

## 정신지체아 두발 중 중금속 함량 III -수은과의 관련성-

경북대학교 의과대학 예방의학교실

한 기 환·장 봉 기·박 순 우·김 두 희

= Abstract =

### Hair Heavy Metal Contents in Mentally Retarded Children III -In Association with Mercury-

Ki Hwan Han, Bong Ki Jang, Soon Woo Park, Doohie Kim

*Department of Preventive Medicine and Public Health  
College of Medicine, Kyungpook National University*

The relationship between mercury level of hair and mental retardation was investigated. The 297 subjects with mental retardation were drawn from two schools providing special educational services, one, consisted of children living in an orphan home, another, children with parents. The 117 control subjects were drawn from whom had got average or above average academic achievement in a regular elementary school. Hair sample were taken from the nape of the neck and the mercury analysis was carried out on an atomic absorption spectrophotometer(IL 551).

There was no relationship between mercury contents and age, and there was a statistically significant difference in mercury contents between male and female in the mentally retarded children living with parents.

Children in the retarded group had significantly higher mercury contents compared with control group except the female group with parents. Also, the mercury levels in the retarded group living in an orphan home were significantly higher than that of the retarded group with parents.

The concomitant diseases were Down's syndrome, epilepsy, cerebral palsy and autism. There were statistically significant differences in hair mercury levels in the cases of accompanying Down's syndrome and cerebral palsy in male and Down's syndrome and autism in female compared with the control group of the same sex.

The most accompanying handicap was speech disturbance(40.7%) and the others were crippled, emotional disturbance etc. The percentages of double handicap were 66.7% among 6 persons exceeding 6ppm of their hair mercury contents, 10.4% among 3~6 ppm and 15.7% among the group of 3ppm or less.

The findings of this study suggest that the more opportunities of exposure to mercury in mentally retarded children may have occurred, so it can not be excluded the possibility of mercury as a contributing factor to mental retardation. Therefore, the causal relationship between mercury levels and mental retardation should be established through the examinations about their living environments, dietary pattern, eating habit etc.

\* 이 논문은 1988년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

## I. 서 론

일본에서의 수은 중독으로 인한 선천성 정신지체에 관한 역학적 조사 결과를 보면, 1953년에 들고양이에서 처음으로 미나마다병이 발생한 이래 Harada(1964)는 수은 오염이 특히 심한 지역에서 1955-59년 사이에 출생한 어린이 중 29%가 정신지체 현상이 있었다고 보고한 바 있다(Smith와 Smith, 1975), Kitamura등(1957)이 미나마다병에 대해 처음 기술하고 McAlpine과 Araki(1958)는 미나마다 병으로 인한 말초신경장애, 뇌병증(lead encephalopathy), 청각, 시각 장애 및 신경변성 등을 보고하였다. Matsumoto등(1965)은 선천성 미나마다병으로 인해 사망한 어린이의 증례 보고에서 신체발육저하, 사지마비, 전신적 발작과 함께 백치정도의 지능발달 저하를 보고 하였으며, 부검 결과 뇌무게가 정상적이 1/2~2/3정도 밖에 안되며 현미경 소견상 대뇌 및 소뇌 피질의 퇴행성 변화 및 세포수 감소가 있었다고 하였다. Miller와 Bethesda(1967)에 의하면 1949-58년 사이에 수은사용량이 증가한 시기와 때를 같이하여 신생아들의 뇌성마비가 생기기 시작했으며 1962-63년 사이에 조사된 바에 의하면 17명의 어린이 중 8명이 5, 6세가 되어서도 제대로 앉지도 못했으며 9명은 심각한 운동기능 장애와 함께 중등도 내지 중증 정신지체가 있었다고 하였다. Snyder(1971)도 선천성 수은중독의 증례 보고에서 산모가 수은중독의 증상이 전혀 없음에도 불구하고 신생아에게서 뇌성마비, 정신지체, 경련, 불수의 운동, 시력장애 등의 신경중독증상이 있었으며 이는 수은에 의한 손상이 성장중인 신경계에 대해 더욱 크다는 것을 나타내는 것이라고 하였다. 이러한 사실은 Fukuda(1971), Charbonnau등(1974)의 실험을 통하여 입증되었다.

한편 Spyker등(1972)은 수은에 노출시킨 어미 마우스에서 태어난 새끼가 외양으로 정상이고 대조군에 비해서도 뇌무게, 단백질, acetylcholine 효소 활성도의 차이가 없음에도 불구하고 수염을 시킨 결과 그 능력이 떨어졌다고 하였다. Kyle과 Ghani(1982)에 의하면 파푸아 뉴기니아의 한 지역 주민을 대상으로 연구한 결과 이들이 상당한 양의 메틸수은이 함유된 물고기를 섭취했음에도 불구하고 일반적으로 알려진 임상적 증상을 나타낸 사람은 없었다고 하였으며, 수은중독에 의한 증상이 발현되는 경우보다 발현되지 않는 경우가 더욱 많다고 강조

하고 이러한 경우는 찾아내기 어렵기 때문에 연구된 바가 별로 없다고 하였다. 따라서 잘 알려지지 않은 수은의 영향(행태, 학습능력, 잉태력, 면역반응 등)도 간과해서는 안 된다고 하였다. Langolf등(1981), Levine등(1982)은 수은의 중추신경계에 대한 독성을 요중 농도를 중심으로 관찰하여 독성 발현 기준으로 알려진 0.5mg/L이하의 농도에서도 형태시험이나 신경전도시험을 통해 이상을 찾아내었다고 하였다.

이와같이 수은은 일반적으로 알려진 명백한 중독증상이외도 여러가지 중추신경장애를 일으킬 가능성이 있을 뿐만 아니라, Snyder(1971)와 Spyker(1972)에 의하면 독성작용을 나타내는 것으로 알려진 체내농도 이하에서도 증상을 일으킬 수 있으며 특히 수은의 영향은 나이가 어릴수록 크다고 한다. 그러나 Cavanagh(1988)에 의하면 뇌조직에서 수은은 특히 후두엽에 더욱 많이 농축되어 있는데 기질적인 소견은 찾아볼 수가 없음에도 불구하고 어떻게 신경증상이 나타나는지는 아직 밝혀지지 않았다고 하였다. 또한 Harada(1964)에 의하면 미나마다병에서 걸로 보기에 건강해 보이는 사람에게서 두발 중 수은함량이 100-191ppm으로써 매우 높았던 경우가 있었던 반면 2.14-14.8ppm의 저농도에서도 증상을 나타낸 경우가 있었다고 하였다.

한편 Phil과 Parkes(1977)는 학습지진아를 대상으로, Marlowe등(1983)는 정신지체아를 대상으로 두발 중 수은함량을 조사한 결과 대조군과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다고 발표한 적이 있다. 그러나 국내에서는 이에 관한 연구결과가 아직 없는 실정이다.

이에따라 본 연구에서는 정신지체아를 대상으로 두발 중 수은과의 상관성을 보고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

대구시내에 소재하고 있는 정신지체아 교육을 위한 특수학교 학생을 조사 대상으로 하여 성장환경이 다른 2군으로 나누어 관찰하였다. 즉 가정이 있는 아동이 다니는 1개교에서 132명(I군, 남자 88명, 여자 44명), 고아로만 구성되어 있는 1개교에서 165명(II군, 남자 88명, 여자 77명), 합계 297명을 실험군으로 하였으며 지체아의 분류는 현재 국내의 각 특수학교에서 교육상의 목적으로 분류한 기준(보호급, 지능지수 25미만; 훈련가능급, 25-49; 교육가능급, 50-74; 경계선급, 75-90미만)에 따랐다.

**Table 1.** Mean age and I.Q. of mentally retarded children and control

	No. of cases	Age(years)		I.Q.	
		Mean $\pm$ S.D.	Range	Mean $\pm$ S.D.	Range
Male	239				
Control	63	10.7 $\pm$ 1.7	7 - 12	average or above average school record	
Group I	88	13.4 $\pm$ 4.1**	6 - 26	41.4 $\pm$ 16.9	19 - 89
Group II	88	16.6 $\pm$ 5.2**	6 - 31	37.6 $\pm$ 14.8	20 - 75
Female	175				
Control	54	10.2 $\pm$ 1.8	7 - 13	average or above average school record	
Group I	44	12.6 $\pm$ 4.0**	6 - 21	40.2 $\pm$ 15.4	20 - 75
Group II	77	16.0 $\pm$ 5.2**	6 - 34	37.8 $\pm$ 16.0	15 - 80

\*\* : p<0.001 (compared with control)

\*\* : p<0.001 (compared with group I) by Student's t-test

대조군으로는 대구 시내 모 일반 국민학교에 재학중인 학생 중 지난 학기 성적이 상대 평가로 '미' 이상인 117명 (남학생 63명, 여학생 54명)을 임의 추출하였다.

위 조사 대상자들의 생활기록부와 아동조사서를 통해 각 개인의 신상을 파악하였으며 각 군의 평균 나이와 평균 지능지수는 표 1과 같다.

각 군의 평균 연령은 남녀 모두 정신지체군이 대조군보다 많았으며 (p<0.001), 지능지수는 대조군에서는 학업에 지장이 있는 자가 없었으며 정신지체군에서는 I 군과 II 군간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

여기에서 정신지체아의 경우 대조군과는 달리 13세 이상의 연령군까지 고려하였다. 이는 정신지체아 교육학교의 특수 사정상 같은 학급에도 역연령(chronological age)상 여러 연령층이 같이 생활하고 있으며 또한 정신지체의 발생은 주로 어릴 때 발생한 것으로 생각되었기 때문에 연령에 따른 수는 함량의 차이가 없다면 같이 포함시켜 분석하여도 가능할 것으로 생각되었기 때문이다.

두발의 채취는 1987년 3월부터 5월까지 이발사와 미용사를 고용하여 녹슬지 않은 가위로 뒷머리 부분을 채취하고 채취된 두발을 일정량 취하여 잘 세척된 비이커에 넣고 두발 표면의 오염물질을 제거하기 위해 0.3% triton X-100 용액을 적당량 넣어 약 10분간 진탕한 후 진공펌프와 여과지(Whatman No. 540)를 사용하여 흡인 여과하였다. 이어 300ml 정도의 탈이온수로 3회, 100ml의 아세톤으로 다시 1회 세척하였으며 이것을 110℃에서 2시간 건조시켜 함량이 될 때까지 제습기에 방치한 후 전자천평으로 0.1mg의 오차내에서 1g으로 평량하였다. 그 뒤 환류 냉각기를 부착시킨 둥근 플라스크에 넣고 유해금속 측정용 황산(純正化學株式會社, 日本) 10ml로 흡습시킨

후 유해금속 측정용 질산(純正化學株式會社, 日本) 15ml를 가지고 열판상에서 가열하여 흰 연기의 발생이 끝나고 무색이나 담황색이 될 때까지 회화를 계속하였다. 냉각시킨 뒤 용량 플라스크에 옮겨, 탈 이온수로 50ml가 되게하여 이를 시험용액으로 하였다. 수은 측정은 시험용액을 정확히 10ml 취하여 원자흡광분광광도계(IL 551)를 본체로 한 Atomic Vapor Accessory(IL 440)를 사용하여 환원 기화법을 사용하였다.

### III. 성 적

표 1에서 각 군간의 연령 분포가 달랐으므로 연령에 따른 수은의 함량을 보았다 같은 군 내에서는 어떠한 연령층 사이에서도 통계학적인 차이가 없었으며, 대조군의 연령층인 13세 이하 군과 14세 이상군으로 나누어 비교하여도 차이가 없었다(표 2).

각 군의 수은 농도를 남녀별로 분석한 결과, 남자의 I 군, II 군 및 여자의 II 군에서 대조군에 비해 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며(p<0.01 혹은 p<0.001) 여자의 I 군에서도 통계학적인 유의성은 없었으나 대조군에 비해 다소 높았다. 또한 남녀 모두 I 군과 II 군 사이에 유의한 차이가 있었다(p<0.01, p<0.001). 그리고 I 군에서는 남녀간에도 유의한 차이가 있었으며(p<0.01) 다른 군에서도 여자에 비해 남자에게 다소 높은 경향을 보였다(표 3).

수은의 함유 정도별로 관찰하여 미국의 Doctor's Data Inc.에서 정상치로 제시한 농도인 3ppm 이상인 아동의 분포를 보았다. 남녀 모두 II 군에서 대조군에 비해 그 비율이 유의하게 높았으며(p<0.001), I 군에 비교하여 불

때도 유의하게 높았다( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). 그러나 남녀의 차이는 없었다. 그리고 미나마타병에서 독성을 일으킨 최소의 수은 농도를 근거로 산출한 일본에서의 안전치인

6ppm이상인 아동은 대조군에서는 없었으며 남자 I 군에서 2명, 남자 II 군에서 3명, 여자 I 군에서 1명 등 모두 6명이었다(표 4).

**Table 2.** Mercury contents of hair by age group

Unit : ppm

Sex	Age(yrs)	No.	Control	No.	Group I	No.	Group II
<b>Male</b>							
	6- 7	5	2.22±1.32	5	2.96±0.38	4	3.69±1.99
	8- 9	9	2.06±0.96	11	2.26±0.77	3	3.93±1.41
	10-11	18	2.21±0.85	14	2.76±1.17	8	3.00±1.49
	12-13	31	2.23±1.03	13	3.14±1.91	5	3.33±0.78
	Subtotal	63	2.20±0.97	43	2.77±1.31	20	3.36±1.38
	14-15			15	3.01±1.35	19	3.15±0.94
	16-17			19	2.51±0.81	19	3.23±1.31
	18-19			7	2.76±1.10	6	2.99±1.37
	20-			4	2.81±1.17	24	3.40±0.91
	Subtotal			45	2.75±1.08	68	3.25±1.07
<b>Female</b>							
	6- 7	4	2.25±1.39	4	1.93±0.55	2	3.44±1.14
	8- 9	16	2.14±0.92	6	2.29±0.85	2	5.03±1.69
	10-11	19	2.11±0.78	8	2.31±0.43	11	2.88±0.81
	12-13	15	1.73±0.60	10	2.38±0.90	15	2.99±0.90
	Subtotal	54	2.02±0.83	28	2.28±0.71	30	3.12±1.02
	14-15			5	2.92±1.11	8	2.82±0.82
	16-17			4	2.17±0.77	12	2.85±1.11
	18-19			4	1.51±1.08	14	3.16±0.97
	20-			3	2.27±0.51	13	3.04±0.79
	Subtotal			16	2.36±0.82	47	2.99±0.92

**Table 3.** Mercury contents of mentally retarded and control group by sex

( ) : range

Group	Male		Female	
	No.	Hg (ppm)	No.	Hg (ppm)
Control	63	2.20±0.97 (0.92 - 4.49)	54	2.20±0.83 (0.82 - 4.46)
Mentally retarded	176	3.02±1.19**	121	2.76±0.98**
Group I	88	2.76±1.19*+ (1.35 - 9.11)	44	2.31±0.75 (1.38 - 4.22)
Group II	88	3.27±1.14*** (1.22 - 6.65)	77	3.04±0.96***# (1.42 - 6.22)

\* :  $p<0.01$ , \*\* :  $p<0.001$  (compared with control)

# :  $p<0.01$ , \*\*\* :  $p<0.001$  (compared with group I)

+ :  $p<0.01$  (compared with same group of female) by Student's t-test

**Table 4.** Percent distribution of mercury contents in hair of the children

Sex	Hg (ppm)	Control		Group I		Group II	
		No.	%	No.	%	No.	%
Male	> 6	0	0.0	2	2.3	3	3.4
	3 - 6	14	22.2	23	26.1	43	48.9
	Subtotal	14	22.2	25	28.4	46	52.3*#
	≤3	19	77.8	63	71.6	42	47.7
	Total	63	100.0	88	100.0	88	100.0
Female	> 6	0	0.0	0	0.0	1	1.3
	3 - 6	8	14.8	6	13.6	34	44.2
	Subtotal	8	14.8	6	13.6	35	45.5*#
	≤3	46	85.2	38	86.4	42	54.5
	Total	54	100.0	44	100.0	77	100.0

\* : p<0.001 (compared with control)  
# : p<0.01, #\* : p<0.001 (compared with group I) by z-test

**Table 5.** Mercury contents in hair by degree of mental retardation

Group	IQ	Male		Female	
		No.	Hg (ppm)	No.	Hg (ppm)
Control		63	2.20±0.97	54	2.02±0.83
Group I	Dependent < 25	20	2.90±0.87**	10	2.21±0.69
	Trainable 25 - 49	43	2.68±1.28*	24	2.30±0.76
	Educable 50 - 74	25	2.78±1.29*	10	2.24±1.12
Group II	Dependent < 25	23	2.81±1.05*	23	3.29±1.05***#
	Trainable 25 - 49	53	3.44±1.14***#*#	39	2.86±0.88***#
	Educable 50 - 74	12	3.43±1.12**	15	3.11±0.98***

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001 (compared with control)  
# : p<0.01, #\* : p<0.001 (compared with group I)  
+ : p<0.05 (compared with the dependent of group II) by Mann-Whitney U test  
Educable included the slower-learners(IQ. 75-89; i.e. 3 males and 1 female in group I, 1 male and 3 females in group II)

정신지체군을 다시 지체정도별로 나누어 수은함량을 보았다. 남자의 경우에는 I 군과 II군의 모든 지능군에서 대조군과 통계학적으로 유의한 차이가 있었지만(p<0.05, p<0.01, p<0.001) 여자의 경우에는 II군에서만 유의한 차이가 있었다(p<0.001). 그러나 남자 I 군의 훈련가능급이 보호급에 비해 유의한 차이(p<0.05)가 있었을 뿐, 지능군에 따른 유의한 차이는 없었다(표 5).

정신지체아를 현재의 동반 질환에 따라 분류하여 대조군과 비교해 보았다. 남녀 모두 질병 유무를 모르는

경우와 몽고증이 있는 경우에서 대조군과 유의한 차이가 있었으며(p<0.001, p<0.05) 간질이 있는 경우에는 대조군에 비해 통계학적인 차이가 없었다. 그리고 뇌성마비가 동반된 경우에는 남자에서, 자폐증이 있는 경우에는 여자에서 대조군과 유의한 차이가 있었다(p<0.05)(표 6).

정신지체와 관계 있을 수 있는 과거력에 따라 분류하여 대조군과 비교하였다 여기서 II군의 경우는 과거력에 대한 조사, 기록이 불가능하므로 분석 대상에서 제외시켰다. 그 결과 외상, 약물중독, 난산, 뇌막염과 같은 외적

**Table 6.** Mercury contents in hair by concomitant disease of the children

Concomitant disease	Male		Female	
	No.	Hg (ppm)	No.	Hg (ppm)
Control	63	2.20±0.97	54	2.02±0.83
Mentally retarded				
Unknown	130	3.05±1.18**	94	2.84±0.95**
Down's syndrome	24	2.82±1.12*	15	2.47±0.73*
Epilepsy	13	2.79±1.26	7	2.27±1.20
Cerebral palsy	5	3.74±1.73*	2	2.50±1.14
Autism	6	3.38±0.92	2	4.14±0.49*
Microcephaly	-	1	1	2.68

\*\* : p<0.001, \* : p<0.05 compared with control by Mann-Whitney U test

요인으로 작용했을 수 있는 경우와 특별한 과거력이 없는 경우에는 대조군에 비해 유의한 차이가 있었으나 발작, 대사성 질환과 같이 내적 요인으로 작용했을 수 있는 과거력이 있는 경우에는 차이가 없었다(표 7).

현재 동반하고 있는 장애의 정도에 따라 분류하여 대조군 및 특별한 장애가 없거나 조사가 안된 경우와 비교하였다. 대조군에 비해서는 남녀 모두 장애가 없거나 모르는 경우, 언어장애, 지체부자유, 정서장애 및 이중장애가 있는 경우에서 유의한 차이가 있었으며(p<0.05, p<0.01, p<0.001), 다만 감각장애, 삼중장애가 있는 경우는 여자군에서만 유의한 차이가 있었다(p<0.05, p<0.01). 그

**Table 7.** Mercury contents in hair by past history of the children

Past history	No.	Hg (ppm)
Control	117	2.12±0.91
Unknown	109	2.55±0.91**
Exogenous factor	15	3.36±1.88*
Trauma	6	3.82±2.79
Drug	5	3.30±1.03
Difficult delivery	2	3.14±1.78
Encephalitis	2	2.36±0.23
Endogenous factor	8	1.96±0.51*
Convulsion	6	1.78±0.44
Metabolic disease	2	2.49±0.28

\* : p<0.05, \*\* : p<0.001 (compared with endogenous factor group) by Mann-Whitney U test

러나 정신지체의 경우에는 각 장애군간에 유의한 차이가 없었다(표 8).

수은 농도에 따라 장애 유형의 차이를 관찰해 보았다. 즉 기록이 안되었거나 모르는 경우가 31.3%이었으며, 장애 유형이 분명하게 나타나 있는 경우 69% 중에서 가장 많은 것은 언어장애로서 40.7%이었다. 다음이 지체부자유와 정서장애로서 각각 16.5%, 15.5%이었으며 식이 이상이 초래된 경우가 6.1%이었다. 한편, 장애의 중복 정도를 보면 역시 언어장애와 지체부자유, 언어와 정서장애가 각각 4.7%, 3.4%로서 가장 많고 다음이 언어와 식이장애 및 언어와 청각장애이었다. 언어와 정서장애가

**Table 8.** Mercury contents in hair by accompanying handicap of the children

Accompanying handicap	Male		Female	
	No.	Hg (ppm)	No.	Hg (ppm)
Control	63	2.20±0.97	54	2.02±0.83
Unknown	58	2.93±1.03***	35	2.74±0.85***
Single	99	3.03±1.18***	63	2.78±0.96***
Speech disturbance	53	2.98±1.07***	30	2.85±1.03***
Crippled	19	3.35±1.55**	13	2.79±0.70**
Emotional disturbance	17	2.95±0.97**	13	2.70±1.08*
Sensorium disturbance	5	2.96±1.69***	2	3.58±1.50*
Feed disturbance #	5	2.76±1.23	4	2.08±0.31
Cardiac problem	-	-	1	3.00
Double	18	3.23±1.69*	20	2.66±1.09**
Tripple	1	2.60	3	3.70±0.94**

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001 (compared with control)  
# : including unbalanced diet and pica

**Table 9.** Frequency of handicap type by hair mercury content level(ppm)

Type of hadicap	≤3		~6		6<		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Unknown	56	30.3	37	34.9	—	—	93	31.3
Speech	78	42.2	38	35.9	5	83.3	121	40.7
Emotion	26	14.1	19	17.9	1	16.7	46	15.5
Crippled	30	16.2	15	14.2	4	66.7	49	16.5
Hearing	3	1.6	4	3.8	—	—	7	2.4
Vision	4	2.2	2	1.9	—	—	6	2.0
Unbalanced diet	12	6.5	3	2.8	—	—	15	5.1
Pica	3	1.6	—	—	—	—	3	1.0
Cleft lip	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Others	3	1.6	1	0.9	—	—	3	1.0
Speech + Emotion	6	3.2	3	2.8	1	16.7	10	3.4
Speech + Crippled	10	5.4	1	0.9	3	50.0	14	4.7
Speech + Hearing	2	1.1	2	1.9	—	—	4	1.3
Speech + Vision	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Speech + Unbalanced diet	3	1.6	1	0.9	—	—	4	1.3
Speech + Other	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Emotion + Vision	—	—	1	0.9	—	—	1	0.3
Emotion + Unbalanced diet	—	—	1	0.9	—	—	1	0.3
Emotion + Pica	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Emotion + Cleft lip	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Crippled + Other	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Vision + Pica	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Speech + Emotion + Crippled	—	—	2	1.9	—	—	2	0.7
Speech + Emotion + Unbalanced diet	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
Speech + Unbalanced diet + Pica	1	0.5	—	—	—	—	1	0.3
No. of subjects	185		106		6		297	

가장 문제시 되는 것으로 보인다.

그리고 수은농도가 6ppm이 초과되는 6명중 5명이 언어장애가 있었으며 지체부자유가 4명, 정서장애가 1명이 었다. 그중 4명이 중복장애를 나타내고 있다. 3-6ppm이 되는 경우의 106명중 역시 언어장애 35.9%, 정서장애 17.9%, 지체부자유 14.2%의 순이며 중복장애인 경우는 11명으로서 10.4%에 해당되는 3ppm이하의 군 185명의 경우에도 장애의 분포 순위는 같으며 중복장애가 29명으로 15.7%이었다(표 9).

#### IV. 고 찰

정신지체의 원인은 여러가지가 있을 수 있겠으나 60년대 이후 중금속과의 관련성에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(Gibson등, 1967; Bicknell등, 1968; David등, Youroukos등, 1978; Thatcher등, 1982; Marlowe등, 1983). 우리나라에서는 김두희등(1989)이 정신지체아군의 두발중 납 함량을, 박순우등(1989)이 카드뮴 함량을 조사하여 정상아군에 비해 더 높은 것을 보고한 바 있으나

저자는 수은의 영향을 고찰해 보고자 정신지체 시설아동을 대상으로 하여 역시 두발 중 수은 함량을 조사하였다.

체내 중금속 함량을 측정하기 위한 방법으로써 두발을 시료한 사용하는 방법을 여러 학자에 의해 이미 시도된 바 있다(Klevay, 1973; Petering등, 1973; Thatcher등, 1982). 단 한번의 혈중 수은량 측정치로써는 과거의 혈중 수은 농도를 알 수 없으므로 정확한 표적조직의 수은에 대한 노출을 반영해 주지 못한다. 즉 수은에 대한 노출이 수 주 전에 일어나서 표적장기 조직의 농도는 매우 높더라도 혈중 농도는 정상일 수 있다(Kershaw등, 1980). 이에 반해 두발중 수은 측정의 장점으로서서는 두발 생성 시의 수은농도는 혈중 수은농도에 비례하고 일단 수은이 두발의 한 성분으로 들어가게 되면 그 농도는 바뀌지 않으며 유기, 무기 형태가 두발내에 다른 기전, 다른 비율로 들어가더라도 일단 두발내에서는 그 형태가 바뀌지 않는다는 것이다(Phelps등, 1980). Phelps등(1980)에 의하면 새로 자란 두발중의 수은 함량은 혈중 농도의 약 300배가 되며 유기수은과 무기수은의 함량관계는 두발과 혈중 모두에게서 통계학적으로 선형관계가 있는데 평균

무기/유기수은의 비는 혈중에서 0.05, 두발에서 0.21이 된다고 하였다. 또한 두발 중 전체 수은농도와 무기/유기비는 시간에 따라 일정하였으며 특히 수은에 만성적으로 노출되어 대사균형이 이루어진 경우에는 매일의 수은 섭취량에 비례하게 된다. 따라서 두발의 시간에 따른 분석은 계속되는 노출의 관찰에 보다 간단하고 정확한 방법이 될 것이라고 하였다. 이외에도 시료채취의 용이성, 보관의 간편성 등의 이유(Hilderbrand와 White, 1974)로 본 연구에서도 두발을 시료로 사용하였다.

일반인에서의 수은의 두발 중 함량에 대한 보고는 나라마다 다르다. 두발 중 총 수은 함량이 일본의 경우 5.14 µg/g, 영국이 2.88µg/g, 노르웨이가 1.80µg/g, 미국이 1.90 µg/g인 반면 스페인에서는 7.96µg/g으로 보고된 바 있다(Gonzalez등, 1985). Kyle과 Chani(1982)에 의하면 파푸아 뉴기니아의 주민들을 대상으로 조사하였더니 물고기를 주식으로 하는 지역 주민의 두발 중 수은 함량이 수은 오염 지역에서는 15.5µg/g이고 수은 오염 유무를 모르는 지역이 6.4µg/g이었으며 물고기를 주식으로 하지 않는 지역에서는 2.4µg/g이었다고 하였다. 그리고 Sumino등(1975)이 일본에서 부검 사체에서 조사한 바에 의하면 남자가 5.4µg/g(메틸수은이 3.4µg/g), 여자가 3.0 µg/g(메틸수은이 1.8µ g/g)이었다. 한편 우리나라에서는 농촌지역의 남자 평균이 2.51µg/g, 여자가 1.41µg/g, 전체 평균이 1.96µg/g이라는 보고가 있다(박재주 등, 1982). 본 연구에서도 대조군 남자가 2.20µg/g, 여자가 2.02µg/g으로써 통계학적 유의성은 없지만 남자에서 다소 높았으며 연령에 따른 차이는 없었다.

수은의 주요 표적장기는 중추신경계와 신장이다. 특히 금속수은증기와 알킬수은 화합물은 blood-brain barrier (BBB)를 쉽고 빠르게 통과한다(Raffle등, 1987). 수은은 sulfhydryl기에 대해 매우 특이적이며 또한 거의 대부분의 단백질이 금속과 반응하는 sulfhydryl기를 포함하고 있기 때문에 수은은 단백질이 포함된 대부분의 기능, 특히 여러 효소의 기능을 방해할 수 있다. 이 단백질 합성을 저해하는 작용으로 인해 중추신경증상이 나타날 수 있다(Clarkson, 1972). Yoshino등(1966)이 고양이를 대상으로 실험한 바에 의하면 메틸수은을 정맥주사한 뒤 신경증상이 나타나지 않은 경우에도 뇌에서 57%의 단백질 합성저하가 일어났으며 이것은 불가역적인 세포손상으로 인한 산소 소모 감소와 형태학적 변성을 초래한다고 하였다. Steinwall과 Olsson(1969)은 유기수은과 무기수은을 쥐에게

혈관 투여한 후 뇌혈관의 투과성 장애로 인해 뇌부종을 일으켰으며 아미노산의 혈중-뇌 교환 장애가 나타났다고 하였다. Fukuda(1971)는 토끼를 통한 실험에서 수은증기를 계속 흡인 시킨 뒤 자발성 진전(spontaneous tremor)과 간대경련(clonus)을 일으켰으며 진전과 중추신경의 수은함량과는 어느 정도의 인과관계가 있다고 하였는데 간대경련을 일으킨 토끼에서 그렇지 않은 경우에 비해 소뇌, tegmentum, thalamus의 수은 함량이 더 높았다고 하였다. Kumamoto등(1986)은 메틸염화수은(methylmercury chloride, MMC)을 쥐에 피하 주사한 결과 말초신경의 대부분의 수초섬유(myelinated fiber)가 축색변성(axonal degeneration)을 일으켰으며 MMC가 위성세포(satellite cell)와 Schwann 세포에 우선적으로 작용하여 단백질 합성이나 운반을 방해함으로써 신경절 세포나 축색의 기능저하를 더욱 악화시킨다고 하였다. Charbonneau등(1974)은 고양이에게 메틸수은을 투여 결과 대뇌 및 소뇌 피질 세포 파괴를 일으키는 것을 관찰하였으며 Okinaka등(1964)도 피부의 진균에 의한 감염을 치료하기 위해 메틸수은이 함유된 연고를 바른 뒤 일어난 유기수은 중독의 증례보고를 통해 이들에게서 대뇌 피질세포의 손실과 변성이 있었다고 하였다. Vroom과 Greer(1972)는 수은증기에 중독된 9명의 근로자들의 증상을 살펴본 결과 무기수은 중독시에도 유기수은 중독 때와 비슷한 신경증상을 일으킬 수 있다고 하였으며, 특히 기억력 저하는 대뇌피질의 측두엽이 침범받은 것을 시사해 주는 것이라고 하고 EEG상에서도 이의 소견이 나타났다고 하였다. Zillmer등(1986)은 자살목적으로 금속수은을 혈관주사한 백인남자의 증례보고에서 기억력, 주의집중력, 문제해결능력 등 인지기능 저하가 있었다고 하였다.

본 연구에서는 정신지체아군 중 남자의 두발 중 평균 수은함유량이 3.02ppm인데 비하여 대조군의 평균이 2.20 ppm, 여자의 경우는 정신지체아군이 2.76ppm, 대조군이 2.02ppm으로써 정신지체아군과 정상아군 사이에 유의한 차이가 있었다. 이는 학습지진아를 대상으로 연구한 Phil과 Parkes(1977)의 결과(학습지진아; 14ppm, 대조군; 15ppm)나 정신지체아를 대상으로 한 Marlowe등(1983)의 연구 결과(정신지체아; 0.53ppm, 대조군; 0.45 ppm)에서 대조군과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다는 것과는 차이가 있었다. 그러나 본 연구에서 정신지체아 중 부모가 양육하는 군(I군)의 여자에서는 평균이



2.31ppm으로써 여자대조군 2.02ppm과 통계학적인 차이가 없었다. 본 연구의 결과를 미국의 Doctor's Data Inc. (1979)에서 제시하고 있는 두발 중 수은함량 정상치인 3ppm을 근거로 하여 3ppm이상인 아동의 분포를 보면, 부모가 양육하는 군(I군)에서는 남녀 모두 대조군과 차이가 없는 반면 고아로 성장한 군(II군)은 유의한 차이가 있었다. 그리고 양육 부모의 유무에 따라서도 유의한 차이가 있었다. 그러나 어떤 학자(Anonymous, 1973)는 미나마타병에서 독성을 나타낸 최소 수은농도인 두발중 함량 60ppm을 근거로 제시하여 그 1/10에 해당하는(ten fold factor) 6ppm이하를 안전치라고 하였는데, 이것을 기준으로 했을 때 6ppm이상인 경우는 6명에 지나지 않아 이들 대부분이 정상치에서 크게 벗어나지는 않는 것으로 나타났다.

그런데 본 연구에서 이들중 동반된 장애의 유형을 보면 약 31%에서는 동반장애 유형이 기록되지 않았지만 약 69%에서는 장애가 있다고 기록하고 그중 언어장애가 약 40.7%로 가장 많고 다음이 지체부자유 16.5%, 정서장애 15.5%, 이미증 6.1%순으로 많았다. 특히 이들은 서로 중복되어 있는 경우가 44명으로 14.8%를 차지하고 있다. 이 경우도 언어장애와 정서장애가 3.4%이고 언어장애와 청력장애, 시력장애, 이미증 등과의 중복이 3.2%로 나타나 역시 언어장애가 가장 문제가 있는 것으로 나타나 Pesce와 Kapla(1987)의 성서에서의 청력과 시력장애가 가장 많이 나타난다는 것과는 다소 다른 것 같다. 그리고 이는 감각피질(sensory cortex)의 위축 또는 퇴행성 변화가 있다고 주장하였다. 본 연구에서 약 31%에 해당하는 장애가 없는 경우도 찾아내지 못한 어떤 이유가 있으리라고 추측되므로 더욱 추구해 볼 필요성이 있다고 본다.

그리고 Langolf등(1981)이 금속수은 증기에 노출된 근로자를 대상으로 연구한 바에 의하면 일반적인 의학적 진단 방법으로는 찾아내지 못한 수은의 신경에 대한 독성영향을 행태시험으로써 찾아내었다고 하였다. 또한 요 중 수은량이 증가할 수록 단기 기억력(short-term memory)의 감소 경향이 있었으며 1년간의 평균 요중 수은량이 0.1mg/L 증가시의 기억력 저하는 10년의 노화와 맞먹는 것이라고 하고 기억력에 대한 영향은 요중 수은량이 0.5mg/L에서도 일어났다고 하였다. Levine등(1982)도 금속수은 증기에 노출된 근로자에게서 말초신경(우측 척골신경)의 운동 및 감각신경의 전도 속도가 감소되었다고 하였으며 이는 중추신경에 대한 독성작용을 일으킬

수 있는 요중 농도인 0.50mg/L 이하에서도 일어났다고 하였다. 이상과 같은 보고로 미루어 볼 때 본 연구에서 정신지체아군에서의 수은 함량이 정상치보다 크게 벗어나지는 않았으나 정상아군보다는 유의하게 높은 것으로 보아 수은이 정신지체의 직접적인 원인은 아니더라도 하나의 기여인자로 작용하였을 가능성은 배제하지 못할 것으로 생각된다.

본 연구에서 동반된 질환 중 유전적 질환인 다운씨 증후군에 있어서 두발 중 수은 함량이 대조군과 통계학적으로 유의하게 높다는 것은 이와 꼭 같은 방법으로 실시한 김두희 등(1989)의 두발 중 납의 함량, 박순우 등(1989)의 두발중 카드뮴 함량의 분석에서는 대조군과 유의한 차이가 없다고 보고한데 비하여 무언가 관련이 있음을 더욱 강력하게 시사하고 있다.

또한 고아원에서 자라는 정신지체아군과 가정이 있는 정신지체아군간에도 수은함량의 유의한 차이가 나타난 것은 생활환경이나 식생활의 차이로 생각된다. McAlpine과 Singh(1986)에 의하면 시설기관에 있는 정신지체아의 9.2%에서 이식증이 있었고 지능이 떨어질 수록 이식증의 빈도가 높았으며 이때 이식물질로는 의류(30.5%), 먼지나 쓰레기(16.6%), 장난감(10%)-종이(8.3%)의 순서라고 하였는데 대부분의 시설기관에서는 이식증을 중요한 문제로 인식하지 않고 있었다고 한다. 그리고 Mykkanen등(1986)이 핀란드에서 조사한 바에 의하면 수은의 체중 1kg당 1일 섭취량이 3세군에서는 0.22 $\mu$ g인데 비해 18세군에서는 0.06 $\mu$ g으로 3배 이상의 차이가 있었다고 하였다. 그에 의하면 식생활 습관으로 볼 때 물고기의 섭취가 많을 수록 수은량이 높았는데 전체 에너지 섭취량 중 물고기에 의한 것은 1%에 지나지 않는 반면 수은은 33%가 물고기에 의한 것이라고 하였다. Yamaguchi등(1975)도 두발 중 수은량, 특히 메틸수은량과 물고기 섭취 정도와 상관성이 있었다고 하였다. 수은의 생물학적 반감기가 두발 중에서 33-120일 정도(Anonymous, 1973)이고 두발이 하루에 0.4mm 정도 성장(De Antonio, 1982)하는 것을 감안하여 본 연구에서 시료로 채취한 후두부 두발이 2-3개월 정도 성장한 것으로 추정할 때 이것이 유아기 때의 수은함량을 직접 반영해 주지는 못하더라도 현재의 두발 중 수은함량이 정상군보다 더 높다는 것은, 유년기에도 수은에 대한 더 많은 노출 기회가 있었을 수도 있을 것이며 특히 뇌조직 성장에 영향을 끼칠 수 있었을 것으로 추측할 수도 있을 것 같다. 이에 따라 이들 기관의

생활환경, 특히 흙이나 먼지등의 수은 함량과 함께 평소의 식습관, 유년기 시의 성장환경에 대한 조사도 추후 이루어져야 될 것으로 생각된다.

한편 Tuschiya등(1984)은 중금속의 태반 통과에 대한 연구에서 총수은과 메틸수은의 농도가 산모혈보다 태반혈(placental blood)에서 더 높았으며 산모혈과 태반혈의 농도 사이에 유의한 상관관계가 있었다고 하였다. 또한 태반에서의 높은 농도로 보아 태반이 수은의 통과를 방지하고 있는 것 같으나 제대혈(cord blood)의 농도가 산모혈중 농도보다 더 높은 것으로 보아 그 역할이 완전하지는 않은 것 같다고 하였으며, Lauwerys등 (1978)은 태반의 수은에 대한 걸름역할(barrier role)이 전혀 없다고 하였다. Spyker등(1972)은 메틸수은에 대한 감수성이 태아에서 훨씬 더 크므로 태아에 대한 수은노출에 대해 관심을 기울여야 한다고 하였다.

본 연구의 결과로 볼 때 수은이 정신지체의 유일한 원인이라고는 할 수 없겠으나 정신지체에 대한 기여인자로 어느정도 작용했을 가능성을 배제할 수는 없겠으며 앞으로 이들의 생활공간에 대한 환경조사, 식생활 및 식습관 조사 등을 통해 정신지체아군에서의 수은에 대한 노출기회를 관찰, 조사하여 정신지체와 수은간의 인과관계를 밝혀야 할 것으로 생각된다.

## V. 요 약

정신지체와 인체내 수은 함량과의 관련성을 보기 위해 정신지체아 297명(가정이 있는 아동이 다니는 특수학교 1개교의 132명과 고아로 구성된 특수학교의 165명)을 대상으로, 학업성적이 중위권 이상인 일반 국민학교 학생 117명을 대조군으로 하여 두발 중 수은 함량을 원자흡광광도계를 사용하여 측정, 비교해 보았다.

두발 중 수은 함량의 연령에 따른 차이는 없었다.

정신지체아에서 대조군에 비해 두발 중 수은량이 유의하게 높았다(남자 지체아 : 3.02ppm, 남자 대조군 : 2.20ppm, 여자 지체아 : 2.76ppm, 여자 대조군 : 2.02ppm). 가정이 없는 정신지체아의 경우 수은 함량이 남자가 3.27ppm, 여자가 3.04ppm으로써 대조군의 남자 2.20ppm, 여자가 2.02ppm에 비해 각각 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며, 가정이 있는 정신지체아군은 남자가 2.76ppm, 여자가 2.31ppm으로써 남자는 대조군과 유의한 차이가 있었으나 여자는 대조군에 비해 수치는 다소 높았으나

통계학적 유의성은 없었다. 그리고 가정이 없는 정신지체아가 가정이 있는 경우에 비해 유의한 차이가 있었다. 그러나 정신지체 정도와 두발 중 수은 함량과는 유의한 차이가 없었다.

동반 질환은 Down씨 증후군, 전간, 뇌성마비, 자폐증 등이 있었으며, 남자의 경우에는 Down씨 증후군과 뇌성마비를 동반한 경우, 여자에서는 Down씨 증후군과 자폐증을 동반한 경우에 대조군에 비해 통계학적으로 유의하게 높았다. 그리고 동반된 질환이 없는 경우가 대부분이나 이들과 대조군에 비해 유의하게 높았다.

동반된 장애유형은 언어장애가 40.4%로 가장 많았고 지적부자유, 정서장애의 순이며 중증장애자는 두발중 6ppm이 초과되는 6명중 66.7%, 3-6ppm군에서는 10.4%, 3ppm이하군에서는 15.7%이었다.

본 연구의 결과로 볼 때 정신지체아군에서 수은에 노출될 기회가 더욱 많았을 것이며 이것이 정신지체의 한 인자로 작용했을 가능성을 배제할 수는 없을 것으로 추측된다. 이에 따라 이들의 생활공간에 대한 환경조사, 식생활 및 식습관 조사 등을 통해 정신지체와 수은과의 인과관계를 밝혀 나가야 할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 김두희, 김옥배, 장봉기. 정신지체아의 두발 중 중금속 함량 I. -납과의 관련성-. 예방의학회지 1989; 22(1): 125-135
- 박순우, 김두희, 이종영. 정신지체아의 두발 중 중금속 함량 II. -카드뮴 및 아연과의 관련성-. 예방의학회지 1989; 22(2) : 215-222
- 박재주, 조윤승, 정성웅, 신동영, 이우석, 서정현, 김만호, 김형석, 최중명. 농촌 지역 주민의 중금속 함량에 관한 조사 연구. 국립환경 연구소 1982, 쪽. 51-61
- Anonymous. Mercury levels in the blood and hair of individuals eating methylmercury-contaminated fish. Nutr Rev 1973; 31(2): 53-55
- Bicknell J, Clayton BE, Delves HT. Lead in mentally retarded children. J Men Def Res 1968; 12: 282-293
- Cavanagh JB. Long term persistence of mercury in the brain. Brit J Ind Med 1988; 45: 649-651
- Charbonneau SM, Munro IC, Nera EA, Willes RF, Kuiper-Goodman K, Iverson F, Moodie CA, Stoltz DR, Armstrong FAJ, Uthe JF, Grice HC. Subacute toxicity of methylmercury in the adult cat. Toxicol Appl Pharmacol

- 1974; 27: 569-581
- Clarkson TW. *The pharmacology of mercury compounds. Ann Rev Pharm Toxicol* 1972; 12: 375-406
- David O, Hoffman S, McGann B, Sverd J, Clark J. *Low lead levels and mental retardation. Lancet* 1976; 1376-1379
- De Antonio SM, Katz SA, Scheiner DM, Wood JD. *Anatomically-related variations in the trace-metal concentrations in hair. Clin Chem* 1982; 28(12): 2411-2413
- Doctor's Data Inc. 1979, P.O. Box 111. 30W 101 Roosevelt Road West Chicaco, IL 60185
- Gibson SLM, Lam CN, McCrae WM, Goldberg A. *Blood lead levels in normal and mentally deficient children. Arch Dis Childh* 1967; 42: 573-578
- Harada M. *Minamata disease: A medical report in the book. Minamata of Smith and Smith(1975), pp. 180-192*
- Harada M. *Neuropsychiatric disturbances due to organic mercury poisoning during the prenatal period. Psychiat Neurol Japan* 1964; 66: 429. cited from Smith WE, Smith AM, *Minamate. NY, An Alskog-Sensorium Book, Holt, Rinehart and Winston, 1975*
- Hiderbrand DC, White DH. *Trace-elemental analysis in hair: an evaluation. Clin Chem* 1974; 20(2): 148-151
- Fukuda K. *Metallic mercury induced tremor in rabbits and mercury content of the central nervous system. Brit J Industr Med* 1971; 28: 308-311
- Gonzalez MJ, Rico MC, Hernandez LM, Baluja G. *Mercury in human hair: a study of residents in Madrid, Spain. Arch Environ Health* 1985; 40(4): 225-228
- Kershaw TG, Clarkson TW, Dhahir PH. *The relationship between blood levels and dose of methylmercury in man. Arch Environ Health* 1980; 35: 28-36
- Kitamura S, Katsuki S, Kawamori Y, Tokuomi H, Nagano S, Osaki M, Seven E, Takeuchi T, Rokutanda G, Irukayama K, Sera K. *Kumamoto Med J* 1957; (suppl, January and June), cited from McAlpine D, Araki S. *Minamata disease: an unusual neurological disorder caused by contaminated fish. Lancet* 1958: 629-631
- Klevay LM. *Hair as a biopsy material. Arch Environ Health* 1973; 26: 169-172
- Kumamoto T, Fukuhara N, Miyatake T, Araki K, Takahashi Y, Araki S. *Experimental neuropathy induced by methyl mercury compounds: autoradiographic study of GABA uptake by dorsal root ganglia. Eur Neurol* 1986; 25(4): 269-277
- Kyle JH, Ghani N. *Methylmercury in human hair: a study of a Papua New Guinean population exposed to methylmercury through fish consumption. Arch Environ Health* 1982; 37(5): 266-271
- Langolf GD, Smith PJ, Henderson R, Whittle H. *Measurements of neurological function in the evaluations of exposure to neurotoxic agents. Ann Occup Hyg* 1981; 24(3): 293-296
- Lauwerys R, Buchet JP, Roels H, Hubermont G. *Placental transfer of lead, mercury, cadmium, and carbon monoxide in women I. Comparison of the frequency distribution of the biological indices in maternal and umbilical cord blood. Environ Res* 1978; 15: 278-289
- Levine SP, Cavender GD, Langolf GD, Albers JW. *Elemental mercury exposure: peripheral neurotoxicity. Brit J Industr Med* 1982; 39: 136-139
- Marlow M, Errena J, Jacobs J. *Increased laad and cadmium burdens among mentally retarded children and children with borderline intelligence. Am J Ment Def* 1983; 87(5): 477-483
- Matsumoto H, Koya G, Takeuchi T. *Fetal Minamata disease: a neuropathological study of two cases of intrauterine intoxication by a methyl mercury compound. J Neuropathol Exp Neurol* 1965; 24(4): 563-574
- McAlpine C, Singh NM. *Pica in institutionalized mentally retarded persons. J Ment Def Res* 1986; 30: 171-178
- McAlpine D, Araki S. *Minamata disease: an unusual neurological disorder caused by contaminated fish. Lancet* 1958: 629-631
- Miller RM, Bethesda. *Prenatal origin of mental retardation: epidemiological approach. J Pediatr* 1967; 71(3): 455-458
- Mykkanen H, Rasanen L, Ahola M, Kimppa S. *Dietary intakes of mercury, lead, cadmium and arsenic by Finnish children. Human Nutrition: Applied Nutrition* 1986; 40A: 32-39
- Okinaka S, Yoshikawa M, Mozai T, Mizuno Y, Terao T, Watanabe H, Ogihara K, Hirai S, Yoshino Y, Inose T, Anzai S, Tsuda M. *Encephalomyelopathy due to an organic mercury compound. Neurology* 1964; 14: 69-76
- Pece AJ, Kapla LA. *Methods in clinical chemistry. St. Louis, Mosby Co., 1987, pp. 405-408*
- Petering HG, Yeager DW, Witherup SO. *Trace metal content of hair. Arch Environ Health* 1973; 27: 327-330
- Phelps RW, Clarkson TW, Kershaw TG, Wheatley B. *Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury. Arch Environ Health* 1980; 35(3): 161-168
- Pihl RO, Parkes M. *Hair element contents in learning disabled children. Science* 1977; 198: 204-206
- Raffle PAB, Lee WR, McCallum RI, Murray R(eds.). *Hunter's diseases of occupations, 7th ed. Boston/Toronto, Little,*

- Brown & Company, 1987, pp. 250-256*
- Smith WE, Smith AM. *Minamata, NY, An Alskog-Sensorium Book Holt, Rinehart and Winston, 1975, pp. 57-192*
- Synder RD. *Congenital mercury poisoning. N Engl J Med 1971; 284(18): 1014-1015*
- Spyker JM, Sparber SB, Goldberg AM. *Subtle consequences of methylmercury exposure: behavioral deviations in offspring of treated mothers. Science 1972; 177: 621-623*
- Steinwall O, Olsson Y. *Impairment of the blood-brain barrier in mercury poisoning. Acta Neurol Scandinav 1969; 45: 351-361*
- Sumino K, Hayakawa K, Shbata T, Kiyamura S. *Heavy metals in normal Japanese tissues. Arch Environ Health 1975; 30: 487-494*
- Thatcher RW, Lester ML, McAlaster R, Horst R. *Effects of low levels of cadmium and lead on cognitive functioning in children. Arch Environ Health 1982; 37(3): 159-166*
- Tsuchiya H, Mitani K, Kodama K, Nakata T. *Placental transfer of heavy metals in normal pregnant Japanese women. Arch Environ Health 1984; 39(1): 11-17*
- Vroom FQ, Greer M. *Mercury vapour intoxication. Brain 1972; 95(2): 305-318*
- Yamaguchi S, Matsumoto H, Katu S, Tateishi M, Shiramizu M. *Factors affecting the amount of mercury in human scalp hair. AJPH 1975; 65(5)484-488*
- Yoshino Y, Mozai T, Nakao K. *Biochemical changes in the brain in rats poisoned with an alkylmercury compound, with special reference to the inhibition of protein synthesis in brain cortex slices. J Neurochem 1966; 13: 1223-1230*
- Youroukos S, Lyberatos C, Philippidou A, Gardikas C, Tsomi A. *Increased blood lead levels in mentally retarded children in Greece. Arch Environ Health 1978; 297-300*
- Zillmer EA, Lucci KA, Barth JT, Peake TH, Spyker DA. *Neurobehavioral sequelae of subcutaneous injection with metallic mercury. Clin Toxicol 1986; 24(2): 91-110*