

연구노트

충청북도 일부 폐광산 지역 주민의 만성 납 노출 정도 평가

송선호 · 엄상용 · 김용대 · 김 현 · 홍장수^{1)*}

충북대학교 의과대학 예방의학교실, ¹⁾충북대학교 의과대학 흉부외과학교실 및 의학연구소
(2010년 1월 15일 접수; 2010년 2월 16일 수정; 2010년 2월 23일 채택)

Blood Lead Level in Populations Resident in Some Abandoned Mine Area

Sun-Ho Song, Sang-Yong Eom, Yong-Dae Kim, Heon Kim, Jang-Soo Hong^{1)*}

Department of Preventive Medicine, College of Medicine and Medical Research Institute, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

¹⁾*Department of Thoracic Surgery, College of Medicine and Medical Research Institute, Chungbuk National University, Chungbuk, 361-763, Korea*

(Manuscript received 15 January, 2010; revised 16 February, 2010; accepted 23 February, 2010)

Abstract

Exposure to lead, particularly at chronic low-dose levels, is still a major public health concern. The present study is aimed to evaluate the blood lead levels in populations resident in some abandoned mine areas of Chungbuk, Korea. Eight hundreds and sixty-six subjects who reside in abandoned mine area located in Chungbuk, Korea, were enrolled this study. We evaluated the blood lead level according to the age, gender, and working history in mines. For statistical analysis, SPSS ver 12.0 was used. The geometric mean blood lead levels was $2.93 \mu\text{g/dl}$ and nobody showed levels over the guidelines of WHO. Ex-smokers and current-smokers showed significantly higher blood lead levels compared to that of non-smokers. The blood lead levels in individuals with a history of working in a mine was higher than those in individuals without such histories. The populations resident in some Chungbuk abandoned mine area showed low levels of lead in blood. This suggest that lead poisoning might not be induced by abandoned mine in Chungbuk, Korea.

Key Words : Blood lead level, Abandoned mine area, Chungbuk

1. 서론

납은 인류가 가장 오래 사용했던 금속 중의 하나로 청색 또는 은회색을 띠는 연한 금속이다(Nemery, 1990). 지금까지 알려진 납의 환경오염을 통한 노출은 제련소 근처의 공기, 토양, 수질의 오염으로 인해 발

생했으며, 자동차 배출가스로부터 호흡을 통해 직접 노출되기도 한다(Delfino 등, 2005; Piotrowski와 Coleman, 1980). 또한, 방치된 폐금속광산 폐기물은 토양을 산성화시킬 뿐만 아니라 납을 포함한 각종 유해중금속의 이온화를 촉진시킴으로써 이들 중금속 원소들이 물에 보다 잘 녹게 도와주고 주변 토양 및 하상 퇴적물에 가용성 염으로 농축되기 쉽게 만들어 준다. 이러한 퇴적물은 주변하천의 하류에 있는 농경지로 유입하게 되고 농작물을 섭취하는 인간이나 동물들에게 만성적인 장해를 일으키기도 하는 것으로 알려져

*Corresponding Author : Jang-Soo Hong, Department of Thoracic Surgery, College of Medicine and Medical Research Institute, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea
Phone: +82-43-269-6365
E-mail: jshong@chungbuk.ac.kr

있다(Hwang, 2007).

다양한 환경 매체와의 접촉을 통해 인체 내로 흡수된 납은 주로 소변과 대변으로 배설되지만, 고농도로 노출되어 다량의 납이 체내에 흡수되면 인체의 여러 장기조직에 장해를 초래하게 된다(Barbier, 2005). 납은 위장관, 호흡기 및 피부 등을 통하여 흡수되어 초기에는 간, 콩팥 및 연조직에 분포하나 장기간 노출되는 경우는 뼈 등에 침착과 축적이 일어난다(Pappas, 1995; Settle과 Patterson, 1980). 납이 신경계에 도달하면 자극 전달속도를 감소시키고, 심한 경우 신경세포의 사멸을 초래하며, 성인에 비해 소아의 중추신경계 발달에 더욱 심각한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Gulson, 1996).

혈중 납 수준으로 본 건강영향에 관한 기준은 미국의 질병관리본부에서 미국 어린이들의 납중독예방을 위한 기준의 최저수준으로 혈중 납 $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ 를 정하여 이 수준이하인 경우 정상으로 간주하고 아무런 조치가 필요하지 않으며, 이 기준을 넘을 경우 농도에 따라 적절한 조치를 취하도록 권장하고 있다. 성인에 관한 기준은 주로 직업적 납 노출이 있는 납 근로자들을 위한 기준이 설정되어 있다. 미국 노동청 산업안전보건국(OSHA)에서 작업자의 의학적 조치는 혈중 납이 $50 \mu\text{g}/\text{dl}$ 를 초과하는 경우 또는 이보다 낮은 수준에서도 의사의 판단에 의해서 이루어지며, 미국산업위생사협회(ACGIH)에서는 혈중 납의 생물학적 노출지표(BEI)로 작업자에 대하여 $30 \mu\text{g}/\text{dl}$ 이하의 권고기준을 마련하여 관리하고 있다. 우리나라에서도 작업장 근로자의 직업병 판단기준으로 혈중 납 $60 \mu\text{g}/\text{dl}$ 을 설정하고 있으며, 각 사업장의 보건관리는 혈중 납 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 이하를 유지하도록 권고하고 있는 실정이다.

본 연구는 충청지역에 산재되어 있는 폐금속광산 지역에 거주하는 주민들을 대상으로 체내 납 농도를 측정함으로써 만성적인 납 노출 정도를 평가하기 위해 시행되었다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구 대상

본 연구는 충청북도에 소재하고 있는 20곳 폐금속광산의 지역 주민 866명(남자:364명, 여자:502명)을

대상으로 실시하였다. 대상자로부터 설문조사를 통하여 기본 자료를 수집하고 혈액을 채취하여 혈중 납 농도를 평가하였다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. 면접 조사

모든 연구 대상자에게 본 연구의 취지를 충분히 설명하고, 본 연구에 참여하겠다고 동의서를 작성한 사람을 대상으로 숙련된 면접조사가원이 직접 면접조사를 실시하였다. 설문지에는 연령, 성별, 거주기간, 직업력 등의 인구학적 특징과 흡연에 관한 사항을 포함하였다.

2.2.2. 혈중 납 정량

혈중 납의 정량은 Fernandez의 방법(1975)을 약간 수정하여 분석하였다. 즉, 전혈 $100 \mu\text{l}$ 를 1% 질산 $100 \mu\text{l}$ 와 $800 \mu\text{l}$ 의 희석액 (1.25% $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ & 1% Triton X-100)으로 충분히 혼합하여 완전히 용혈시킨 후 사용하였다. 이때 시료에 함유된 납의 정량은 auto sampler (Varian SpectraAA-300)와 graphite furnace (GTA 96)가 부착된 원자흡광분광광도계(Atomic absorption spectrophotometer, Varian SpectraAA-300)를 이용하여 flameless 방법으로 정량하였다.

2.2.3. 통계 분석

시행한 연구 결과를 SPSS 12.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다.

3. 결과

폐광산지역 대상자들의 연령 평균은 64.03세이었고, 성별 분포는 남자가 42.0%, 여자가 58.0%이었다. 조사 대상자들의 흡연력은 흡연 21.5%, 현재 비흡연이 78.5%로 나타났다. 한편, 거주기간의 분포는 10년 이상 거주자가 92%였고, 평균 거주기간은 44.9년이었다(Table 1). 조사 대상자들의 혈중 납 농도는 기하 평균으로 $2.93 \mu\text{g}/\text{l}$ 였고 가장 농도가 높은 사람의 경우가 $13.82 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 생물학적 작용수준(WHO 기준)인 남자 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$, 여자 $30 \mu\text{g}/\text{dl}$ 를 넘는 대상자는 한명도 관찰되지 않았다(Table 2). 조사 대상자들 중 남자의 평균 혈중 납농도는 $3.32 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 여자의 $2.55 \mu\text{g}/\text{l}$ 에 비해서 통계적으로 유의하게 높은 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 한편, 연령에 따른 혈중 납농도의 비교평가를 위해서 전체 대상자를 평균연령인 64세를 기준으

Table 1. General characteristics of the study population

Characteristics	Subjects (N=866)	
Age	Mean±SD	64.03±14.26
Sex	Male	364 (42.0)
	Female	502 (58.0)
Smoking	Non-smoking	524 (60.6)
	Current smoking	186 (21.5)
	Ex-smoking	155 (17.9)
Residential duration	Mean±SD	44.86±22.56
	~9	69 (8.0)
	10~19	78 (9.0)
	20~29	71 (8.2)
	30~39	81 (9.4)
	40~49	137 (15.8)
	50~59	167 (19.3)
60~	263 (30.4)	

Table 2. Blood lead level in total subjects ($\mu\text{g}/\text{dL}$)

Mean	Subjects (N=866)
GM (GSD)*	2.93 (1.53)
AM±ASD**	3.10±1.33
Range, Min~Max	0.44~13.82

*GM (GSD); geometric mean (geometric standard deviation)

**AM (ASD); arithmetic mean (arithmetic standard deviation)

Table 3. Blood lead level according to the gender and age ($\mu\text{g}/\text{dL}$)

Characteristics	Subjects (N=866)	
Sex	N	364
	GM (GSD)	3.32 (1.48)*
	AM±ASD	3.58±1.41*
	Range, Min~Max	0.92~13.82
Male	N	502
	GM (GSD)	2.55 (1.51)
	AM±ASD	2.76±1.15
	Range, Min~Max	0.44~11.81
Female	N	368
	GM (GSD)	2.89 (1.55)
	AM±ASD	3.15±1.43
	Range, Min~Max	0.44~13.82
< 64	N	498
	GM (GSD)	2.32 (1.51)
	AM±ASD	3.07±1.24
	Range, Min~Max	0.52~11.08
≥ 64	N	368
	GM (GSD)	2.89 (1.55)
	AM±ASD	3.15±1.43
	Range, Min~Max	0.44~13.82

*p-value < 0.05 by Student's t-test

로 나누어 평균 납농도를 비교한 결과 두 군 간에 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 3). 대상자들의 폐광지역에서의 거주기간을 10년 단위로 나누어 평균 납농도를 비교한 결과, 거주기간이 50년 이상인 대상자들의 평균 납농도가 다소 높은 경향은 있었으나 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 4). 흡연습관에 따른 혈중 납농도를 비교한 결과, 비흡연자의 평균 혈중 납농도는 $2.57 \mu\text{g}/\ell$ 를 보인 반면, 과거흡연자와 현재흡연자는 각각 $3.30 \mu\text{g}/\ell$ 와 $3.38 \mu\text{g}/\ell$ 를 나타내 비흡연자의 혈중 납농도에 비해서 통계적으로 유의하게 높은 것으로 조사되었다($p < 0.05$) (Table 5). 조사 대상자들의 광산근무력 여부에 따라 혈중 납농도를 비교한 결과 광산근무력이 있는 사람의 평균 혈중 납농도는 $3.22 \mu\text{g}/\ell$ 로서 광산근무력이 없는 사람의 평균 농도 $2.80 \mu\text{g}/\ell$ 보다 유의하게 높은

Table 4. Blood lead level according to the residential duration at abandoned mine area ($\mu\text{g}/\text{dL}$)

Residential duration (yr)	Subjects (N=866)	
~9	N	69
	GM (GSD)	2.75 (1.63)
	AM±ASD	3.05±1.39
	Range, Min~Max	0.69~8.91
10~19	N	78
	GM (GSD)	2.66 (1.62)
	AM±ASD	2.95±1.23
	Range, Min~Max	0.44~6.95
20~29	N	71
	GM (GSD)	2.75 (1.49)
	AM±ASD	2.91±1.13
	Range, Min~Max	0.95~7.87
30~39	N	81
	GM (GSD)	2.83 (1.49)
	AM±ASD	3.06±1.42
	Range, Min~Max	1.07~11.81
40~49	N	137
	GM (GSD)	2.75 (1.49)
	AM±ASD	2.95±1.08
	Range, Min~Max	0.81~5.78
50~59	N	167
	GM (GSD)	2.89 (1.52)
	AM±ASD	3.14±1.27
	Range, Min~Max	0.52~8.02
≥60	N	263
	GM (GSD)	3.00 (1.52)
	AM±ASD	3.29±1.49
	Range, Min~Max	0.80~13.82

Table 5. Blood lead level according to the smoking history ($\mu\text{l/dl}$)

Smoking		Subjects (N=866)
Non-smoker	N	524
	GM (GSD)	2.57 (1.52)
	AM \pm ASD	2.79 \pm 1.15
	Range, Min~Max	0.44~11.81
Current smoker	N	186
	GM (GSD)	3.38 (1.47)*
	AM \pm ASD	3.63 \pm 1.51
	Range, Min~Max	0.98~13.82
Ex-smoker	N	156
	GM (GSD)	3.30 (1.46)*
	AM \pm ASD	3.53 \pm 1.35
	Range, Min~Max	1.17~8.91

*p-value < 0.05 by Student's t-test

Table 6. Blood lead level according to the working history at mine ($\mu\text{l/dl}$)

Working history at mine		Subjects (N=865)
Yes	N	740
	GM (GSD)	2.80 (1.52)
	AM \pm ASD	3.04 \pm 1.32
	Range, Min~Max	0.44~13.82
No	N	125
	GM (GSD)	3.22 (1.51)*
	AM \pm ASD	3.48 \pm 1.33*
	Range, Min~Max	1.05~8.02

*p-value < 0.05 by Student's t-test

것으로 나타나 해당 광산에 근무하는 동안 직업적인 납노출이 있었음을 알 수 있었다(p<0.05)(Table 6).

4. 고 찰

본 연구의 결과, 충북지역 20곳의 폐광산 지역 주민의 평균 혈중 납농도는 기하치 2.93 $\mu\text{g/dl}$ 을 나타내었고 최고농도를 보인 사람의 경우가 13.82 $\mu\text{g/dl}$ 로서 세계보건기구(WHO) 기준치인 남자 40 $\mu\text{g/dl}$, 여자 30 $\mu\text{g/dl}$ 을 초과하는 사람은 한명도 없었다. 또한, 1995년 Moon 등(Moon 등, 1995)이 보고한 우리나라 일반인의 혈중 평균 납농도 4.43 $\mu\text{g/dl}$ 에 비해서도 매우 낮은 수준이었다. 이는 충북지역의 폐광지역이 이미 오래 전에 폐광이 된 곳들이고 광구 폐쇄, 광미 처리 등의 조치가 비교적 효과적으로 이루어져서 이곳

에 거주하는 주민들이 적어도 납에 의한 심각한 건강 영향은 받지 않고 있음을 시사해준다.

성별에 따른 혈중 납의 농도를 비교한 결과에서 남자의 납농도는 여자의 농도에 비하여 유의하게 높은 것으로 나타났다. 김 등(2002)은 2002년 대구지역 주민의 모발 중 납농도를 성별로 비교한 연구에서 남성은 2.49 $\mu\text{g/g}$, 여성은 1.46 $\mu\text{g/g}$ 의 결과를 나타내 남성이 유의하게 모발중 납농도가 높다고 보고하였다. 고 등(2002)이 충남의 농촌지역 주민들을 대상으로 시행한 연구에서도 남성은 3.51 $\mu\text{g/g}$, 여성은 3.34 $\mu\text{g/g}$ 로 나타나 본 연구결과와 같은 경향을 보여주었다. 그러나 여성의 경우에 납 농도가 더 높다는 연구결과들도 있어서 성별에 따른 혈중 납농도의 차이가 대사적인 차이에 기인된 것인지 아니면 실제로 노출에 차이가 있는지 아직 확실치 않다.

연령에 따른 납농도의 평균값은 예상과는 달리 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 고연령군은 상대적으로 그 지역에서의 거주기간이 길 것이므로 보다 장기간 납에 노출되었을 가능성이 높고 따라서 혈중 납농도도 유의하게 높게 나올 것으로 예상했으나 분석결과에서는 두 군간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 거주기간 별로 혈중 납농도를 비교 분석한 결과에서도 50년 이상 거주한 사람들의 평균 납농도가 그 이하의 거주기간을 갖는 사람에 비해 다소 높은 경향을 보이는 하지만 양반응의 관제나 통계적인 유의성은 전혀 관찰되지 않았다. 이러한 결과로만 보면 이들 지역의 주민들에게 폐광산으로 인한 납 노출은 매우 미비한 정도로 판단할 수 있다.

흡연과 혈중 납농도와의 관련성은 다른 몇몇 연구에서도 확인이 되었으나 어떤 기전에 의해 흡연자의 혈중 납농도가 비흡연자에 비해 높은가에 대한 확실한 가설은 제시되지 못하고 있다. 다만, 납을 취급하는 근로자들은 납에 오염된 손을 통해 담배도 오염될 수 있으므로 이것이 흡연 시에 입을 통해서 경구적으로 노출될 수 있다고 보고된 바 있다(Gorell 등, 1999). 본 연구에서 흡연자나 과거흡연자가 비흡연자에 비해 통계적으로 유의하게 혈중 납농도가 높게 나타났는데 이는 과거에 광산 근무 당시에 유사한 이유에 의한 노출이거나, 아니면 흡연자의 비율이 여자보다는 남자가 상대적으로 많기 때문에 성별에 의한 영향 때문일

가능성도 배제할 수 없다.

본 연구의 대상지역이 비록 현재는 우려할만한 납 오염이 없는 것으로 판단되나 광산이 운용될 당시에는 어느 정도의 납이 주위환경을 오염시켰을 가능성이 있다. 본 연구결과에서 광산 직업력이 있는 사람들의 경우가 없는 사람들에 비해 통계적으로 유의하게 높은 납농도를 나타내주었기 때문이다. 광산에 근무했던 시기가 비교적 오래 전의 일임을 감안한다면 당시에는 비교적 높은 농도의 납에 노출되었을 가능성도 있다. 우리나라의 폐금속광산 주변의 납노출을 평가한 연구는 그리 많지 않으나 Chung 등(2005)이 경상북도 일부 폐광산 지역 주민의 혈중 납농도를 측정하여 보고한 바에 따르면, 평균 혈중 납 농도가 5.37 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로 본 충북 폐광산 지역 주민의 평균 납 농도보다 상대적으로 높았으나 두 지역 모두 납노출의 세계보건기구 기준치보다는 현저히 낮은 농도이고 분석 기관간의 차이를 감안한다면, 두 지역의 농도 차이가 어떤 의미를 갖는다고 보기는 어렵다.

본 연구의 제한점으로는 납의 다양한 노출인자에 대한 평가가 부족했다는 점이다. 최근에 한약재 섭취를 통한 납 중독 사례가 빈번해지는 것을 고려할 때 대상자들에게 최근의 한약재 섭취 여부를 조사하여 분석에 반영하는 것이 보다 정확한 연구결과를 얻을 수 있었을 것으로 생각된다. 또한 납은 경구 섭취 이외에도 대기 중의 납이 호흡기를 통해서도 노출될 수 있으므로 대기 중의 납농도를 측정해야만 폐광으로 인한 납의 노출을 보다 정확히 평가할 수 있는데 기중 납농도 측정이 이루어지지 않았다. 향후, 이러한 제한점들을 보완한 추가 연구가 요구된다.

5. 결론

본 연구는 충북지역에 산재되어 있는 일부 폐금속 광산 지역의 주민들을 대상으로 체내 납 농도를 측정함으로써 만성적인 납 노출 정도를 평가하기 위해 시행되었다. 연구결과, 충북지역의 일부 폐광산 지역 주민의 평균 혈중 납농도는 기하치 2.93 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 을 나타내었고 최고농도를 보인 사람의 경우가 13.82 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 세계보건기구(WHO) 기준치인 남자 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 여자 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 을 초과하는 사람은 한명도 없는 것으로 나타

나 적어도 현재 시점에서는 충북지역의 폐금속 광산으로 인한 우려할만한 납중독은 없는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다. (This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2008)

참고 문헌

- 고상백, 김춘배, 남정모, 최홍열, 차봉석, 박종구, 지호성, 2002, 혈중 납과 혈압의 연관성에 관한 메타분석, 산업보건, 170, 60-61.
- 김현정, 양소영, 이인화, 2002, 성별과 염색에 따른 모발 중 중금속 함량 연구, 한국위생과학회지, 8, 67-74.
- Barbier, O., Jacquillet, G., Tauc, M., Cougnon, M., Poujeol, P., 2005, Effect of heavy metals on, and handling by, the kidney, *Nephron. Physiol.*, 99, 105-110.
- Chung, J. H., Kang, P. S., Kim, C. Y., Lee, K. S., Hwang, T. Y., Kim, G. T., Park, J. S., Park, S. Y., Kim, D. S., Lim, O. T., Sakong, J., 2005, Blood Pb, Urine Cd and Health Assessment of Residents in the Vicinity of Abandoned Mines in Gyeongsangbuk-do, *Korean J. Occup. Environ. Med.*, 17, 225-237.
- Delfino, R. J., Sioutas, C., Malik, S., 2005, Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health, *Environ., Health Perspect.*, 113, 934-946.
- Fernandez, F. J., 1975, Micromethod for lead determination in whole blood by atomic absorption, with use of the graphite furnace, *Clin. Chem.*, 21, 558-561.
- Gorell, J. M., Johnson, C. C., Rybicki, B. A., Peterson, E. L., Kortsha, G. X., Brown, G. G., Richardson, R. J., 1999, Occupational exposure to manganese, copper, lead, iron, mercury and zinc and the risk of Parkinson's disease, *Neurotoxicology*, 20, 239-247.
- Gulson, B. L., 1996, Tooth analyses of sources and intensity of lead exposure in children, *Environ. health Perspect.*, 104, 306-312.
- Hwang, L., 2007, Environmental stressors and violence: lead and polychlorinated biphenyls, *Rev. Environ.*

- Health, 22, 313-328.
- Moon, C. S., Zhang, Z. W., Shimbo, S., Watanabe, T., Moon, D. H., Lee, C. U., Lee, B. K., Ahn, K. D., Lee, S. H., Ikeda, M., 1995, Dietary intake of cadmium and lead among the general population in Korea, Environ. Res., 71, 46-54.
- Nemery, B., 1990, Metal toxicity and the respiratory tract, Eur. Respir. J., 3, 202-219.
- Pappas, J. B., Ahiquist, J. T., Allen, E. M., Baker, W. Jr., 1995, Oral dimercaptosuccinic acid and ongoing exposure to lead : effects of heme synthesis and lead distribution in a rat model, Toxicol. Appl. Pharmacol., 133, 121-129.
- Piotrowski, J. K., Coleman, D. O., 1980, Environmental Hazards of Heavy Metal : Summary Evaluation of Pb, Cd, and Hg, MARC Rep., no. 20.
- Settle, D. M., Patterson, C. C., 1980, Lead in albocoreguide to lead pollution, Am. Sci., 207, 1167.