

## 직업적인 납 노출이 없는 일부 중년 한국인의 골중납량 및 혈중납량

순천향대학교 환경산업의학연구소, 순천향대학교천안병원 산업의학과<sup>1)</sup>, 순천향대학교 화학과<sup>2)</sup>

김남수 · 최성우 · 김진호 · 함정오<sup>1)</sup> · 박해윤<sup>2)</sup> · 안규동 · 이병국

— Abstract —

### Bone and Blood Lead Levels of Middle Aged Koreans not Occupationally Exposed to Lead

Nam-Soo Kim, Sung-Woo Choi, Jin-Ho Kim, Jung-O Ham<sup>1)</sup>, Hae-Yoon Park<sup>2)</sup>,  
Kyu-Dong Ahn, Byung-Kook Lee

*Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University, Department of Occupational Medicine,  
Soonchunhyang University Hospital, Cheonan<sup>1)</sup>, Department of Chemistry, Soonchunhyang University<sup>2)</sup>*

**Objectives:** In order to investigate the level and the association between bone lead and blood lead levels of non-occupationally, lead-exposed Koreans, the authors studied the lead biomarkers of 137 middle aged Koreans (86 males and 51 females) older than whose age were above 40 years.

**Methods:** The tibia lead level was selected as the bone lead indicator of cortical bone, and the blood lead level was also measured. The tibia lead level was measured by K-shell XRF with 30-minute measurement of each subjects. The blood lead level was analyzed by AAS method.

**Results:** The mean (SD) of the tibia lead level of the 137 study subjects was 3.49 (4.99)  $\mu\text{g/g}$ , and tended to be higher. The mean (SD) of tibia lead level in male subjects (was 3.90 (4.88)  $\mu\text{g/g}$ ) and larger than in that of female subjects (2.80 (5.14)  $\mu\text{g/g}$ ), but without no statistical significance was observed.

The mean (SD) of blood lead level of all total subjects was 3.70 (1.35)  $\mu\text{g/dl}$ , and tended to be higher. The mean (SD) of blood lead level in male subjects (was 3.93 (1.25)  $\mu\text{g/dl}$ ) and larger than in that of female subjects (3.30 (1.42)  $\mu\text{g/dl}$ ), but without no statistical significance was observed.

In multiple regression analysis of blood lead levels after adjusting for covariates, age was a significant independent variable. A weak association of age with tibia lead in female subjects was also observed in multiple regression analysis.

**Conclusion:** The mean (SD) of tibia and blood lead levels of middle aged Koreans whose ages were over 40 years old were 3.49 (4.99)  $\mu\text{g/g}$  and 3.70 (1.35)  $\mu\text{g/dl}$ , respectively. Age and sex were positive predictors of blood lead level in multiple regression analysis after controlling for the covariates. However, in multiple regression analysis whereas age was weakly association with tibia lead level only in female subjects in multiple regression analysis.

**Key Words:** Bone lead, Blood lead, Middle aged Koreans

## 서 론

납은 우리주위에서 흔히 발견되고 사용되는 산업 활동에 필수적인 금속이다. 기원전 7000년 전부터 인류가 사용한 금속으로 비철금속으로 가장 많이 사용되고 있다. 현대 산업사회에서의 납 사용의 증가는 납을 취급하는 납 사업장 근로자들의 납중독을 유발하였을 뿐 아니라, 일반 대기환경에도 납 노출의 증가를 초래하여 일반인구집단에서의 과다 납 노출이 사회문제 된바 있다(Zenz, 1994). 지난 수세기동안 산업장이나 일반 환경에서 납 노출을 줄이려는 노력이 경주되어 구미선진국에서는 직업적 납중독은 현저히 감소하였으며, 일반인들의 체내 납 노출의 수준도 상당히 감소한 바 있다. 그러나 이와 같은 납 노출의 감소에도 불구하고, 과거에는 문제가 되지 않았던 저농도의 노출수준에서도 납에 의한 영향이 나타나서 납 노출로 인한 건강위험의 정도가 감소되지 않고 있다. 우리나라도 과거에 비하여 납 사업장 근로자들의 납 노출이 감소하여 왔으며, 일반인들의 혈중납량도 상대적으로 감소 추세에 있다(Lee, 1999).

납 노출의 체내 평가지표로서는 혈중납량이 가장 잘 알려져 있는 생물학적 지표이다. 혈중납량은 최근 2~3개월의 대기 중이나 음식을 통한 외부의 납 흡수로 인한 노출수준을 나타냄과 동시에, 체내에 축적된 골중납의 혈액 용출(resorption)로 인한 체내노출을 동시에 나타내주는 지표이다. 그러나 이는 최근의 납 노출 수준을 나타내는 데는 좋은 지표이나 체내의 누적된 납 수준을 나타내는 데는 충분치 못한 것으로 알려져 있다. 체내에 흡수된 납은 혈액에 일부 남아 있고, 약 90-95%의 납은 골 조직에 침착되어 장기간 체내에 축적되어 있다(Hu et al, 1998).

골중납량의 측정은 과거에는 침습적방법(invasive method)에 의한 골 조직을 일부 떼어내어 화학분석기로 분석하는 어려운 것이었으나, 지난 수세기에 걸쳐 골중납량을 비침습적방법(non-invasive)으로 분석할 수 있는 X-ray fluorescence 방법이 개발되어 골중납량을 측정할 수 있게 되어 체내 누적된 납의 측정에 전기를 마련하였다(Hu et al, 1995). 특히 카드뮴동위원소를 이용한 K-shell X-ray fluorescence 방법의 골중납량 측정은 지난 20여 년 동안 많은 학자들에 의해 골중납량 측정의 대표적인 방법으로 대두된바 있다(Landrigan & Todd, 1994; Hu et al, 1995).

지난 10여년의 납 노출관련 역학적 연구결과들에 의하면, 저 농도의 납 노출에 의한 건강영향은 급성노출이나 단기간의 노출에 의한 영향이기보다는 장기적인 만성적 저 농도 노출에 의한 영향이 더 중요할 수 있다는 주장이 설득력을 얻고 있다(Hu et al, 2007). 따라서 납 노출

에 관한 보다 정확한 정보를 얻기 위해서는 혈중납량 이외에 골중납량의 측정이 필요하다.

본 연구에서는 우리나라의 40세 이상의 성인 남녀 중 직업적 납 노출이 없는 대상자를 선택하여 혈중납량과 골중납량을 수준을 측정하여 이들 상호간의 관련성을 규명하여, 향후 우리나라의 환경관련 납 노출에 관한 관련 연구에 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구대상

직업적으로 납에 노출되지 않은 40세 이상의 남자 86명과 51명의 여자를 대상으로 하였다. 대상자들의 연령별 분포는 40~49세에 76명(남 70명, 여 6명), 50~59세에 45명(남 12명, 여 33명) 그리고 60세 이상에는 16명(남 4명, 여 12명)의 대상자가 분포하였다. 남자 대상자들은 납을 사용하지 않는 충납 천안에 소재하는 일반사업장과 충납 아산에 위치한 본 대학교에 소속되어 있거나 자영업에 종사하였다. 여자 대상자들은 본대학교 소속 용역직원이나 강원도 원주지역에 거주하는 전업주부로서 구성되었다. 조사기간은 2004년 4월부터 2005년 2월까지였다. 조사대상자들로부터 연구 참여에 관한 개인별 동의서를 받았으며, 본 연구계획에 관한 본 저자들이 소속된 연구윤리위원회의 승인이 있었다.

### 2. 연구방법

연구변수로는 납 노출의 지표로서 혈중납량과 경골의 골중납량을 측정하였다. 조사대상자들의 인적변수로서 성별, 연령을 측정하였으며, 신장과 체중으로부터 계산된 body mass index (BMI)를 구하였다. 또한 조사대상자들의 흡연과 음주에 관한 정보도 조사하였다.

#### 1) 혈중납량 분석

혈중납량은 전혈 0.2 ml를 1.5 ml의 1% Triton X-100으로 희석하여 표준곡선은 standard addition법으로 작성하고 비불꽃 원자 흡광광도계(Hitachi Z-8100, Polarized Zeeman effect, AAS)로 분석하였다(Kneip & Crable, 1988).

#### 2) 골중납량 측정

경골의 골중납량은 109 Cd(카드뮴)을 사용하는 K-shell X-ray fluorescence로 측정하였다(Canbera Industries 800 Research Parkway Meriden, CT 06450, U.S.A.).

XRF 기계의 구성요소는 형광을 내는 109 Cd선원, 방사선 검출기(radiation detector; Ge), 전치증폭기(pre-amplifier), 증폭기(amplifier), 아날로그-디지털 변환기(analog-digital converter), 다중채널분석기(multi-channel analysis)와 자료의 저장과 분석을 위한 컴퓨터이다(Todd & Chettle, 1994).

검사방법은 먼저 옷에 있는 금속 물질이나 쇠붙이 등을 제거하고 무릎 관절에서 발목 관절까지의 경골 길이와 폭을 잴 후 그 중간에 표시를 하고 검사 전에 3% 빙초산으로 왼쪽 경골 부위를 닦아 오염물질을 제거하였다. 그리고 납이 들어 있지 않은 플라스틱 의자에 검사 대상자를 앉힌 후 XRF 장치와 경골과는 수직이 되게 하고 슬개골의 외측 방향으로 30°를 유지하게 하였다(Choi et al, 2000). 그 다음에 표시한 왼쪽 경골(정강이뼈)의 중간 부위에 XRF 장치를 맞추고 경골과의 거리를 3~4 cm 정도로 일정하게 유지한 상태로 다리를 움직이지 않도록 천으로 된 끈으로 묶은 후 30분 동안 검사를 실시하였다. 기계의 정확도 확인과 측정의 불확실성을 평가하기 위해서 실험실에서 검사를 할 경우 검사 전, 중간, 후에 다른 농도의 납이 들어 있는 3개의 석고상(Phantom)으로 매일 교정한 후 검사를 시행하였고, 2주 간격으로 방사성 동위원소의 에너지 교정과 다른 농도의 납이 들어있는 18개의 석고상으로 교정하였다(Choi et al, 2000).

골중납량의 측정 단위는 뼈의 무기질 1g당  $\mu\text{g}$  납 농도 ( $\mu\text{g Pb/g bone mineral}$ ) 또는 백만분의 일(ppm)로 표시하였다(Todd et al, 2001).

### 3. 통계적 분석방법

본 연구는 직업적 납노출이 없는 40세 이상의 성인 남녀의 골중 및 혈중납량의 수준을 알아보고, 이들 상호간의 관련성을 보고자 SAS 통계프로그램(SAS 9.13)을 이

용하였다. 기술역학적 방법으로 남녀의 골중 및 혈중납량의 분포의 정규성을 검토한바 골중 및 혈중납량 모두 정규분포를 나타내어, 산술평균과 표준편차와 범위를 구하였으며, 성별과 연령구분(40~49세, 50~59세 및 60세 이상)에 따른 측정변수의 평균을 구하였으며, 이를 그림으로 표시하였다. 연령이 골중 및 혈중납량과 관련이 있어 이를 통제한후 각 관련 변수들의 편상관계수를 구하여 상호 관련성을 검토하였다. 혈중납량에 미치는 관련변수들의 영향을 알아보기 위하여 혈중납량을 종속변수로 하고, 골중납량, 연령, 성, 흡연 및 음주 여부 그리고 체질량지수를 독립변수로 한 중회귀분석을 실시하였다. 또한 골중납량을 종속변수로 하고 혈중납량, 연령등의 기타 변수들을 독립변수로 한 중회귀분석도 실시하였다.

## 결 과

남자 연구대상자들의 연령의 평균이 45.9세로서 여자 연구대상자들의 54.8세보다 유의하게 적었다( $p<0.01$ ). 남녀 대상자간의 BMI의 차이는 없었다. 연구대상자들의 흡연과 음주여부를 비교한바, 흡연여부에서는 남자 대상자들의 경우 69.8%가 흡연자인 반면 여자 대상자의 경우 대상자중 1명인 2%만이 흡연자이었다. 또한 음주여부의 비교에서도 남자 대상자들의 주기적으로 음주를 하는 대상자가 75.6%인 반면 여자 대상자에서는 35.3%만이 주기적으로 음주를 한다고 답하였다.

골중납량과 혈중납량의 평균은 남자 연구대상자들은 3.90  $\mu\text{g/g}$ 과 3.93  $\mu\text{g/dl}$ 이었으며, 여자 대상자들의 2.8  $\mu\text{g/g}$ 과 3.30  $\mu\text{g/dl}$ 보다 높은 평균치를 나타냈으나 각각 통계적으로 유의하지 않았다(Table 1).

골중납량과 혈중납량의 성별 및 연령구분에 따른 평균과 표준편차 및 범위는 Table 2와 같다. 골중납량은 연령증가에 따라 증가하였으며, 여자대상자들에서 더 차이가 컸

**Table 1.** Summary data of study variables

Variable	Male (n=86)	Female (n=51)	Total (n=137)
	Mean $\pm$ SD (Min-Max)	Mean $\pm$ SD (Min-Max)	Mean $\pm$ SD (Min-Max)
Age (years)	45.92 $\pm$ 6.07 (40.1~67.2)	54.76 $\pm$ 5.50 (40.0~64.1)	49.21 $\pm$ 7.25 (40.0~67.2)
Tibia lead ( $\mu\text{g/g}$ )	3.90 $\pm$ 4.88 (-7.7~16.6)	2.80 $\pm$ 5.14 (-9.0~15.5)	3.49 $\pm$ 4.99 (-9.0~16.6)
Blood lead ( $\mu\text{g/dl}$ )	3.93 $\pm$ 1.25 (1.3~7.9)	3.30 $\pm$ 1.42 (1.3~7.6)	3.70 $\pm$ 1.35 (1.3~7.9)
BMI ( $\text{kg/m}^2$ )	23.84 $\pm$ 2.75 (18.5~30.1)	24.73 $\pm$ 2.47 (19.0~30.0)	24.17 $\pm$ 2.67 (18.5~30.1)
Smoking			
Smoking	60 (69.8%)	1 (2.0%)	61 (44.5%)
Ex or non-smoking	26 (30.2%)	50 (98.0%)	76 (55.5%)
Drinking			
Drinking	65 (75.6%)	18 (35.3%)	83 (60.6%)
Ex or non-drinking	21 (24.4%)	33 (64.7%)	54 (39.4%)

BMI: body mass index

으나 각군의 대상자가 적어 유의한 차이는 아니었다.

성별을 통제한 후 연구변수들의 편 상관을 구한 바는 Table 3과 같다. 연령과 유의한 상관을 나타낸 변수는 혈중납량과 BMI이었으며, 골중납량과는 경계 상관계수

**Table 3.** Pearson partial correlation matrix of selected study variables (adjusted by gender)

	Age	Tibia lead	Blood lead
Tibia lead	0.151		
Blood lead	0.169*	0.161	
Body mass index	0.192*	-0.042	0.068

\*: P < 0.05

값(p=0.07)을 나타냈다. 또한 혈중납량과 골중납량 사이도 p=0.06의 경계 상관계수 값의 관계를 보여주었다.

혈중납량을 종속변수로 하고 관련 연구변수를 독립변수로 한 중 회귀분석결과는 Table 4와 같다. 연령과 성, 흡연, 음주 그리고 BMI를 독립변수로 한 분석(모형 1)에서는 연령과 성별구분이 유의한 영향을 나타내었으나, 모형 2의 골중납량을 추가한 경우 연령, 성별구분 및 골중납량이 경계유의수준(0.05 < p < 0.10)의 영향을 나타내었으며, 흡연 및 음주여부는 혈중납량에 영향을 주지 않았다. 골중납량을 종속변수로 하고 관련 연구변수를 독립변수로 한 중 회귀분석결과 골중납량에 연령이나 성별구분이 유의한 영향을 주지 않아서 조사대상자 중 여자 대상자만을 대상으로 중 회귀분석 한 바는 Table 5와 같다.

**Table 2.** Mean and standard deviation of tibia & blood lead by sex and age group

Gender	Age (years)	No. of samples	Tibia( $\mu\text{g/g}$ )	Blood lead( $\mu\text{g/dl}$ )
			Mean $\pm$ SD (Min-Max)	Mean $\pm$ SD (Min-Max)
Male	40~49	70	3.69 $\pm$ 4.84 (-7.70~16.60)	3.80 $\pm$ 1.19 (1.30~7.90)
	50~59	12	4.09 $\pm$ 5.23 (-6.0~11.40)	4.66 $\pm$ 1.34 (2.60~6.30)
	$\geq 60$	4	6.82 $\pm$ 4.81 (1.90~11.30)	3.97 $\pm$ 1.50 (2.60~5.80)
Female	40~49	6	1.05 $\pm$ 4.09 (-3.00~6.80)	2.31 $\pm$ 0.65 (1.50~3.10)
	50~59	33	2.56 $\pm$ 5.76 (-9.00~15.50)	3.49 $\pm$ 1.4 (1.30~7.50)
	$\geq 60$	12	4.32 $\pm$ 3.37 (-2.00~9.00)	3.26 $\pm$ 1.49 (1.50~6.30)
Total	40~49	76	3.48 $\pm$ 4.81 (-7.70~16.60)	3.68 $\pm$ 1.22 (1.30~7.90)
	50~59	45	2.96 $\pm$ 5.60 (-9.00~15.50)	3.80 $\pm$ 1.50 (1.30~7.50)
	$\geq 60$	16	4.95 $\pm$ 3.77 (-2.00~11.30)	3.44 $\pm$ 1.48 (1.50~6.30)

**Table 4.** Multiple regression model of blood lead level in non-occupationally lead exposed subjects

Dependant Variables	Parameter estimate	Standard Error	t-value	p-value	R <sup>2</sup>
Model					0.12
Age (years)	0.041	0.019	2.08	0.039	
Sex, female vs male	-0.751	0.341	-2.20	0.029	
Smoking, current vs ex or never	0.184	0.305	0.60	0.546	
Drinking, current vs ex or never	0.345	0.251	1.37	0.171	
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	0.025	0.043	0.59	0.556	
Model 2					0.14
Tibia lead ( $\mu\text{g/g}$ )	0.038	0.022	1.69	0.093	
Age (years)	0.036	0.020	1.80	0.074	
Sex, female vs male	-0.668	0.342	-1.95	0.053	
Smoking, current vs ex or never	0.174	0.303	0.57	0.567	
Drinking, current vs ex or never	0.358	0.249	1.44	0.153	
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	0.031	0.043	0.72	0.473	

혈중납량 없이 연령만을 독립변수로 취하였을 경우 연령은 경계수준의 유의한 영향(p=0.07)을 나타내었으며, 혈중납량과 연령을 동시에 독립변수로 하였을 경우 혈중납량(p=0.090)과 연령(p=0.065) 모두 경계수준의 유의한 영향을 나타냈다.

고 찰

일단 체내에 들어온 납은 들어온 경로에 관계없이 혈액에 흡수된 후 혈액 및 간, 콩팥과 같은 연부조직에 총 흡수된 납의 5% 미만만 남아 있고 흡수된 납의 대부분(90% 이상)이 뼈속에 저장된다. 뼈속의 납은 물렁뼈에 약 20~30% 그리고 나머지가 정강이뼈 같은 딱딱한 뼈

에 저장된다. 이와 같이 혈액과 연부조직 및 뼈속의 모든 납을 합하여 총칭하여 총 체내 납 부담(total body lead burden)이라고 한다(Hernandes-Avila et al, 1998).

혈액의 납은 활성화된 상태로 조혈기관과 체내의 여러 장기에 직접적인 영향을 주는 반면 뼈속의 납은 비 활성화된 상태로 비교적 안정된 상태로 오랫동안 저장된다. 혈액의 납은 체내에 남아있는 반감기가 짧아 약 3~6주정도 밖에 안 되지만 뼈속의 납, 특히 경골의 경우 반감기가 10년이 넘는 경우가 많다(Cake et al, 1996).

뼈속의 납량측정은 최근의 납 노출 정도에 영향을 받는 혈중납량과는 달리 과거부터 현재까지의 납 노출로 인한 장기간의 체내 총 납 부담을 비교적 잘 반영하므로 직업적으로 만성적인 납 노출이 있었던 근로자들의 건강이상

Table 5. Multiple regression model of tibia lead level in non-occupationally lead exposed female subjects

Dependant Variables	Parameter estimate	Standard Error	t-value	p-value	R <sup>2</sup>
Model 1					0.07
Age (years)	0.257	0.138	1.85	0.070	
Smoking, current vs ex or never	-3.312	5.567	-0.59	0.554	
Drinking, current vs ex or never	-0.303	1.547	-0.20	0.845	
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	0.195	0.320	-0.61	0.543	
Model 2					0.13
Blood lead (µg/dl)	0.957	0.560	1.71	0.094	
Age(years)	0.256	0.135	1.89	0.065	
Smoking, current vs ex or never	-5.735	5.637	-1.02	0.314	
Drinking, current vs ex or never	-1.071	1.581	-0.68	0.501	
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	-0.339	0.325	-1.05	0.301	

Table 6. Comparison of tibia and blood lead level of non-occupationally exposed subjects in selected published papers

Author (published year)	N	Gender	Age	Tibia lead (µg/g)	Blood lead (µg/dl)
			Mean (SD)	Mean (SD or range)	Mean (SD or range)
Kim et al, (1997)	70	Male	65.7 (6.9)	17.5 (2.0)	6.7 (1.8)
Payton et al, (1998)	141	Male	66.8 (6.8)	22.5 (12.2)	5.5 (3.5)
Park et al, (2003)	413	Male	72.9 (6.5)	19.0 (11~28)	-
Tsaih et al, (2004)	448	Male	66.0 (6.6)	21.5 (13.5)	6.5 (4.2)
Chuang et al, (2001)	608	Female	24.5 (5.1)	9.6 ( 9.2)	8.4 (3.9)
Latorre et al, (2003)	232	Female	54.1 (9.8)	14.8 (10.1)	9.2 (4.7)
Popovic et al, (2005)	99	Female	45.7 (1.3)	3.2 ( 0.5)	1.3 (2.1)
Berkowitz et al, (2004)	40	Female	30~54	5.2 (median)	2.1 (median)
Hernandes-Avila et al, (1998)	27	Both	36 (24.54)	11.7 (10.6)	11.8 (10.8)
Schwartz et al, (2000)	135	Both	34.5 (9.1)	5.8 (7.0)	5.3 (1.8)
Stoker et al, (1998)	276	Both	24.2 (3.02)	0.6 (-46.4~17.4)	1.6 (1.4)
Elmarsafawy et al, (2002)	656	Male	60~70	21.8 (13.5)	6.1 (3.9)
Schafer et al, (2005)	1037	Both	59.3 (5.9)	18.9 (12.5)	3.5 (2.4)
Muntner et al, (2007)	53	Both	48.9 (1.7)	13.0 (10~20)*	3.0 (3~3)*

\*: Median (inter-quartile range), N: sample size

을 평가하는데 중요한 검사지표로 쓰일 수 있다. 과학과 의학의 발전으로 급성 납중독의 위험은 많이 줄었으나 과거에는 별로 문제 삼지 않던 경미한 신체변화나 이상도 점차 건강관리의 중요한 사안으로 대두되고 있다. 특히 만성 납 노출로 인한 신경행동학적 수행능력의 감소, 말초신경장해, 콩팥기능의 장해, 납에 의한 고혈압발생여부 등은 현재의 납 노출 정도만으로 가늠하기 어려우나 뼈속의 납량을 측정하여 과거부터 지금까지의 체내 납 축적량을 평가하여 비교하면 보다 과학적인 원인규명의 단서를 제공할 수 있다. 골중납량 측정에 관한 연구는 전 세계적으로 10여 곳 미만의 연구기관에서만 이루어지고 있어, 아직 임상적 검사방법으로 이를 이용하기에는 더 많은 개선이 필요하다(Hu et al, 2007).

골중납량은 과거의 직업적 납 노출의 유무는 물론 생활 환경의 납 노출수준에 따라 달라진다. 지난 20여 년간 미국 보스턴지역 일반주민들을 건강조사의 일환으로 골중납량 연구를 많이 발표한 하버드대학 보건대학원 연구팀들의 연구결과(Kim et al, 1997; Payton et al, 1998; Elmarsafawy et al, 2002; Tsaih et al, 2004; Park et al, 2006)를 보면 평균연령이 60세가 넘는 남자조사대상자 경골의 골중납량은 조사시점과 대상자들의 차이에 따라 평균은 17.5  $\mu\text{g/g}$ 부터 21.8  $\mu\text{g/g}$  사이의 값을 나타내었고, 상대적인 혈중납량의 평균도 5.5  $\mu\text{g/dl}$ 에서 6.7  $\mu\text{g/dl}$ 사이의 값을 나타내었다. 본 연구의 남자대상자 중 60 이상인 군의 골중 및 혈중납량은 6.82  $\mu\text{g/g}$ 과 3.97  $\mu\text{g/dl}$ 로서 상대적으로 낮은 농도를 나타냈다. 또한 미국 볼티모어지역 남녀주민을 대상으로 한 연구에서도 (Schafer et al, 2005) 경골의 골중납량은 18.9  $\mu\text{g/g}$ 이었으며 혈중납량은 3.5  $\mu\text{g/dl}$ 이었으며 본 조사대상의 동일 연령대인 50대의 골중 및 혈중납량은 각각 2.96  $\mu\text{g/g}$ 과 3.80  $\mu\text{g/dl}$ 로 조사되었다. 본 연구결과가 보스턴이나 볼티모어 연구결과보다 골중납량이 현저히 낮은것은 미국에서는 1970년 초까지 납이 함유된 페인트를 가정용으로 사용하고 또한 차량용 연료로 납이 함유된 유연연료를 사용하는등 한국보다 환경노출로 인한 납노출이 상대적으로 많기 때문인 것으로 판단된다(Todd 등 2000). 한편 혈중납량의 평균은 본 연구의 결과가 보스턴 연구보다는 상대적으로 낮았으나 볼티모어 보다는 오히려 높았던 것은 지난 10여년간의 미국의 환경납노출이 현저히 감소한 결과로 해석된다(Department of Health & Human Service, 2005).

한편 Schwartz 등(2000)은 한국인 납 근로자들을 대상으로 한 연구에서 135명의 납 노출이 없는 대조군의 골중납량과 혈중납량이 각각 5.8  $\mu\text{g/g}$ 과 5.3  $\mu\text{g/dl}$ 로 보고한바 있다. 본 조사결과보다 Schwartz 등(2000)이 조사한 비납취급 대상자들의 혈중납량이 높게 나타난 것

은 연구시점이 1997에서 1998년 사이였고 본 조사는 2004년에 이루어진 것이 원인일 것으로 판단된다. 우리나라도 지난 10여 년간 정상인들의 혈중납량이 점진적으로 감소추세에 있어 이런 차이가 나타났다고 본다. 최근의 우리나라 정상인들의 혈중납량의 조사에서(Ministry of Environment, 2005) 혈중납량의 기하평균이 2.66  $\mu\text{g/dl}$ 로서 과거에 비해 현저히 낮아졌지만, 아직도 미국의 혈중납량의 기하평균 1.45  $\mu\text{g/dl}$  (Department of Health & Human Service, 2005)와 비교하면 상대적으로 높은 경향을 나타내고 있다. 본 연구의 혈중납량의 평균은 상기한 2005년도 2000명의 남녀를 대상으로 한 우리나라 국민 중금속조사(Ministry of Environment, 2005)와 비교하여도 상대적으로 높은 값이었다. 본 조사는 40세 이상의 중장년층을 대상으로 한 비교적 규모가 작은 조사이므로 직접 비교하기에는 어려움이 있을 수 있으나, 우리나라 국민 중금속 조사의 40세 이상의 연령층의 혈중납량이 젊은 연령층보다 높았던 점을 고려하면 연령의 차이에서 오는 것으로 해석할 수 있다. 특히 본 조사의 남자 대상자들의 일부는 납을 취급하지 않는 생산직 근로자들이었으며, 이들의 혈중납량은 나머지 남자대조군(사무직 과 자영업)보다 상대적으로 높은 것에(표 제시하지 않음) 기인되었을 것으로 유추할 수 있으나 일반 생산직과 사무직간의 중금속 농도가 차이가 있는지는 향후 더 조사해야 할 것이다.

Chuang 등(2001)은 멕시코 가임여성 608명을 대상으로 측정한 경골납량과 혈중납량은 각각 9.6  $\mu\text{g/g}$ 과 8.4  $\mu\text{g/dl}$ 이었으나, 미국의 Bunker Hill 제련소에 근무했던 여자 근로자들에 대한 연구에서 대조군으로 99명의 지역 주민들의 경골납량과 혈중납량은 각각 3.2  $\mu\text{g/g}$ 과 1.3  $\mu\text{g/dl}$ 로 보고 되었다. 본 조사에서 여자 대상자들의 골중 및 혈중납량은 2.8  $\mu\text{g/g}$  및 3.30  $\mu\text{g/dl}$ 로서 멕시코 여성들보다는(Hernandes-Avila et al, 1998; Latorre et al, 2003) 현저히 작은 양을 나타냈으나, 미국의 대조군(1.3  $\mu\text{g/dl}$ )보다는 혈중납량의 농도가 현저히 높았다. 지난 10여 년간 미국에서 보고 된 정상인들의 혈중납량은 유럽이나 일본 그리고 우리나라의 정상평균보다 현저히 낮은 농도를 나타내고 있다(Department of Health & Human Service, 2005). 현재 대부분의 국가에서 혈중납량을 측정하는 표준분석방법으로 사용하는 원자흡광광도계법은 최저 검출한계가 1  $\mu\text{g/dl}$ 이고, 저 농도 분석의 경우 실험실의 실험조건이나 기타 분석조건에 따라 분석결과에 차이가 나타날 수 있다고 생각되지만, 각국 정상인의 혈중납량 평균이 상당한 차이를 보이는 것에 대한 원인분석이 필요하다.

본 조사에서 성을 통제한 후 실시한 편상관분석에서 혈중납량 연령과 유의한 상관을 나타내어 연령증가에 따라

혈중납량이 증가함을 알수 있었고, 혈중납량을 종속변수로 한 중회귀분석에서도 연령이 유의한 변수임이 확인되었다. 한편 골중납량은 연령과 유의한 편상관이 없었으나, 여자 대상자들만을 대상으로 한 중 회귀분석에서는 연령은 골중납량에 경계수준의 유의한 영향을 나타내었다. 여자 대상자들에서 골중납량이 연령의 증가에 따라 계속 증가하는지 혹은 고령화됨에 따라 골밀도의 저하가 상대적으로 골중납량의 증가로 나타나는지에 대한 검토가 필요하다. Hu 등(2007)이 지적한 것처럼 골중납량의 분모는 골밀도로 골밀도가 고령화로 더 저하되면 골 조직에 남아있는 납의 절대량은 변화가 없더라도 분모가 감소하여 골중납량이 증가하는 것 같이 나타날 수 있기 때문이다. 앞으로 골중납량과 골밀도와의 관련성에 관한 체계적인 연구가 필요하다고 본다.

Tsaih들(2001)은 골중납량과 혈중납량 사이에 유의한 상관관계가 존재하였으며, 중회귀분석에서도 교란변수를 통제 한 후 경골의 골중납량이 혈중납량에 유의한 변수로 작용한다고 보고하였다. 그러나 본조사에서는 골중납량이 혈중납량과 유의한 상관관계가 없었으며, 중회귀분석에서도 골중납량은 유의한 설명변수가 아니었다. 골중납량은 체내에서 납의 저장소로 작용하여 서서히 혈액으로 납이 용출되어 나오므로서 혈중납량의 일정 부분을 차지한다. 따라서 골중납량과 혈중납량의 관련성은 예측될 수 있으며, 납근로자들의 경우에는 양자간의 관련성이 밀접한 것으로 보고 되었으며, 상기한 Tsaih들(2001)의 연구에서도 관련성이 입증되었으나 본 연구에서 이를 확인하지 못한 것은 본 대상자들의 골중납량이 상대적으로 너무 낮아서 혈중납량의 증가에 기여를 못하였는지, 혹은 상대적으로 5 µg/dl 이하의 저농도이어서 현재의 골중납량 측정방법으로는 측정이 부정확하여 이들 상호간의 관련성을 입증하지 못하였는지는 앞으로 더 많은 납노출이 직업적으로 없는 대상자들을 대상으로 보다 정밀한 개선된 XRF장비로 규명되어야 할 것이다.

본 연구는 전연령층의 직업적 납노출이 없는 대상자가 아닌 40세 이상만을 선발하였으나 각 해당연령층이나 성별의 비율도 일정하지 않고 대상자의 수가 상대적으로 적어 해당 연령층의 골중납량이나 혈중납량 수준을 가늠하기에는 부족하였다. 직업적 납노출이 없는 일반인들의 골중납량측정을 위한 대상자 선별이 직업적 납노출군에 비하여 상대적으로 어려워서 충분한 대상자를 확보하지 못하였다.

또한 XRF 방법에 의한 분석결과가 정상인들을 대상으로 측정하기 때문에 일부 대상자들의 결과가 음의 값을 나타내었으나 자료 분석에서 음의 값을 그대로 사용하는 것이 분석기법상 타당하므로, 골중납량의 분포가 정규분포에서 다소 벗어난 분포이었으나 기하평균을 내지 않고

산술평균을 낼 수밖에 없었다.

## 요 약

**목적:** 우리나라에서 납에 직업적으로 노출되지 않은 일부 중년 성인들의 골중납량과 혈중납량의 수준과 상호관련성을 알아보기 위하여 40세 이상 남자 86명 여자 51명 총 137명을 대상으로 본 연구를 시도하였다.

**방법:** 연구변수로 골중납량인 경골납량, 혈중납량을 택하였다. 경골납량은 K-shell XRF를 이용하여 각 대상자들을 30분간 측정하였고, 혈중납량은 원자흡광광도계법으로 분석하였다.

**결과:** 총대상자 137명의 경골납량의 평균±표준편차는 3.49±4.99 µg/g이었으며, 남자와 여자는 각각 3.90±4.88 µg/g 및 2.80±5.14 µg/g이었으나 양군 평균의 통계적 차이는 없었다. 한편 총대상자 137명의 혈중납량의 평균±표준편차는 3.70±1.35 µg/dl이었으며, 남자와 여자는 각각 3.93±1.25 µg/dl 및 3.30±1.42 µg/dl이었으나 양군 평균의 통계적 차이는 없었다.

음주, 흡연 및 BMI를 통제한 후 혈중납량을 종속변수로 한 중 회귀분석에서 연령은 양의 영향을 주는 변수로 나타났다. 여자대상자만을 대상으로 한 중 회귀분석에서 교란변수를 통제한 후 연령은 경골납량에 경계수준의 양의 영향을 나타내었다.

**결론:** 40세 이상의 우리나라 중년성인의 경골납량의 평균±표준편차는 3.49±4.99 µg/g이었으며, 혈중납량의 평균±표준편차는 3.70±1.35 µg/dl이었다. 혈중납량은 연령과 성과 유의한 양의 관련성이 있었으나, 골중납량은 여자에서만 연령과 경계수준의 유의한 관련을 나타냈다.

## 참고문헌

Choi SW, Hwang KY, Kim YB, Lee GS, Jang BK, Ahn KD, Lee BK. Relationship between bone lead and blood lead in secondary lead smelters. *Soonchunhyang J Ind Med* 2000;6:11-22. (Korean)

Ministry of environmental. A study & survey on the heavy metal of the public health, Ministry of environmental, Gwacheon, 2005, pp 1-143. (Korean)

Berkowitz GS, Wolff MS, Lapinski RH, Todd AC. Prospective study of blood and tibia lead in women undergoing surgical menopause. *Environ Health Persp* 2004;112(17):1673-8.

Cake KM, Bowins RJ, Vaillancourt C, Gordon CL, McNutt BH, Laporte R, Webber CE, Chettle DR. Partition of circulating lead between serum and red cells is different for internal and external sources of lead. *Am J Ind Med* 1996;29:440-5.

Chuang HY, Schwartz J, Gonzales-Cossio T, Lugo MC,

- Palazuelos E, Aro A, Hu H, Hernandez-Avila M. Interrelations of lead levels in bone, venous blood, and umbilical cord blood with exogenous lead exposure through maternal plasma lead in peripartum women. *Environ Health Persp* 2001;109(5):527-32.
- Department of Health & Human Service. Third national report on human exposure to environmental chemicals. Department of Health & Human Service, 2005, pp 38-44.
- Elmarsafawy SF, Tsaih SW, Korrick S, Dickey JH, Sparrow D, Aro A, Hu H. Occupational determinants of bone and blood lead levels in middle aged and elderly men from the general community: The normative aging study. *Am J Ind Med* 2002;42:38-49.
- Hernandez-Avila M, Smith D, Meneses F, Snin LH, Hu H. The influence of bone and blood lead on plasma lead levels in environmentally exposed adults. *Environ Health Persp* 1998;106(8):1-18.
- Hu H. Bone lead as a new biologic marker of lead dose: Recent findings and implications for public health. *Environ Health Persp* 1998;106(4):961-967.
- Hu H, Aro A, Rotnitzky A. Bone lead measured by x-ray fluorescence: Epidemiologic methods. *Environ Health Persp* 1995;103(1):105-9.
- Hu H, Rabinowitz M, Smith D. Bone lead as a biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: Conceptual paradigms. *Environ Health Persp* 1998;106(1):1-8.
- Hu H, Shih R, Rothenberg S, Schwartz BS. The epidemiology of lead toxicity in Adults: Measuring dose and consideration of other methodologic issues. *Environ Health Persp* 2007;115(3):455-62.
- Keip TJ, Crable JV. Methods for biological monitoring: a manual for assessing human exposure to hazardous substances. Washington, DC: Am Public Health Assoc 1988;199-201.
- Kim R, Landrigan C, Mossman P, Sparrow D, Hu H. Age and secular trends in bone lead levels in middle-aged and elderly men: Three-year longitudinal follow-up in the normative aging study. *Am J Epidemiol* 1997;146(7):586-91.
- Landrigan PJ, Todd AC. Direct measurement of lead in bone a promising biomarker. *JAMA* 1994;27(3):239-40.
- Latorre FG, Hernandez-Avila M, Orozco JT, Albores MCA, Aro A, Palazuelos E, Hu H. Relationship of blood and bone lead to menopause and bone mineral density among middle-age women in Mexico city. *Environ Health Persp* 2003;111(4): 631-36.
- Lee BK. The role of biological monitoring in the health management of lead-exposed workers. *Toxicol Lett* 1999;108:149-60.
- Muntner P, Menke A, Batuman V, Rabito FA, He J, Todd AC. Association of tibia lead and blood lead with end-stage renal disease: A pilot study of African-Americans. *Environ Res* 2007;104:396-401.
- Park SK, Schwartz J, Weisskopf M, Sparrow D, Vokonas PS, Wright RO, Coull B, Nie H, Hu H. Low-level lead exposure, metabolic syndrome, and heart rate variability: The va normative aging study. *Environ Health Persp* 2006;114(11): 1718-24.
- Payton M, Riggs KM, Spiro IA, Weiss ST, Hu H. Relations of bone and blood lead to cognitive function: The va normative aging study. *Neurotoxicol and Teratol* 1998;20(1):19-27.
- Popovic M, McNeill FE, Chettle DR, Webber CE, Lee CV, Kaye WE. Impact of occupational exposure on lead levels in women. *Environ Health Persp* 2005;113(4):478-84.
- Schafer JH, Glass TA, Bressler J, Todd AC, Schwartz BS. Blood lead is a predictor of homocysteine levels in a population-based study of older adults. *Environ Health Persp* 2005;113(1):31-5.
- Schwartz BS, Lee BK, Lee GS, Steward WF, Simon D, Kelsey K, Todd AC. Associations of blood lead, dimercaptosuccinic acid-chelatable lead, and tibia lead with polymorphisms in the vitamin D receptor and  $\delta$ -aminolevulinic acid dehydratase genes. *Environ Health Persp*, 2000;108(10):949-954.
- Stoker L, Letz R, Cerr F, Kolczak M, McNeill FE, Chettle DR, Kaye WE. Neurotoxicity in young adults 20 years after childhood exposure to lead: the bunker hill experience. *Occup Environ Med* 1998;55:507-16.
- Todd AC, Chettle DR. In vivo X-ray fluorescence of lead in bone; Review and current issues. *Environ Health Persp*, 1994;102(2):172-77.
- Todd AC, Lee BK, Lee GS, Ahn KD, Moshier EL, Schwartz BS. Predictors of DMSA chelatable lead, tibial lead, and blood lead in 802 Korean lead workers. *Occup Environ Med* 2001;58:73-80.
- Tsaih SW, Korrick S, Schwartz J, Lee MLT, Amarasiriwardena C, Aro A, Sparrow D, Hu H. Influence of bone resorption on the mobilization of lead from bone among middle-aged and elderly men: The normative aging study. *Environ Health Persp* 2001;109(10):995-9.
- Wedeen RD. In vivo tibial XRF measurement of bone lead. *Arch Environ Health* 1990;45(2):69-71.
- Wedeen RD. Clinical application of in vivo tibial K-XRF for monitoring lead stores. *Arch Environ Health* 1995;50(5):355-61.
- WHO. Environmental Health Criteria; 3. Lead, Geneva: WHO, 1977.
- Zenz C. Occupational medicine, Chicago: Year Book Medical Publishers Inc.; 1994. 506-41.