

## 부검체에서 머리카락과 각 장기들의 연, 카드뮴, 수은농도 -머리카락중의 농도와 다른 장기내의 농도의 관련성-

영남대학교 의과대학 예방의학교실, 경북대학교 의과대학 예방의학교실\*  
법의학교실\*\*, 임상병리학교실\*\*

정종학 · 김창윤 · 사공준 · 이증정 · 전만중 · 이성국\* ·곽정식\*\* · 박성화\*\*\*

— Abstract —

### Concentration of Lead, Cadmium, and Mercury in Scalp Hair, Cerebellum, Cerebrum, Heart, Kidney, Liver, Lung and Spleen from Autopsy Subjects -Relationship between Scalp Hair and Internal Organs-

Jong Hak Chung, Chang Yoon Kim, Joon Sakong, Joong Jung Lee,  
Man Joong Jeon, Seong Kuk Lee\*, Jeung Sik Kwak\*\*, Sung Hwa Park\*\*

*Department of Preventive Medicine and Public health  
College of Medicine Yeungnam University  
Department of Preventive Medicine and Public health\*, Department  
of Forensic Medicine\*\*, Department of Clinical Pathology\*\*\*,  
School of Medicine Kyungpook National University*

This study was conducted to measure the lead, cadmium and mercury levels in the scalp hair, cerebellum, cerebrum, heart, kidney, liver, lung, and spleen of the 60 Korean autopsy subjects and assess the relationship among those samples.

The mean lead level in the scalp hair was  $12.29 \pm 12.51 \mu\text{g/g}$  and no significant difference was detected in lead concentrations between the two sexes.

Among the internal organ tissues the cerebrum contained the highest level of lead. This is followed by the cerebellum, spleen and liver respectively.

After which the kidney and lung showed a close similarity at relatively low concentrations and the heart contained the lowest concentration.

There was also no significant variation found between sexes in a comparison of lead in the internal organ tissues.

The concentrations of cadmium in kidney were  $127.33 \pm 89.36 \mu\text{g/g}$  and considerably higher than those in the other internal organs. The liver contained the next highest level of

\* 이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단 학술연구조성비(기초의학) 지원에 의하여 이루어졌음.

cadmium. In both sexes, the consistent difference was noted in the cadmium concentrations of the kidney, heart and spleen. Yet female cadmium level was higher than the male's.

The concentrations of mercury in the kidney and liver were  $1.26 \pm 2.89 \mu\text{g/g}$ ,  $0.59 \pm 0.54 \mu\text{g/g}$  and considerably higher than those in the other internal organs.

The mean mercury level in the scalp hair was  $1.29 \pm 0.64 \mu\text{g/g}$  and no marked difference was noted in both sexes.

The lead concentration in the spleen increased with advancing age, though not statistically significant, and most of the internal organ tissues that were examined showed no evidence of increased lead concentration with age.

The kidney, cerebrum, spleen and cerebellum showed increased cadmium concentrations with age.

Also as well as the internal organ tissues that were examined showed no evidence of increased mercury concentration with age.

The lead concentrations in the liver and lung were higher in the urban area than in the rural area, but the lead concentration in the kidney was higher in the rural area. No difference was noted in tissue cadmium and mercury concentrations as to the area of residence either.

The physical workers had greater concentrations of lead in cerebellum than did housewives or the unemployed. Yet no difference was noted in the other tissues between the two groups.

In the cerebellum, cerebrum, heart, and spleen, the physical workers had greater concentrations of cadmium than students or mental workers. Also physical workers had greater concentrations of cadmium in lung than housewives or the unemployed.

In contrast to lead and cadmium, both the housewives and the unemployed had higher concentrations of mercury in cerebellum and cerebrum than physical workers, but there was no difference was noted in the other tissues between the two groups.

In the lead concentration, there was no statistically significant correlation between the scalp hair and examined internal organ tissues.

There was a close relationship between lead levels in cerebellum and cerebrum ( $r=0.465$ ,  $p<0.01$ ), as well as a relationship between the cerebellum and the kidney ( $r=0.300$ ,  $p<0.05$ ).

There was no statistically significant correlation between the cadmium levels in the scalp hair and in the examined internal organ tissues.

Positive correlations were found between the cadmium concentrations in the cerebellum and the cerebrum ( $r=0.5543$ ,  $p<0.01$ ), heart ( $r=0.480$ ,  $p<0.01$ ), kidney ( $r=0.376$ ,  $p<0.01$ ) and spleen ( $r=0.408$ ,  $p<0.01$ ). Also positive correlation was found between in the cerebrum and the heart ( $r=0.377$ ,  $p<0.01$ ), kidney ( $r=0.484$ ,  $p<0.01$ ), liver ( $r=0.265$ ,  $p<0.05$ ), lung ( $r=0.458$ ,  $p<0.01$ ) and spleen ( $r=0.483$ ,  $p<0.01$ ),

There was also no statistically significant correlation between the mercury levels in the scalp hair and in the examined internal organ tissues.

Positive correlation was found between the mercury concentrations in the cerebellum and cerebrum ( $r=0.760$ ,  $p<0.01$ ), heart ( $r=0.270$ ,  $p<0.05$ ), liver ( $r=0.425$ ,  $p<0.01$ ), lung ( $r=0.488$ ,  $p<0.01$ ) and spleen ( $r=0.534$ ,  $p<0.01$ ). and also positive correlation was found between in the cerebrum and heart ( $r=0.376$ ,  $p<0.01$ ), liver ( $r=0.350$ ,  $p<0.01$ ), lung ( $r=0.554$ ,  $p<0.01$ ) and spleen ( $r=0.489$ ,  $p<0.01$ ),

Various epidemiological studies reported usefulness and reliability of using scalp hair as a monitor of an environmental pollutant.

In this study, there was statistically significant correlation of lead, cadmium and mercury levels in most of the tissues that were examined, but there was no statistically sig-

nificant correlation between the lead, cadmium and mercury levels in the scalp hair and most of examined internal organ tissues.

The findings of this study would suggest that it is still uncertain to using scalp hair as a biological monitoring.

**Key Words** : Lead, Cadmium, Mercury, Scalp hair, Internal organs, Correlation

## 서 론

대기, 수질, 토양 등에 축적되어 인간에게 중독을 일으킬 수 있는 대표적 중금속으로 연, 카드뮴, 수은등을 들 수 있다.

연은 인간이 매일 섭취하는 음식물, 음료수뿐만 아니라 자연상태의 토양, 물, 대기 중에도 미량 존재하며, 우리생활 주변에서도 널리 존재하는 금속이다. 연 중독에 관한 연구는 과거 연을 주로 취급하는 근로자의 건강장해에 대한 측면에서 주로 연구되어 왔으나 최근 연이 함유된 각종 제품을 생산하는 산업시설의 증가와 1923년부터 알킬연이 항노킹제로서 가솔린에 첨가된 이래 생물권에 약 400만톤 이상의 연이 방출되어 인류가 모두 오염된 연에 폭로되게 되었다(Waller 등, 1965; Casarette와 Doull 1975; Eylesbosch 등, 1984).

카드뮴은 비필수 미량금속으로 점진적으로 체내에 축적되며 급성폭로는 작업장에서 흡입에 의하여 발생되며 처음에는 폐에 영향을 미친다. 만성폭로는 신장기능을 저하시키며 폐기종, 골연화증 등을 유발한다(Piscstor, 1972; Nokawa 등, 1987).

한편 수은의 만성적인 폭로는 구내염, 설사, 신경염, 파킨슨양진증, 빈혈, 피부염, 치육의 색소침착 등을 유발시키는 것으로 알려져 있으며(Gronka 등, 1970), 수은 및 카드뮴오염으로 인한 대표적인 중금속 오염 사고사례가 일본에서의 미나마타병과 이타이이타이병이다(Nogawa 1987; Ratcliffe 등, 1996).

이러한 급성 혹은 만성폭로시 사람에게 심각한 위해를 줄 수 있는 중금속에 의한 오염의 정도를 측정하기 위해 공기, 물, 토양에서의 직접적인 측정은 물론 생체에 미치는 영향을 조사하기 위해 식물, 조류, 작은 포유동물 등을 대상으로 다양한 연구(Tansy와 Roth, 1970; Ohi 등, 1974; Ohi 등, 1982; Ma, 1989; Lee등, 1989; Adaudi 등, 1990; 변영우

등, 1996)가 계속되어 오고 있다. 또한 사람을 대상으로 생물학적 폭로지표의 수단으로 혈액과 뇨 속의 중금속과 대사물 측정을 흔히 사용하고 있으며, 최근에는 미량의 중금속을 분석할 수 있는 분석기술의 발전으로 시료채집이 용이하며, 장기간의 축적상태를 예측할 수 있는 두발 같은 신체 부속기들의 생물학적 모니터링 수단으로 활용가능성에 대한 연구(Bate와 Dyer, 1965; Hopps 1977; Chattopadhyay 등, 1977)가 진행되어 왔다.

두발내의 미량성분 분석에 대한 연구는 1967년 이래로 법의학적인 개인 식별의 수단으로 사용되어 왔으며, 차츰 환경오염에 대한 모니터링 수단으로 사용가능성에 대해 관심을 모으게 되었다.

두발내 중금속 측정은 분석하기가 다소 불편하고, 때때로 신뢰성이 떨어진다는 단점이 있지만 채집시 대상자에게 통증을 주지 않고, 채집, 저장이 용이하다는 장점도 가지고 있어(Hopps, 1977), 혈액보다는 보편적으로 사용되고 있지는 않지만 일부 중금속 폭로의 지표로 사용이 되고 있다. 특히 연, 카드뮴, 수은 같은 체내에 축적되는 중금속의 경우 혈액은 단일 고농도 폭로나 불규칙한 용량에 노출시는 총체내 흡수량을 반영하지 못하지만 두발은 수직으로 분석해 볼 때 폭로의 경력을 알 수 있다는 점과 다른 조직에 비해 고농도로 중금속이 농축 되어있어 체내 중금속 농도 추정의 확대된 결과를 보여준다는 장점을 가지고 있다는 주장(Chattopadhyay 등, 1977)도 있다.

하지만 두발 중 중금속 농도가 체내의 중금속 농도를 정확히 반영하는가에 대해서는 아직 정확하게 밝혀져 있지 않다. Chattopadhyay 등(1977), Foo 등(1993), Hopps(1977)와 Bate와 Dyer(1965)는 두발이 체내흡수량을 반영해서 중금속 농도를 측정하는데 적합한 시료라는 주장한 반면 Hammer 등(1971), Ellis 등(1981)과 Bos(1984)는 인체내의 중금속농도를 추정하는 시료로서 두발을 이용하는

것이 체내 연농도를 정확하게 반영하지 못한다고 주장하였다.

지금까지 한국인을 대상으로 머리카락에 관한 중금속 농도 측정보고는 있었지만(장성길 등, 1982 ; 김재욱 등, 1995) 두발내 연, 카드뮴과 수은농도와 각 주요 장기와의 상관관계를 조사하여 두발의 체내 중금속 농도를 추정하는 적합한 시료로서의 타당성을 연구한 예는 없었다.

따라서 이번 연구는 한국인 부검체를 대상으로 하여 소뇌, 대뇌, 심장, 신장, 간장, 폐, 비장 및 두발의 연, 카드뮴 및 수은농도를 측정하여 성별, 연령별, 직업별로 비교하고, 두발과 장기, 각 장기간의 중금속농도의 상호관련성을 조사하였다.

### 연구대상 및 방법

인체 각 장기내의 연, 카드뮴, 수은의 평균농도와 각 장기간 중금속 농도의 상호관련성을 조사하기 위해 1996년 9월 1일부터 1997년 2월 28일까지 대구광역시 소재 의과대학 법의학교실에서 부검한 사체 60구를 대상으로 시료를 채집하였다.

부검체에서 소뇌, 대뇌, 심장, 신장, 간장, 폐, 비장을 적출하여 증류수로 씻고 혈액 및 수분을 여과지로서 흡수시켜 분석할 때까지 -20℃의 Deep Freezer에 보관하였다.

분석시 각 장기를 건조전 0.5mg을 평량하여 건조기에서 60℃로 48시간 건조한 후 질산원액 10ml에 용해 시킨 후 Microwave Digestion System

(MDS 2,000 CEM)으로 회화시킨 후 가검물로 사용하였다.

두발은 스테인레스 가위로 0.5 cm 길이로 자른 후 증류수로 1회 10분간 3회, 0.1 M 2Na-EDTA 용액으로 1회 10 분간 3회세척 후, 아세톤으로 혼탁이 사라질 때까지 세척하였으며 다시 증류수로 혼탁이 사라질 때까지 헹구었다. 세척된 두발을 60 ℃로 3일간 건조시킨 후 0.10 mg을 정량하여 질산원액 10 ml에 용해시킨 후 Microwave Digestion System(MDS 2,000 CEM)으로 회화시킨 후 가검물로 사용하였다(Clarke 등, 1974).

연과 카드뮴의 정량은 원자 흡광 분광 광도계(atomic absorption spectrophotometer, Shimadzu, AA-680G)를 본체로 한 원자화 무염광로(flameless furnace atomizer, Shimadzu, GFA-4B)를 이용하였으며, 분석조건은 Table 1과 같이 하였다. 한 검체를 2번 이상 반복측정하고 그 측정치의 변이계수는 5% 이내에 들도록 하였다.

수은의 정량은 원자흡수분광광도계를 본체로 한 Hydride Vapor Generator를 이용하였으며, 반응용액은 0.4% NaBh<sub>4</sub>와 5M HCl을 사용하였다. Carrier gas는 Argon을 사용하였다(Table 1).

자료의 분석 및 통계적 검증은 SPSS-PC+ 프로그램을 이용하여 각 시료내의 평균 연, 카드뮴, 수은 농도와 각 장기간의 중금속농도의 상관관계를 분석하였다.

**Table 1.** Analytical conditions of the atomic absorption spectrophotometry to measure of the lead, cadmium and mercury in the human hair and organs

Parameter	Pb .	Cd	Hg
Wave length (nm)	283.3	228.8	253.7
Lamp current (Ma)	7	4	2
Purge gas	Argon	Argon	Argon
Slit width (nm)	0.5	0.3	0.7
Readout mode	Peak height	Peak height	Intergration hold
Temperature program			
Dry (℃/sec)	100/30	100/30	
Ash (℃/sec)	300/25	300/30	
Atomise (℃/sec)	1,400/3	1,500/3	
Prespray time (sec)	-	-	40
Intergration time (sec)	-	-	10

## 연구결과

연구대상 부검체들은 남자가 36명(60%), 여자가 24명(40%)이었으며, 사망시 연령은 40대가 가장 많았으며(26.7%), 20대, 30대, 50대 이상이 20% 정도로 비슷한 수준 이었고, 10대가 13.3%로 가장 적었다.

거주지별로는 시단위 이상의 대도시 거주자가 50명으로 83%를 차지하였으며, 군단위 이하 거주자가 10명으로 17%를 차지하였다.

대상들의 직업은 가정주부 혹은 직업이 없는 경우가 24명으로 40%를 차지하였으며, 그 외 육체노동자가 16명(26.7%), 교사등 사무직이 5명(8.3%), 학생이 4명(6.7%), 직업미상이 11명(18.3%)이었다.

사인별로는 사고나 외상이 44명으로 73.4%를 차지하였으며, 자연사가 15명(29.4%), 사인미상이 1명이 있었다(Table 2).

연구대상의 두발내 연 농도는  $12.29 \pm 12.51 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 남녀간에 차이는 없었다. 각 장기별로는 대뇌에서  $1.35 \pm 2.92 \mu\text{g/g}$ 로 가장 높았으며, 소뇌에서는  $0.51 \pm 0.57 \mu\text{g/g}$ 이었다. 비장과 간장이 각각

**Table 2.** Distribution of the subjects by general characteristics

Characteristics		No(%)
Sex	Male	36(60.0)
	Female	24(40.0)
Age	-19	8(13.3)
	20-29	13(21.7)
	30-39	11(18.3)
	40-49	16(26.7)
	50-	12(20.0)
Place of Residence	Urban area	50(83.3)
	Rural area	10(16.7)
Occupation	Physical Workers	16(26.7)
	Mental Workers	9(15.0)
	Students	4(6.7)
	Officers	5(8.3)
	Housewives or None	24(40.0)
Cause of death	Unknown	11(18.3)
	Natural death	15(24.9)
	Accident or Trauma	44(73.4)
	Unknown	1(1.7)

$0.45 \pm 1.85 \mu\text{g/g}$ ,  $0.43 \pm 0.61 \mu\text{g/g}$ 로 비슷한 수준이었으며, 심장에서  $0.12 \pm 0.18 \mu\text{g/g}$ , 신장에서  $0.19 \pm 0.24 \mu\text{g/g}$ , 폐에서  $0.18 \pm 0.19 \mu\text{g/g}$ 이었다. 조사 장기 중에 남녀간 연 농도의 유의한 차이는 없었다(Table 3).

장기내의 카드뮴의 농도는 신장과 간장에서 가장 높게 조사되었는데 신장에서  $127.33 \pm 89.36 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 여자에서  $160.05 \pm 98.20 \mu\text{g/g}$ 로 남자의  $105.51 \pm 76.81 \mu\text{g/g}$ 에 비해 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 간장에서는  $8.60 \pm 9.12 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 여자가  $11.17 \pm 7.24 \mu\text{g/g}$ 로 남자  $6.88 \pm 9.91 \mu\text{g/g}$ 보다 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 그 외 장기로 심장에서는  $0.32 \pm 9.19 \mu\text{g/g}$ 였으며, 성별의 차이는 여자가  $0.39 \pm 0.20 \mu\text{g/g}$ , 남자  $0.27 \pm 0.17 \mu\text{g/g}$ 로 여자에서 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 비장에서 여자가  $1.35 \pm 0.96 \mu\text{g/g}$ 로 남자  $0.79 \pm 0.63 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 소뇌와 대뇌에서도 통계적으로 유의한 수준은 아니었으나 여자에서 높은 농도를 보였다(Table 4).

수은의 농도도 카드뮴의 경우와 마찬가지로 신장과 간장에서 각각  $1.26 \pm 2.89 \mu\text{g/g}$ ,  $0.59 \pm 0.54 \mu\text{g/g}$ 로 가장 높은 농도를 보였으며, 두 장기 모두 여자에서 약간 높은 농도를 보였으나 유의한 차이는 아니었다. 심장에서는 평균농도가  $0.12 \pm 0.16 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 여자가  $0.18 \pm 0.23 \mu\text{g/g}$ 로 남자  $0.09 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 소뇌에서는  $0.16 \pm 0.17 \mu\text{g/g}$ , 대뇌에서  $0.13 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$ , 폐에서  $0.36 \pm 0.69 \mu\text{g/g}$ , 비장에서  $0.16 \pm 0.22 \mu\text{g/g}$ 였으며 이들 장기 모두에서 수은의 농도가 여자에서 높게 조사되었으나 유의한 수준은 아니었다. 두발의 평균수은 농도는  $1.29 \pm 0.64 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 남녀간에 유의한 차이는 없었다(Table 5).

연령과 각 장기간 중금속 농도와의 상관관계를 조사한 결과 연의 경우에 비장( $r=0.278$ ,  $p < 0.05$ )과 두발( $r=0.271$ ,  $p < 0.05$ )에서 약한 상관관계를 보였으며, 그 외 장기에서는 연령과 연 농도간의 상관성이 없었다. 카드뮴에서는 신장에서 중농도정도의 상관관계( $r=0.444$ ,  $p < 0.01$ )를 보였으며, 대뇌( $r=0.421$ ,  $p < 0.05$ ), 비장( $r=0.313$ ,  $p < 0.05$ ), 소뇌( $r=0.282$ ,  $p < 0.05$ )에서도 상관관계가 있는 것으로 조사되었다. 수은에서는 두발 및 장기에서 연령과 수은농도간의 상관관계가 없는 것으로 조사되었다(Table 6).

(unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)**Table 3.** Mean concentration of lead in human organs by gender

Organ	Male (n=36)			Female (n=24)			Total (n=60)		
	Mean $\pm$ SD	Median	(range)	Mean $\pm$ SD	Median	(range)	Mean $\pm$ SD	Median	(range)
Cerebellum	0.51 $\pm$ 0.68	0.36	(0.04- 4.07)	0.51 $\pm$ 0.34	0.51	(0.00- 1.34)	0.51 $\pm$ 0.57	0.40	(0.00- 4.07)
Cerebrum	1.11 $\pm$ 2.64	0.24	(0.05-13.32)	1.70 $\pm$ 3.30	0.38	(0.03-12.57)	1.35 $\pm$ 2.90	0.26	(0.03-13.32)
Heart	0.12 $\pm$ 0.21	0.08	(0.00- 1.30)	0.13 $\pm$ 0.13	0.12	(0.00- 0.65)	0.12 $\pm$ 0.18	0.11	(0.00- 1.30)
Kidney	0.21 $\pm$ 0.28	0.13	(0.02- 1.38)	0.15 $\pm$ 0.12	0.10	(0.00- 0.42)	0.19 $\pm$ 0.24	0.11	(0.00- 1.38)
Liver	0.42 $\pm$ 0.58	0.30	(0.03- 2.86)	0.43 $\pm$ 0.66	0.16	(0.03- 3.31)	0.43 $\pm$ 0.61	0.28	(0.03- 3.31)
Lung	0.17 $\pm$ 0.12	0.12	(0.01- 0.51)	0.20 $\pm$ 0.25	0.12	(0.02- 1.16)	0.18 $\pm$ 0.19	0.12	(0.01- 1.16)
Spleen	0.26 $\pm$ 0.90	0.08	(0.01- 5.52)	0.73 $\pm$ 2.71	0.11	(0.00-13.45)	0.45 $\pm$ 1.85	0.08	(0.00-13.45)
Hair	12.04 $\pm$ 8.82	9.18	(0.00-39.47)	12.66 $\pm$ 16.81	7.70	(4.14-71.11)	12.29 $\pm$ 12.81	8.94	(0.00-71.11)

(unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)**Table 4.** Mean concentration of cadmium in human organs by gender

Organ	Male (n=36)			Female (n=24)			Total (n=60)		
	Mean $\pm$ SD	Median	(range)	Mean $\pm$ SD	Median	(range)	Mean $\pm$ SD	Median	(range)
Cerebellum	0.14 $\pm$ 0.10	0.11	(0.02- 0.48)	0.18 $\pm$ 0.14	0.15	(0.03- 0.64)	0.16 $\pm$ 0.12	0.12	(0.02- 0.64)
Cerebrum	0.11 $\pm$ 0.06	0.10	(0.01- 0.30)	0.14 $\pm$ 0.14	0.10	(0.00- 0.56)	0.12 $\pm$ 0.10	0.10	(0.01- 0.56)
Heart*	0.27 $\pm$ 0.17	0.30	(0.02- 0.76)	0.39 $\pm$ 0.20	0.33	(0.06- 0.97)	0.32 $\pm$ 0.19	0.32	(0.02- 0.97)
Kidney*	105.51 $\pm$ 76.81	89.71	(6.60-376.50)	160.05 $\pm$ 98.20	146.70	(7.60-391.00)	127.33 $\pm$ 89.36	97.10	(6.60-391.00)
Liver	6.88 $\pm$ 9.91	5.54	(0.01- 61.16)	11.17 $\pm$ 7.24	10.20	(0.85- 29.30)	8.60 $\pm$ 9.12	6.42	(0.01- 61.16)
Lung	1.17 $\pm$ 0.55	1.16	(0.29- 3.21)	1.14 $\pm$ 0.63	1.06	(0.38- 3.00)	1.16 $\pm$ 0.58	1.15	(0.29- 3.21)
Spleen*	0.79 $\pm$ 0.63	0.64	(0.10- 2.95)	1.35 $\pm$ 0.96	1.07	(0.08- 4.00)	1.01 $\pm$ 0.82	0.77	(0.08- 4.00)
Hair	0.11 $\pm$ 0.15	0.08	(0.00- 0.85)	0.08 $\pm$ 0.05	0.07	(0.02- 0.20)	0.10 $\pm$ 0.12	0.07	(0.01- 0.85)

\* p&lt;0.05.

**Table 5.** Mean concentration of mercury in human organs by gender

(unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)

Organ	Male (n=36)			Female (n=24)			Total (n=60)		
	Mean $\pm$ SD	Median	(range)	Mean $\pm$ SD	Median	(range)	Mean $\pm$ SD	Median	(range)
	Cerebellum	0.15 $\pm$ 0.17	0.09	(0.00- 0.86)	0.18 $\pm$ 0.17	0.11	(0.00- 0.75)	0.16 $\pm$ 0.17	0.10
Cerebrum	0.13 $\pm$ 0.13	0.09	(0.01- 0.75)	0.15 $\pm$ 0.14	0.09	(0.02- 0.67)	0.13 $\pm$ 0.13	0.09	(0.01-0.75)
Heart*	0.09 $\pm$ 0.07	0.07	(0.00- 0.41)	0.18 $\pm$ 0.23	0.11	(0.00- 0.82)	0.12 $\pm$ 0.16	0.08	(0.00-0.82)
Kidney	1.18 $\pm$ 3.02	0.63	(0.07-18.63)	1.38 $\pm$ 2.75	0.48	(0.12-12.34)	1.26 $\pm$ 2.89	0.60	(0.07-18.6)
Liver	0.58 $\pm$ 0.58	0.48	(0.12- 3.42)	0.60 $\pm$ 0.47	0.45	(0.18- 2.44)	0.59 $\pm$ 0.54	0.46	(0.12-3.42)
Lung	0.25 $\pm$ 0.30	0.18	(0.05- 1.78)	0.52 $\pm$ 1.02	0.21	(0.06- 5.12)	0.36 $\pm$ 0.69	0.19	(0.05-5.12)
Spleen	0.15 $\pm$ 0.20	8.79	(0.04- 1.04)	0.18 $\pm$ 0.25	0.09	(0.02- 1.20)	0.16 $\pm$ 0.22	0.08	(0.02-1.20)
Hair	1.32 $\pm$ 0.74	1.19	(0.20- 3.44)	1.25 $\pm$ 0.46	1.25	(0.53- 2.37)	1.29 $\pm$ 0.64	1.21	(0.20-3.44)

\*  $p < 0.05$ .

**Table 6.** Correlation matrix of age and heavy metal concentrations in human organ

Organ	Cerebellum	Cerebrum	Heart	Kidney	Liver	Lung	Spleen	Hair
Pb	0.007	-0.034	-0.114	-0.068	0.068	0.044	0.278*	0.271*
Cd	0.282*	0.421*	0.208	0.444**	0.243	0.215	0.313*	-0.019
Hg	-0.176	-0.165	-0.013	0.002	0.007	-0.238	-0.111	0.231

\*  $p < 0.05$ .

\*\*  $p < 0.01$ .

**Table 7.** Mean concentration of lead, cadmium, mercury in human organs by place of residence

(unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)

Organ	Lead		Cadmium		Mercury	
	Urban (n=50)	Rural (n=10)	Urban (n=50)	Rural (n=10)	Urban (n=50)	Rural (n=10)
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Cerebellum	0.46 $\pm$ 0.33	0.76 $\pm$ 1.19	0.16 $\pm$ 0.12	0.14 $\pm$ 0.13	0.17 $\pm$ 0.17	0.12 $\pm$ 0.12
Cerebrum	1.48 $\pm$ 3.15	0.70 $\pm$ 0.99	0.11 $\pm$ 0.08	0.16 $\pm$ 0.16	0.14 $\pm$ 0.14	0.12 $\pm$ 0.10
Heart	0.25 $\pm$ 0.19	0.12 $\pm$ 0.09	0.33 $\pm$ 0.19	0.26 $\pm$ 0.14	0.12 $\pm$ 0.16	0.12 $\pm$ 0.10
Kidney	0.15 $\pm$ 0.13*	0.39 $\pm$ 0.46	124.55 $\pm$ 83.36	141.25 $\pm$ 119.40	1.35 $\pm$ 3.16	0.81 $\pm$ 3.16
Liver	0.46 $\pm$ 0.66*	0.24 $\pm$ 0.16	8.51 $\pm$ 9.39	9.02 $\pm$ 8.07	0.55 $\pm$ 0.55	0.79 $\pm$ 0.42
Lung	0.19 $\pm$ 0.20*	0.11 $\pm$ 0.03	1.12 $\pm$ 0.51	1.35 $\pm$ 0.85	0.35 $\pm$ 0.72	0.43 $\pm$ 0.56
Spleen	0.41 $\pm$ 0.65	0.65 $\pm$ 1.71	0.97 $\pm$ 0.75	1.22 $\pm$ 1.16	0.16 $\pm$ 0.20	0.19 $\pm$ 0.30
Hair	11.93 $\pm$ 13.10	14.08 $\pm$ 9.37	0.09 $\pm$ 0.11	0.13 $\pm$ 0.17	1.22 $\pm$ 0.59	1.66 $\pm$ 0.75

\*  $p < 0.05$ .

거주지 별로 장기의 연 농도를 조사한 결과 간장과 폐에서 시단위 이상의 대도시지역에 거주한자가 각각  $0.46 \pm 0.66 \mu\text{g/g}$ ,  $0.19 \pm 0.20 \mu\text{g/g}$ 로, 군단위 이하에서 거주한자  $0.24 \pm 0.16 \mu\text{g/g}$ ,  $0.11 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 높은 것으로 조사되었으나 ( $p < 0.05$ ), 신장에서는 대도시거주자에서  $0.15 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$ , 군단위 이하의 거주자에서  $0.39 \pm 0.46 \mu\text{g/g}$ 로 오히려 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 카드뮴과 수은에서는 거주지별 각 장기의 유의한 농도차이는 조사되지 않았다 (Table 7).

조사 부검체의 직업별로 연 농도를 비교한 결과 소뇌에서 육체노동자가  $0.57 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 로 무직 혹은 가정주부의  $0.35 \pm 0.25 \mu\text{g/g}$ 보다 높은 것으로 조사되었으며 ( $p < 0.05$ ), 그 외의 장기에서는 유의한 차이는 없었다 (Table 8). 카드뮴농도는 소뇌, 대뇌, 심장과 비장에서 학생, 사무직 근로자가 각각  $0.08$

$\pm 0.05 \mu\text{g/g}$ ,  $0.07 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ ,  $0.19 \pm 0.10 \mu\text{g/g}$ ,  $0.50 \pm 0.33 \mu\text{g/g}$ 로 육체노동자  $0.22 \pm 0.15 \mu\text{g/g}$ ,  $0.17 \pm 0.14 \mu\text{g/g}$ ,  $0.37 \pm 0.25 \mu\text{g/g}$ ,  $1.26 \pm 0.99 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 낮게 조사되었으며 ( $p < 0.05$ ), 폐에서도 무직 혹은 가정주부에서  $0.99 \pm 0.37 \mu\text{g/g}$ 로 육체노동자  $1.33 \pm 0.61 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 낮은 ( $p < 0.05$ ) 카드뮴 농도를 보였다 (Table 9). 수은농도는 소뇌와 대뇌에서 무직 혹은 가정주부가 각각  $0.21 \pm 0.21 \mu\text{g/g}$ ,  $0.17 \pm 0.18 \mu\text{g/g}$ 로 육체노동자  $0.10 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$ ,  $0.08 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ 보다 높은 것으로 조사되었으며 ( $p < 0.05$ ), 그 외 장기에서는 유의한 차이는 없었다 (Table 10).

두발과 조사 장기간의 연 농도의 상관관계는 없는 것으로 분석되었다. 각 장기간에는 소뇌와 대뇌 ( $r=0.465$ ,  $p < 0.01$ ), 신장 ( $r=0.300$ ,  $p < 0.05$ )이 상관관계가 있었으며, 대뇌와 신장 ( $r=0.379$ ,  $p < 0.01$ ),

**Table 8.** Mean concentration of lead in organs and hair by occupation (unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)

Organ	Physical workers (n=16)	Mental workers (n=9)	Housewives and none(n=24)	Unknown (n=11)
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Cerebellum	$0.57 \pm 0.39$	$0.43 \pm 0.38$	$0.35 \pm 0.25^*$	$0.83 \pm 1.10$
Cerebrum	$1.16 \pm 2.63$	$3.50 \pm 5.41$	$1.11 \pm 2.18$	$0.39 \pm 0.21$
Heart	$0.08 \pm 0.06$	$0.24 \pm 0.40$	$0.12 \pm 0.13$	$0.09 \pm 0.10$
Kidney	$0.17 \pm 0.16$	$0.26 \pm 0.24$	$0.17 \pm 0.28$	$0.18 \pm 0.07$
Liver	$0.25 \pm 0.20$	$0.55 \pm 0.78$	$0.52 \pm 0.81$	$0.35 \pm 0.06$
Lung	$0.13 \pm 0.07$	$0.21 \pm 0.14$	$0.19 \pm 0.26$	$0.18 \pm 0.04$
Spleen	$1.00 \pm 3.32$	$0.15 \pm 0.18$	$0.36 \pm 1.10$	$9.41 \pm 0.07$
Hair	$10.97 \pm 5.61$	$8.24 \pm 4.31$	$15.48 \pm 17.57$	$10.55 \pm 10.31$

\*  $p < 0.05$ , compared with physical workers.

**Table 9.** Mean concentration of cadmium in organs and hair by occupation (unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)

Organ	Physical workers (n=16)	Mental workers (n=9)	Housewives and none(n=24)	Unknown (n=11)
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Cerebellum	$0.22 \pm 0.15$	$0.08 \pm 0.05^*$	$0.16 \pm 0.10$	$0.13 \pm 0.12$
Cerebrum	$0.17 \pm 0.14$	$0.07 \pm 0.05^*$	$0.11 \pm 0.08$	$0.11 \pm 0.09$
Heart	$0.37 \pm 0.25$	$0.19 \pm 0.10^*$	$0.34 \pm 0.13$	$0.29 \pm 0.21$
Kidney	$157.08 \pm 116.80$	$95.08 \pm 64.08$	$124.57 \pm 80.85$	$116.45 \pm 76.31$
Liver	$13.05 \pm 14.50$	$6.21 \pm 3.72$	$8.78 \pm 6.27$	$3.67 \pm 2.94$
Lung	$1.33 \pm 0.61$	$1.43 \pm 0.85$	$0.99 \pm 0.37^*$	$1.04 \pm 0.57$
Spleen	$1.26 \pm 0.99$	$0.50 \pm 0.33^*$	$1.15 \pm 0.81$	$0.78 \pm 0.70$
Hair	$0.09 \pm 0.05$	$0.16 \pm 0.26$	$0.10 \pm 0.11$	$0.07 \pm 0.10$

\*  $p < 0.05$ , compared with physical workers.



대뇌와 간장( $r=0.505$ ,  $p<0.01$ )간에도 상관관계가 있었다(Table 11).

두발내 카드뮴농도와 다른 장기와의 상관성도 없는 것으로 조사되었으며, 각 장기간에는 소뇌와 대뇌( $r=0.543$ ,  $p<0.01$ ), 심장( $r=0.480$ ,  $p<0.01$ ), 신장( $r=0.376$ ,  $p<0.01$ ), 비장( $r=0.408$ ,  $p<0.01$ )과 유의한 상관관계가 있었다. 또한 대뇌와 심장( $r=0.377$ ,  $p<0.01$ ), 신장( $r=0.484$ ,  $p<0.01$ ), 간장( $r=0.265$ ,  $p<0.05$ ), 폐( $r=0.458$ ,  $p<0.01$ ), 비장( $r=0.483$ ,  $p<0.01$ )사이에도 유의한 상관관계가 있었고, 심장과 신장( $r=0.524$ ,  $p<0.01$ ), 간장( $r=0.307$ ,  $p<0.05$ ), 비장( $r=0.618$ ,  $p<0.01$ )사이에도 유의한 상관관계가 있었다. 신장과 간장( $r=0.402$ ,  $p<0.01$ ), 폐( $r=0.310$ ,  $p<0.05$ ), 비장( $r=0.633$ ,  $p<0.01$ )사이, 간장과 비장( $r=0.424$ ,  $p<0.01$ )사이에도 유의한 상관관계가 있었다(Table 12).

수은농도에서도 두발과 다른 장기간에 상관관계는

없었다. 각 장기간에는 소뇌와 대뇌( $r=0.760$ ,  $p<0.01$ ), 심장( $r=0.270$ ,  $p<0.05$ ), 간장( $r=0.425$ ,  $p<0.01$ ), 폐( $r=0.488$ ,  $p<0.01$ ), 비장( $r=0.534$ ,  $p<0.01$ )과 유의한 상관관계가 있었으며, 대뇌와 심장( $r=0.376$ ,  $p<0.01$ ), 간장( $r=0.350$ ,  $p<0.01$ ), 폐( $r=0.554$ ,  $p<0.01$ ), 비장( $r=0.489$ ,  $p<0.01$ )이 유의한 상관관계가 있었다. 심장과 간장( $r=0.294$ ,  $p<0.05$ ), 폐( $r=0.304$ ,  $p<0.05$ ), 비장( $r=0.339$ ,  $p<0.01$ ) 사이에도 유의한 상관관계가 있었으며, 신장과 간장( $r=0.256$ ,  $p<0.05$ ), 폐( $r=0.288$ ,  $p<0.05$ )사이에도 유의한 상관관계가 있었다. 또한 간장과 비장( $r=0.333$ ,  $p<0.01$ ), 폐와 비장( $r=0.502$ ,  $p<0.01$ )사이에도 유의한 상관관계가 있었다(Table 13).

## 고 찰

대기 중의 연 오염은 대부분 자동차의 배기가스에

**Table 10.** Mean concentration of mercury in organs and hair by occupation (unit :  $\mu\text{g/g}$ , wet weight)

Organ	Physical workers (n=16)	Mental workers (n=9)	Housewives and none(n=24)	Unknown (n=11)
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Cerebellum	0.10 $\pm$ 0.08	0.14 $\pm$ 0.14	0.21 $\pm$ 0.21	*0.16 $\pm$ 0.15
Cerebrum	0.08 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.09	0.17 $\pm$ 0.18	*0.15 $\pm$ 0.10
Heart	0.12 $\pm$ 0.17	0.09 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.20	0.11 $\pm$ 0.10
Kidney	0.62 $\pm$ 0.30	0.68 $\pm$ 0.46	1.67 $\pm$ 3.90	1.80 $\pm$ 3.52
Liver	0.46 $\pm$ 0.23	0.52 $\pm$ 0.27	0.71 $\pm$ 0.72	0.55 $\pm$ 0.55
Lung	0.29 $\pm$ 0.33	0.18 $\pm$ 0.06	0.29 $\pm$ 0.22	0.78 $\pm$ 1.51
Spleen	0.12 $\pm$ 0.13	0.10 $\pm$ 0.05	0.21 $\pm$ 0.26	0.19 $\pm$ 0.29
Hair	1.19 $\pm$ 0.67	1.45 $\pm$ 0.46	1.21 $\pm$ 0.55	1.50 $\pm$ 0.88

\*  $p<0.05$ , compared with physical workers.

**Table 11.** Correlation matrix of organs and hair in lead concentration

Organ	Cerebellum	Cerebrum	Heart	Kidney	Liver	Lung	Spleen	Hair
Cerebellum	1.000							
Cerebrum	0.465**	1.000						
Heart	0.218	0.022	1.000					
Kidney	0.300*	0.379**	0.123	1.000				
Liver	0.210	0.505**	0.077	0.195	1.000			
Lung	0.124	0.207	0.180	0.163	0.095	1.000		
Spleen	0.161	0.240	0.061	0.172	0.145	-0.004	1.000	
Hair	-0.076	-0.032	-0.170	-0.047	0.122	0.148	-0.021	1.000

\*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ .

**Table 12.** Correlation matrix of organs and hair in cadmium concentration

Organ	Cerebellum	Cerebrum	Heart	Kidney	Liver	Lung	Spleen	Hair
Cerebellum	1.000							
Cerebrum	0.543**	1.000						
Heart	0.480**	0.377**	1.000					
Kidney	0.376**	0.484**	0.524**	1.000				
Liver	0.196	0.265*	0.307*	0.402**	1.000			
Lung	0.142	0.458**	0.125	0.310*	0.030	1.000		
Spleen	0.408**	0.483**	0.618**	0.633**	0.424**	0.160	1.000	
Hair	-0.017	0.098	0.019	0.040	-0.039	0.194	-0.135	1.000

\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01.

**Table 13.** Correlation matrix of organs and hair in mercury concentration

Organ	Cerebellum	Cerebrum	Heart	Kidney	Liver	Lung	Spleen	Hair
Cerebellum	1.000							
Cerebrum	0.760**	1.000						
Heart	0.270*	0.376**	1.000					
Kidney	0.000	0.162	0.158	1.000				
Liver	0.425**	0.350**	0.294*	0.256*	1.000			
Lung	0.488**	0.554**	0.304*	0.288*	0.249	1.000		
Spleen	0.534**	0.489**	0.339**	0.084	0.333**	0.502**	1.000	
Hair	0.177	0.239	0.068	-0.034	0.194	0.051	0.007	1.000

\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01.

서 유래하며 지구상의 모든 공기에서 연이 검출되는 것을 볼 수 있다(Rosner와 Marrowitz, 1985; Hansen 등, 1989). 우리 나라에서 공업화되고, 자동차가 밀집해 있는 서울, 부산, 대구같은 대도시의 중심지역의 토양 중 연 농도는 상당히 높은 것으로 보고(진병화, 1991) 되고 있으며, 변 등(1996)의 조사에 따르면 대구 시내 도심지 토양층의 연 농도는 4.96  $\mu\text{g/g}$  이었으며 교통량이 적은 경주시의 외곽지역은 0.01  $\mu\text{g/g}$ 이었다.

이번 연구 결과에서는 간장과 폐에서 시단위 이상의 대도시지역에 거주한자가 군단위 이하에서 거주한자보다 유의하게 높은 연농도를 보였으나, 신장에서는 낮게 조사되었다. 또한 카드뮴과 수은농도도 대도시지역과 군단위 이하지역 거주자의 장기에서 농도의 차이를 보이지 않았다. 이는 과거 거주지 경력을 알 수 없는 부검체의 현주소를 근거로 분석하여 과거거주 장소 및 기간이 포함되지 못했으며, 군단위 이하의 거주한자의 수가 적어 나이 등의 다른 중요한 변수를 통제하지 못하고 분석한 점 등을 고

려할 때 결과해석의 제한점이 있었다.

인체내 연은 1/3은 대기로부터, 2/3은 음식물, 물로부터 흡수된다고 볼 수 있으며 인체로부터 연의 배설은 대변 외에는 주로 신장을 통하여 이루어진다. 혈중 농도가 거의 정상인 경우에는 주로 신장의 사구체로부터 여과되어 흡수가 커지며, 혈중 농도가 높아지면 세뇨관으로부터 분비가 시작된다고 한다(Goldman 등, 1987).

연은 인체의 거의 모든 장기에 존재하는데 이번 조사 장기중 대뇌에서 1.35 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높은 농도를 보였다. 이는 장성길 등(1982)의 0.09 $\mu\text{g/g}$ 에 비해 현저히 높았으며, Barry와 Mossman(1970)의 연구에서 대뇌피질에서 남자 0.12 $\mu\text{g/g}$ , 여자 0.15 $\mu\text{g/g}$ 보다도 높은 수준이었다.

심장에서의 연 농도는 남자에서 0.12 $\mu\text{g/g}$ , 여자에서 0.13 $\mu\text{g/g}$ 로 Barry와 Mossman(1970)에 의한 연구의 남자 0.07 $\mu\text{g/g}$ , 여자 0.08 $\mu\text{g/g}$ 보다 높은 것으로 조사되었으며, 신장에서는 0.21 $\mu\text{g/g}$ , 0.15 $\mu\text{g/g}$ 로 Barry와 Mossman(1970)에 의한 연구의 남

자 0.67 $\mu\text{g/g}$ , 0.50 $\mu\text{g/g}$ 보다 낮았으며, 간장에서는 0.42 $\mu\text{g/g}$ , 0.43 $\mu\text{g/g}$ 로 Barry와 Mossman(1975)의 0.98 $\mu\text{g/g}$ , 0.63 $\mu\text{g/g}$ 보다 낮았다. 폐에서는 0.17 $\mu\text{g/g}$ , 0.20 $\mu\text{g/g}$ 로 Barry와 Mossman(1975)의 0.20 $\mu\text{g/g}$ , 0.22 $\mu\text{g/g}$ 와 비슷한 수준이었으며, 비장에서는 0.26 $\mu\text{g/g}$ , 0.73 $\mu\text{g/g}$ 로 Barry와 Mossman(1975)의 0.25 $\mu\text{g/g}$ , 0.18 $\mu\text{g/g}$ 보다 높았다.

두발의 경우 체내에서 대개 짧은 시간에 형성되고 형성된 조직은 피부로부터 밀려나 체내의 계속적인 대사활동으로부터 격리된다. 두발은 성장기 동안 하루에 0.2-0.5 mm정도씩 자라고 이때 혈액, 임파, 세포외액 등의 대사세포에 노출되어 영향을 받게되며, 내부조직의 구성요소들은 비교적 짧은시간, 대개 수일 안에 대사결과를 반영하지만 내부조직을 둘러싸는 각화된 표면조직은 더 장시간의 대사결과를 반영한다(Hopps, 1977).

한편 뼈, 혈액, 요를 포함한 다른 어떤 장기보다도 단위중량당 연의 농축률이 가장 높은 곳이 두발이라는 보고가 있다(Weiss 등 1972). 이번 연구에서도 두발중에 연 농도가 12.29 $\mu\text{g/g}$ 로 다른 장기에 비해 10배 이상의 농도를 보였으며, 이 같은 두발중의 연 농도는 장성길 등(1982)의 14.90 $\mu\text{g/g}$ 과 비슷한 수준이었으며, Barry와 Mossman(1970)의 연구에서 연에 대한 직업성 폭로가 없었던 남자 18.44 $\mu\text{g/g}$ , 여자 19.07 $\mu\text{g/g}$ 보다도 낮은 수준이었다.

김재욱 등(1995)의 연구에서 만11세 한국초등학생 4학년생들의 두발내 연 농도는 7.17 $\mu\text{g/g}$ 이었으며, 이 연구의 19세 이하군에서의 평균 연 농도 8.43 $\mu\text{g/g}$ 에 비해 약간 낮은 것으로 보고하였다.

스웨덴인 사체를 대상으로 한 조사에서는 연령이 증가함에 따라 연의 농도가 높게 나타났고 연에 대한 폭로는 신장질환의 원인이 된다고 보고했다(Elinder 등 1976). 본 연구에서 두발과 비장에서 연령이 증가함에 따라 연 농도가 증가하는 상관관계를 보였는데 강한 연관성을 보이지는 않았다.

최근 연의 측정 기술이 진보하여 소량의 시료를 대상으로 할 수 있게 되면서 머리카락 내의 연 농도를 환경오염의 지표로 하고자하는 시도가 행하여지게 되었으며, Bate와 Dyer(1965), Chattopadhyay 등(1977)과 Hopps(1977), Foo 등(1993)은 두발과 체내 여러 장기 혹은 환경중의 중금속 농도와 비교 분석하여 두발과의 상관성을 제시함으로써 두발이

체내흡수량을 반영해서 중금속 농도를 추정하는데 적합한 시료라고 주장하였다.

그러나 Ellis등(1981)은 인체내의 중금속농도를 추정하는 시료로써 두발을 이용하는 것이 체내 연 농도를 정확하게 반영하지 못한다고 주장하였으며, Bos(1984)의 연구결과도 이를 뒷받침 해주었다. 또한 Hammer 등(1971)은 두발내 중금속 함량은 전체 조직내 0.5-1.0% 정도이며, 각 조직에서의 중금속 축적은 조직간에 독립적으로 이루어짐으로 모든 중금속에서 두발과 장기내 중금속 농도와 상관관계를 적용하기에는 곤란하다고 주장하였다.

이번 조사에서는 두발과 다른 장기간에 연 농도의 상관관계가 없는 것으로 조사되었다. 그리고 각 장기사이에서는 소뇌와 대뇌, 소뇌와 신장, 대뇌와 신장, 대뇌와 간장사이에서는 연 농도간에 상관관계가 있는 것으로 조사되었는데 이는 이 연구의 카드뮴과 수은의 경우 거의 모든 장기간에 상관관계가 있었던 것과 대조적인 결과였다.

카드뮴에 의한 만성폭로는 신장기능 저하 및 폐기종, 골연화증을 유발시킬 수 있으며, 만성폭로의 경우 주된 표적장기는 신장으로 알려져 있다(Piscator, 1972; Elinder 등, 1976). 이번 연구에서 조사장기 중 카드뮴의 농도가 신장에서 127.33 $\mu\text{g/g}$ 로 가장 높았으며, 간장에서 8.60 $\mu\text{g/g}$ 로 다른 장기의 농도에 비해 훨씬 높은 농도를 보였다.

이러한 신장에서의 농도는 한국인의 부검체를 대상으로 한 장성길 등(1982)의 20.7 $\mu\text{g/g}$ , 정용(1980)의 17.33 $\mu\text{g/g}$ 보다 높았으며, Yukawa 등(1980)이 일본인에서 조사한 56.00 $\mu\text{g/g}$ 에 비해서도 높아 우리나라와 일본의 80년대 초반에 비해 카드뮴에 의한 대기 오염이 더 심각해진 것으로 예측된다.

카드뮴이 주로 신장 및 간장에 축적되는 이유는 조직 중에 있는 metallothionein이라는 금속단백과 결합하여 신장조직 중에 75% 이상 축적되고, 간장조직 중에 일부가 축적되기 때문이라고 보고한 Syverson(1975)의 조사와 비슷한 양상이었다.

두발에서의 카드뮴농도는 0.10 $\mu\text{g/g}$ 로 다른 장기들에 비해 낮았으며, 송동빈(1979)이 한국인을 대상으로 한 조사에서 도시지역 거주자 2.08 $\mu\text{g/g}$ , 농촌지역 거주자 1.11 $\mu\text{g/g}$ 에 비해서도 매우 감소된 수준이었다. 독일의 경우와 비교를 해볼 때 Wilhelm 등(1991)의 연구에서 두발의 카드뮴농도는

0.9 $\mu\text{g/g}$ 였고, 90년에는 0.60 $\mu\text{g/g}$ 이었다(Wilhelm과 Ohnesorge, 1990). 또한 이번 조사한 연과 수은의 모발중 농도와 비교해 볼 때 상대적으로 매우 낮은 농도였다. 이는 연등의 중금속들이 두발에 더 농축된다는 연구(Chattopadhyay 등, 1977; Hopps, 1977)와 상반된 결과였으며 앞서 언급된 Syverson(1975)의 조사에서 카드뮴의 경우 신장과 간장에 거의 대부분이 축적되는 결과로 인한 것으로 생각된다.

성별의 차이로는 여자에서 심장, 신장과 비장의 카드뮴농도가 남자에 비해 유의하게 높았다. 또한 폐를 제외한 다른 장기에서도 유의한 수준은 아니지만 여성에서 더 높은 농도를 보였다. 이는 Sumino 등(1975)과 장성길 등(1982)의 연구에서도 여성에서 남성보다 더 높은 카드뮴농도를 보였다는 보고와 일치하였다.

신장, 심장, 비장에서 연령분포에 따라 카드뮴 농도에 차이가 있었는데 나이와 이들 장기의 카드뮴간에 상관관계 분석을 한 결과 신장에서는 상관관계수 0.444, 대뇌에서 0.421로 중등도 이상의 상관관계를 보였으며, 소뇌에서도 0.282로 약한 상관관계를 보여 연령이 증가함에 따라 신장, 대뇌, 소뇌에 카드뮴 농도가 증가하는 것으로 조사되었다.

두발과 다른 장기간에 카드뮴농도의 상관성은 희박하였으나 그 외 장기 사이에는 대체적으로 상관관계가 있었다.

수은의 배설은 소변을 통하여 사구체에서 여과, 세뇨관으로 배설되며, 다른 장기보다 신장과 간장에 더 높게 축적되는 경향이 있다(Joselow 등, 1967; Sumino 등, 1975; Yukawa 등, 1980; Matsuo 등, 1989).

이번 연구에서도 신장의 수은이 1.26 $\mu\text{g/g}$ 로 심장의 0.12 $\mu\text{g/g}$ , 소뇌의 0.13 $\mu\text{g/g}$ , 대뇌, 비장의 0.16 $\mu\text{g/g}$ 보다 10배정도 높은 것으로 조사되었으며, 보통 중금속이 다른 장기에 10배정도로 농축된 농도로 존재한다는 두발의 1.29 $\mu\text{g/g}$ 와 비슷한 수치로 조사되었다.

동물의 경우에는 미국의 Schultz 등(1996)이 물고기를 대상으로 인위적으로 수은 및 카드뮴을 주사하여 혈액, 및 각 장기의 수은과 카드뮴 농도를 비교한 결과 수은과 카드뮴이 가장 높게 축적되는 장기는 간장과 신장이었다고 보고하였으며, 인체를 대상으로 한 이번 조사와 비교해 볼 때 수은 농도는 물

고기의 경우 간장에서 0.35 $\mu\text{g/g}$ 로 가장 높았으며, 신장에서 0.09 $\mu\text{g/g}$ 로 다음으로 높은 농도였으나 인체의 경우 이번 조사에서 신장이 1.26 $\mu\text{g/g}$ 로 가장 높았고 다음으로 간장 0.59 $\mu\text{g/g}$ 의 순이었다.

사람의 경우에도 간장 및 신장에서 수은이 다른 장기에 비해 높은 농도로 축적된다는 것은 이미 여러 연구(Joselow 등, 1967; Sumino 등, 1980; Yukawa 등, 1980; 장성길 등, 1982; 정용, 1984; Matsuo 등, 1989; Suzuki 등, 1993)가 있다. 이번 조사의 신장의 수은농도는 Nylander 등(1991)이 보고한 0.28 $\mu\text{g/g}$ 에 비해서 높은 농도였으며, 독일의 Opitz 등(1996)의 0.29 $\mu\text{g/g}$ 에 비해서도 높은 농도였다.

이러한 결과는 국내연구와도 비교해볼 때 정용(1980)의 0.31 $\mu\text{g/g}$ 보다 4배 가량 높은 농도를 보였으나, Joselow 등(1967)이 미국인 부검체를 대상으로 조사한 2.75 $\mu\text{g/g}$ , Yukawa 등(1980)이 일본인 부검체를 대상으로 조사한 2.20 $\mu\text{g/g}$ , Matsuo 등(1989)의 2.30 $\mu\text{g/g}$ 에 비해서는 낮았다.

본 연구에서 수은농도의 성별의 차이가 나타난 장기는 심장에서 여자가 0.18 $\mu\text{g/g}$ 로 남자의 0.09 $\mu\text{g/g}$ 보다 2배 가량 높게 조사되었으며, 그 외 장기에서도 유의한 수준은 아니지만 모두 여자에게서 높은 농도를 보였다.

이는 Sumino 등(1975)이 일본인 부검체를 대상으로 조사한 연구에서 신장에서의 농도가 남자 0.97 $\mu\text{g/g}$  여자 1.24 $\mu\text{g/g}$ 와 일치하는 양상을 보였으며 또 같은 일본의 Yukawa 등(1980)의 연구와도 일치하였다.

머리카락의 수은 농도는 생선을 먹는 집단에서 메틸수은의 섭취를 반영하고 머리카락에 존재하는 무기수은의 출처는 분명치 않지만 외부의 오염이나 모발에 들어간 유기수은이 분해되어 무기수은이 된 것으로 추정된다(Matsuo 등, 1989).

Muramatsu와 Parr(1988)는 스웨덴인 부검체의 중금속농도를 조사한 결과 두발과 신장피질간에 수은농도의 유의한 상관관계가 있다고 보고하였다.

이번 연구에서는 이와는 대조적으로 두발 및 각 장기간의 수은 농도간에 상관관계는 없었으나, 신장과 두발을 제외한 거의 조사장기모두에서 장기간에 높은 상관성이 있는 것으로 조사되었는데 특히 소뇌와 대뇌간의 상관계수가 0.760으로 강한 상관관계를

보였다.

이번 연구 결과에서 생물학적 모니터링의 수단으로 그 이용가능성 알아보기 하였던 두발내의 수은 농도가 다른 장기들과 상관성이 희박한 것으로 조사되었는데 이는 두발내 중금속 농도가 체내의 중금속 농도를 반영한다는 연구(Bate와 Dyer, 1965; Kopito 등, 1967; Weiss 등, 1972)들과 상반된 결과를 보였다.

미국의 Schultz등(1996)이 물고기에 수은을  $HgCl_2$ 형태로  $6.4\mu g/kg$  및  $CdCl_2$  형태의 카드뮴  $4.0\mu g/kg$ 을 인위적으로 주사하여 시간별로 혈액 속의 수은 및 카드뮴농도와 장기의 수은 및 카드뮴 농도를 조사하였다. 조사 결과 수은은 주사 후 7-12일 후 적혈구에서 최고치에 도달하였으며, 수은이 가장 높게 축적되는 장기는 간장과 신장이었으며, 그 외 근육, 피부의 순이었다. 간장에서의 축적은 156일에 걸쳐 점차로 증가하였다. 카드뮴의 경우도 간장과 신장에 가장 높게 축적되었으며, 주사 후 24시간 이내에 축적되어 335일 이후 약간의 농도 변화가 있었다고 보고하였다. 그리고 조사 장기 중 간장과 신장의 수은 농도의 경우 주사일을 기준으로 156일 까지 서서히 증가되었으나, 비장의 경우 8일째 최대치에 이르렀다 그 이후 서서히 감소하는 경향을 보였다. 심장의 경우도 주사 후 농도가 서서히 증가하다 30일 이후 다시 서서히 감소하는 경향을 보였다.

인체를 대상으로 이러한 독물역동학적인 연구가 불가능하며 각 장기마다 중금속의 흡수시기, 축적시기, 배출시기를 알 수는 없으나 위의 동물실험결과를 볼때 두발과 신장이 다른 장기와 다른 흡수, 축적, 배설 혹은 반감기를 가지고 있으며 사망시기에 측정된 두발과 신장에서 중금속의 농도와 다른 장기와 상관성이 희박할 가능성이 있을 것으로 추정할 수도 있다. 이는 물론 직업성 폭로가 아닌 만성적 저농도 폭로일 경우 이러한 해석이 적합하지 않을 것으로 생각된다.

또한 Opitz 등(1996)은 폭로 후 흡수된 수은은 처음으로 혈액에 분포하게 되지만, 많은 비율의 수은이 뇨와 대변을 통해 배출되고 나머지가 신장과 뇌조직에 축적되었다가 아주 서서히 배출되므로 폭로 당시 혈액내의 수은농도는 수은 폭로를 반영할 수 있지만 만성폭로인 경우에는 혈액과 뇨의 수은 농도가 체내수은의 총축적량 추정이나 각 장기내

수은농도를 추정하는데는 적합하지 않다고 주장하였다. 이러한 맥락에서도 각 장기간에 축적 및 배출에 대한 시기 및 정도가 다를 수 있을 것으로 생각된다.

중금속의 종류에 따라서도 이번 연구결과에서 나타난 것과 같이 연과 수은의 경우에는 두발에서의 농도가 다른 장기의 농도보다 현저히 높아 생물학적 모니터링의 수단으로 가능성이 있지만, 카드뮴의 경우는 거의 신장과 간장에 축적되어 두발에는 아주 작은 비율로 축적됨으로서 두발의 카드뮴 농도로 체내 총 축적량을 추정하기란 어려운 것으로 생각된다.

이를 뒷받침 해주는 다른 주장으로 앞에서 언급된 Hammer 등(1971)의 연구에서도 두발내 중금속 함량은 전체 조직내 차지하는 비율이 작고, 각 조직에서의 중금속 축적이 조직간에 독립적으로 이루어지기 때문에 모든 중금속에서 두발과 장기내 중금속 농도와 상관관계를 적용하기에는 곤란하다고 주장도 있어, 두발이 각 장기의 중금속 농도의 지표로, 혹은 환경오염에 대한 모니터링 수단으로의 이용가능성에 대해서는 좀더 신중한 고려가 필요하며, 향후 직업적 폭로나 급성폭로자의 폭로시기가 밝혀진 여러 부검체에서 각 중금속별로 주요 장기간의 흡수, 축적, 반감기 등에 대한 연구와 이를 고려한 각 장기간과 두발과의 상관성에 대한 연구 및 비직업성 만성폭로자들과의 비교 연구 등이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 결 론

한국인 부검체 60구를 대상으로 하여 소뇌, 대뇌, 심장, 신장, 간장, 폐, 비장 및 두발의 연, 카드뮴 및 수은농도를 정량 분석하고 이들의 농도를 성별, 연령별, 직업별로 비교하고, 두발과 장기, 각 장기간의 중금속농도의 상호관련성을 조사한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

부검체의 두발내 평균 연 농도는  $12.29 \pm 12.51\mu g/g$ 이었으며, 남녀간에 차이는 없었다. 각 장기별로는 대뇌에서  $1.35 \pm 2.92\mu g/g$ 로 가장 높았으며, 소뇌에서는  $0.51 \pm 0.57\mu g/g$ 이었다. 조사 장기 중에 남녀간 연 농도의 유의한 차이는 없었다.

장기내의 카드뮴의 농도는 신장과 간장에서 가장 높았으며, 각각  $127.33 \pm 89.36\mu g/g$ ,  $8.60 \pm 9.12\mu g/g$

/g이었다. 심장에서는  $0.32 \pm 9.19 \mu\text{g/g}$ 였으며, 여자에서 유의하게 높았다.

수은의 농도도 카드뮴의 경우와 마찬가지로 신장과 간장에서 각각  $1.26 \pm 2.89 \mu\text{g/g}$ ,  $0.59 \pm 0.54 \mu\text{g/g}$ 로 가장 높은 농도를 보였으며, 두 장기 모두 여자에서 약간 높은 농도를 보였으나 유의한 차이는 아니었다.

두발의 평균수은 농도는  $1.29 \pm 0.64 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 남녀간에 유의한 차이는 없었다.

연령과 각 장기간 중금속 농도와의 상관관계를 조사한 결과 연의 경우에 비장과 두발에서 약한 상관관계를 보였으며, 그 외 장기에서는 연령과 연 농도간의 상관성이 없었다.

카드뮴에서는 신장, 대뇌, 비장과 소뇌에서 연령과 상관관계가 있는 것으로 조사되었으나 수은에서는 두발 및 장기에서 연령과 수은농도간의 상관관계가 없는 것으로 조사되었다.

거주지 별로 장기의 연 농도를 조사한 결과 간장과 폐에서 시단위 이상의 대도시지역에 거주한자가 각각  $0.46 \pm 0.66 \mu\text{g/g}$ ,  $0.19 \pm 0.20 \mu\text{g/g}$ 로, 군단위 이하에서 거주한자  $0.24 \pm 0.16 \mu\text{g/g}$ ,  $0.11 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 높은 것으로 조사되었으나, 신장에서는 대도시거주자에서  $0.15 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$ , 군단위 이하거주자에서  $0.39 \pm 0.46 \mu\text{g/g}$ 로 오히려 낮았다.

카드뮴과 수은에서는 거주지별 각 장기의 유의한 농도 차이는 조사되지 않았다.

조사 부검체의 직업별로 연 농도를 비교한 결과 소뇌에서 육체노동자가  $0.57 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 로 무직 혹은 가정주부의  $0.35 \pm 0.25 \mu\text{g/g}$ 보다 높은 것으로 조사되었으며, 그 외의 장기에서는 유의한 차이는 없었다.

카드뮴농도는 소뇌, 대뇌, 심장과 비장에서 학생과 사무직 근로자가 각각  $0.08 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ ,  $0.07 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ ,  $0.19 \pm 0.10 \mu\text{g/g}$ ,  $0.50 \pm 0.33 \mu\text{g/g}$ 로 육체노동자  $0.22 \pm 0.15 \mu\text{g/g}$ ,  $0.17 \pm 0.14 \mu\text{g/g}$ ,  $0.37 \pm 0.25 \mu\text{g/g}$ ,  $1.26 \pm 0.99 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 낮게 조사되었으며, 폐에서도 무직 혹은 가정주부에서  $0.99 \pm 0.37 \mu\text{g/g}$ 로 육체노동자  $1.33 \pm 0.61 \mu\text{g/g}$ 보다 유의하게 낮은 카드뮴 농도를 보였다.

수은농도는 소뇌와 대뇌에서 무직 혹은 가정주부가 각각  $0.21 \pm 0.21 \mu\text{g/g}$ ,  $0.17 \pm 0.18 \mu\text{g/g}$ 로 육체노동자  $0.10 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$ ,  $0.08 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ 보다 높은

것으로 조사되었으며, 그 외 장기에서는 유의한 차이는 없었다.

두발과 조사 장기간의 연 농도의 상관관계는 없는 것으로 분석되었다. 각 장기간에는 소뇌와 대뇌, 신장이 상관관계가 있었으며, 대뇌와 신장, 대뇌와 간장간에도 상관관계가 있었다.

두발내 카드뮴 농도와 다른 장기와의 상관성도 없는 것으로 조사되었으며, 각 장기간에는 소뇌와 대뇌, 심장, 신장, 비장과 유의한 상관관계가 있었다. 또한 대뇌와 심장, 신장, 간장, 폐, 비장사이에 유의한 상관관계가 있었고, 심장과 신장, 간장, 비장사이에 유의한 상관관계가 있었다. 신장과 간장, 폐, 비장사이, 간장과 비장사이에 유의한 상관관계가 있었다.

수은 농도에서도 두발과 다른 장기간에 상관관계는 없었다. 각 장기간에는 소뇌와 대뇌, 심장, 간장, 폐, 비장과 유의한 상관관계가 있었으며, 대뇌와 심장, 간장, 폐, 비장이 유의한 상관관계가 있었다. 심장과 간장, 폐, 비장 사이에도 유의한 상관관계가 있었으며, 신장과 간장, 폐사이에 유의한 상관관계가 있었다. 또한 간장과 비장, 폐와 비장사이에 유의한 상관관계가 있었다.

조사 중금속들이 각 조직간에는 대체적으로 농도의 상관성이 있었으나 두발과 각 조직간에는 농도의 상관성이 희박한 결과로 볼 때 두발이 각 장기의 중금속 농도의 지표로, 혹은 환경오염에 대한 모니터링 수단으로의 이용가능성에 대해서는 향후 직업적 폭로나 급성폭로자의 폭로시기가 밝혀진 여러 부검체에서 각 장기간의 흡수, 축적, 반감기 등에 대한 연구와 이를 고려한 각 장기간과 두발과의 상관성에 대한 연구 및 비 직업성 만성폭로자들과의 비교연구 등이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 인용문헌

- 김재욱, 이중정, 김창운, 정종학. 국민학교 학생들의 혈액, 두발 및 조갑내의 연농도 비교. 예방의학회지 1995;28(1):73-84.
- 변영우, 황태운, 이중정, 김창운, 정종학. 대기 및 토양 오염의 지표로서 비둘기 조직의 연농도. 예방의학회지 1996;29(1):15-26.
- 송동빈. 한국인 모발중의 미량중금속함량에 관한 연구. 예방의학회지 1979;12(1):79-87.

- 장성길, 문병렬, 장규철. 한국인 각장기 조직중의 미량금속 원소분포-납, 카드뮴, 동(구리)의 함량. 예방의학회지 1982;15(1):95-110.
- 정용. 한국인 조직내 중금속 함유량에 관한 연구조사. 연세의대논문집 1980;17(2):187-202.
- 진병화. 대구시내 주택 및 가로주변에 퇴적된 먼지중의 중금속 함량. 경북대학교 보건대학원 석사학위논문, 1991.
- Adauid AO, Gbodi TA, Aliu YO. The lead content of plants and animals as indicators of environmental contamination. *Vet Hum Toxicol* 1990;32(5):454-456.
- Barry PSI, Mossman DB. Lead concentrations in human tissues. *Brit J industr Med* 1970;27:339-351.
- Bate LC, Dyer FF. Trace elements in human hair. *Nucleonics* 1965;23:74-81.
- Bos AJJ. The Amsterdam Proton Microbeam Dissertation. Free university of Amsterdam, 1984. McMichael A, Baghurst P, Wigg N : Port Pirie cohort study : Environmental exposure to lead and children's abilities at the age of four years. *N Engl J Med* 1988;319:468-475.
- Chattopadhyay A, Roberts TM, Jervis RE. Scalp hair as a monitor of community exposure to lead. *Arch Environ Health* 1977;34:226-236.
- Clarke AN, Wilson DJ, Tenn N. Preparation of hair for lead analysis. *Arch Environ Health* 1974;28:292-296.
- Elinder CG, Kjelstorm T, Friberg L, Lido B, Linnman L. Cadmium in kidney cortex, liver and pancreas from Swedesh autopies. *Arch Environ Health* 1976;31:292-305.
- Elis KJ, Yasumura S, Cohn SH. Hair cadmium content; Is it a biological indicator of the body burden of cadmium for the occupationally exposed worker? *Am J Indust Med* 1982;2:323-330.
- Eylenbosch WJ, Sprundel MP, Clara RR. Lead pollution in Antwerpen, Belgium. *Ann Acad Med* 1984;13:224-230.
- Fiscator M, Lind B. Cadmium, zinc, copper and lead in human renal cortex. *Arch Environ Health* 1972;24:426-431.
- Foo SC, Khoo NY, heng A, Chua LH, Chia CN, Ong CN, Nigm CH, Jeyarantnam K. Metals in hair as biological indices for exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 1993;65:83-86.
- Goldman RH, Baker EL, Hannan M, Kamerow DB. Lead poisoning in automobile mechanics. *N Engl J Med* 1987;317:214-218.
- Gronka PA. Mercury vapor exposure in dental office. *JADA* 1970;81:923-925.
- Hammar DI, Finklea JF, Hendricks RH, Shy CM. Hair trace metal levels and environmental exposure. *Am J Epidemiol* 1971;93:84-92.
- Hansen JC, Trap U, Bohm J. Prenatal exposure to methyl mercury among Greenlandic polar inuits. *Arch Environ Health* 1989;45:355-358.
- Hopps HC. The biologic bases for using hair and nail for analysis of trace elements. *Sci Total Environ* 1977;7:71-89.
- Joselow MM, Goldwater LJ, Weinberg SB. Absorption and excretion of mercury in man. *Arch Environ Health* 1967;15:64-66.
- Kazantzis, G. Mercury. Metals in the environment. New York : Academic press, 1980.
- Kopito L, Byers RK, Shwachman H. Lead in hair of children with chronic lead poisoning. *Engl J Med* 1967;276:949-953.
- Lee DP, Honda K, Tatsukawa R, Won PO. Distribution and residue level of mercury, cadmium and lead in korean birds. *Bull Environ Contam & Toxicol* 1989;43:550-555.
- Ma WC. Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. *Arch Environ Cont Toxicol* 1989;18:617-622.
- Matsuo N, Suzuki T, Akaki H. Mercury concentration in organs of contemporary Japanese. *Arch Environ Health* 1989;44:298-303.
- Muramatsu Y, Parr RM. Concentration of some trace elements in hair, liver, and kidney from autopsy Subjects-relationship between hair and internal organs. *Sci Total Environ* 1988;76:29-40.
- Nokawa K. Itai-Itai disease and follow-up studies in : Nriagu JO, ed. Cadmium in environment. New York : Jhon wiley and sons, 1987, pp. 1-37(Part II).
- Ohi, G, Akiyama, K, and Yagyuu, H. The pigeon. a sensor of lead pollution. *Bull Environ Contam & Toxicol* 1974;12(1):92-93.
- Ohi G, Seki H, Minowa K, Ohsawa M, Mizoguchi I, Sugimori F. Lead pollution in Tokyo - The pigeon reflects its amelioration. *Environ Res* 1981;26:125-129.
- Opitz H, Schweinsberg F, Grossmann T, Wendt Gallitelli MF, Meyerermann R. Demonstration of

- mercury in the human brain and other organs 17 years after metallic mercury exposure. *Clinical Neuropathology* 1996;15(3):139-144.
- Piscator M. Cadmium, zinc, copper and lead in human renal cortex. *Arch Environ Health* 1972;24:426-431.
- Rosner D, Marrowitz G. "A gift of God"? The public health controversy over leaded gasoline during the 1920s. *Am J Pub Health* 1985;75(4):344-352.
- Schultz IR, Peter EL, Newman MC. Toxicokinetics and disposition of inorganic mercury and cadmium in channel catfish after intravascular administration. *Toxicol Appl Pharmacol* 1996;140:39-50.
- Sumino K, Hayakawa K, Shibata T, Kitamura S. Heavy metals in normal Japanese tissues. *Arch Environ Health* 1975;30:487-494.
- Syverson TLM. Cadmium-binding in human liver and kidney. *Arch Environ Health* 1975;30:158-161.
- Waller RE, Commins BT, Lawther PJ. Air pollution in a city street. *Brit J Industr Med* 1965;22:128-138.
- Weiss D, Whitten B, Leddy D. Lead content of human hair. *Science* 1972;178:69-70.
- Wilhelm M, Hafner D, Lombeck I, Ohnesorge FK. Monitoring of cadmium, copper, lead and zinc status in young children using toenails : Comparison with scalp hair. *Sci Total Environ* 1991;103:199-207.
- Wilhelm M, Ohnesorge FK. Cadmium, copper, lead, and zinc concentrations in human scalp and pubic hair. *Sci Total Environ* 1990;92:199-206.
- Yoshunaga J, Imai H, Nakazawa M, Suzuki T, Morital M. Lack of Significancy Positive correlations between elemental concentrations in hair and organs. *Sci Total Environ* 1990;99:125-35.
- Yukawa M, Suzuki YM, Amano K, Terai M. Distribution of trace elements in the human body determined by neutron activation analysis. *Arch Environ Health* 1980;35:36-44.