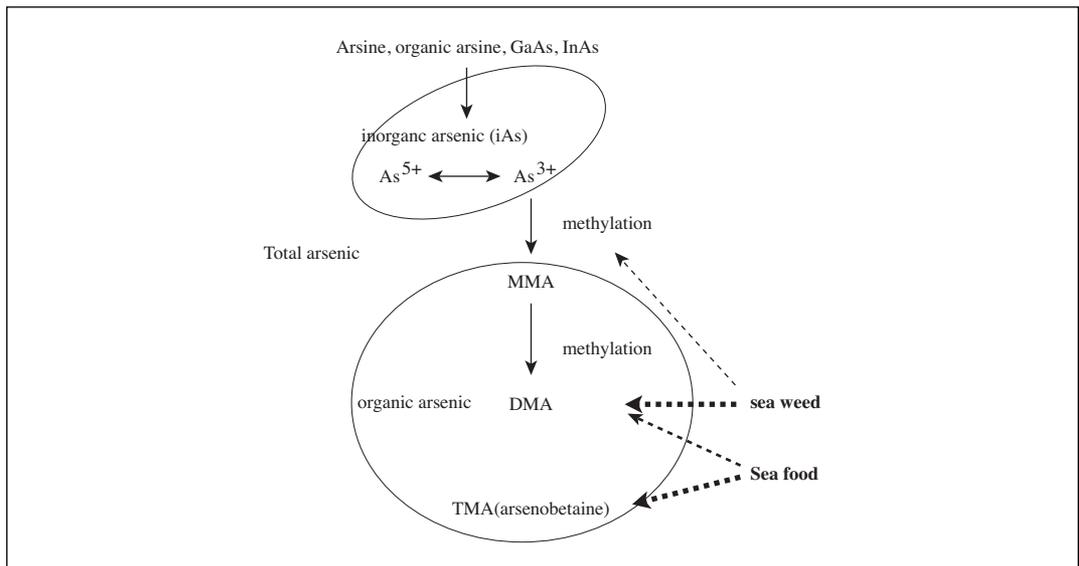


그림 1. 비소화합물의 대사경로

류에 있는 arsenosugar는 DMA로 검출된다. 단, 해조류 중 톳은 무기비소(iAs)를 함유하고 있다. 생선, 조개, 새우 등, 어패류(sea food)를 섭취하게 되면, 어패류에 있는 아세노베타인(arsenobetaine)은 trimethyl arsenic acid (TMA)로 검출된다. 일부 어패류(전복 등)에 있는 arsenosugar는 DMA로 검출되기도 한다. 무기비소에서 생성된 DMA와 arsenosugar로부터 생성된 DMA는 서로 구별이 되지 않는다. 반감기는 메틸화 비소화합물은 5-6 시간, 무기비소는 24-28 시간 정도가 된다.

한국이나 일본에서는 해산물을 많이 섭취하기 때문에 비소에 대한 노출을 평가하는데 있어서, 해산물 섭취가 고려해야 할 중요한 요인이 된다.

3) 진단: 소변 비소농도는 최근 2-3일 정도에 노출된 비소량을 반영한다. 소변에서의 화학형 분석(species analysis)은 용이하며, 비교적 표준화되어있으며, ACGIH에서도 화학형 분석을 제시하고 있다. 즉, iAs+MMA+DMA의 총합을 재도록 하고 있다.

그림 1에서처럼, 화학형 분석을 하지 않고 소변의 총 비소량만 측정하게 되면 [iAs+MMA+DMA+TMA]를 측정하게 되는 것이고, TMA는 어패류를 섭취하면 높아지므로, 혼란요인이 될 수 있다(ACGIH, 2004). 참고로 ACGIH의 생물학적 노출지표(biological exposure index: BEI)로서 35

$\mu\text{g As/g creatinine}$ 을 제시하고 있으나, 한국이나 일본은 해조류의 섭취가 서구보다 훨씬 많으므로, background값이 높은 경향을 나타내며  $50\mu\text{g As/g creatinine}$ 을 상회한다.

해조류나 어패류의 영향을 배제하려면, 며칠간 해산물을 금식한 상태에서 측정해야 하나, 현실적으로 어렵다. 비소중독의 판단은 전체 농도의 상승과 더불어 그 패턴이 중요하다.

전혈의 비소농도는 헤파린으로 처리된 전혈로 측정하게 되나, 소변보다 덜 권장되며 기준치가 제시되어 있지 않다. 매우 최근의 노출을 보는 경우와 고농도 급성 중독의 경우에 유용하다.

모발 비소는 비교적 그 유용성이 인정되는 측정법이다. 비소는 모발의 SH-group에 친화성이 강하다. 모발의 비소농도는 다른 조직보다 높으며 노출이 중지되면 수 주 안에 정상으로 돌아온다.

4) 치료: 원칙적으로 노출로부터 격리시킨다. 급성 중독 시는 BAL로 가능한 빨리 치료하며, 만성 중독 시에는 해독제가 유효하지 않다.

#### 4. 카드뮴 중독

1) 증상: 일반적으로 카드뮴 중독 하면 일본의 이타이이타이병을 연상하지만, 기본적인

표 8. 환경성 카드뮴중독과 직업성 카드뮴중독의 비교

	환경성	직업성
노출경로	경구	흡입
건강장애	신장장애, (골장애)	신장장애
노출기준		5 $\mu$ g/L(혈액), 5 $\mu$ g/g Cr(소변)

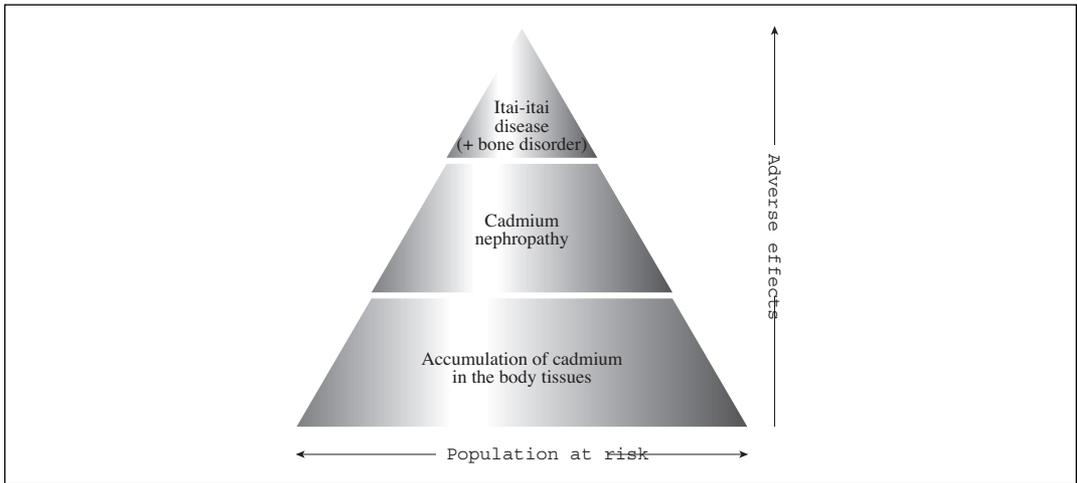
으로 카드뮴 중독의 증상은 신장장애이며, 이타이이타이병 같이 신장장애에다가 골연화증과 같은 골 장애를 동반하는 경우는 매우 드물다.

2) 진단: 혈액이나 소변, 신장피질의 카드뮴 측정이 적절하다. 모발 카드뮴은 신체 부하량과 상관관계가 적은 편이다. 일반인 혈액에서는 1 $\mu$ g/L이하이며, 일반인 소변에서는 연령과 함께 증가하여, 60-70세에 최고치가 된다. 흡연자가 비흡연자에 비하여 혈

중 카드뮴 농도가 높다. 일본인의 일반인 소변 평균치는 0.1-3.3 $\mu$ g/L이고, 이타이이타이병 환자에서는 9-11 $\mu$ g/L를 나타냈다.

### 3) 예방 및 치료

5 $\mu$ g/L(혈액/소변)이상이면 노출평가 및 중재조치를 실시한다. 중재조치는 노출 감소 및 금연이 중요하다. 철분, 칼슘 및 아연이 부족하지 않도록 유의한다. 치료는 원칙적으로 노출로부터 격리시키며 급성 중증 중독 시는 CaNa<sub>2</sub> EDTA를 쓸 수 있다. 🌐



Natural history of cadmium exposure