한국환경보건학회지, 제33권 제5호(2007)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 33, No. 5, pp 345~352(2007)

단 보

혈중수은 노출에 따른 일부 초등학생의 건강영향에 관한 연구

김대선 · 김근배† · 강택신 · 이종화 · 남상훈
국립환경과학원 환경건강연구부
(2007. 10. 11. 접수/2007. 10. 24. 채택)

Health Effects of Mercury Exposure on Some School Children in Korea

Dae-Seon Kim · Guen-Bae Kim† · Tack-Shin Kang · Jong-Hwa Lee · Sang-Hoon Nam
Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research
(Received October 11, 2007/Accepted October 24, 2007)

ABSTRACT

As mercury absorbed into body can cross the blood-brain barrier and react with DNA and RNA. Central nervous system has been known to be affected especially in children. But it was very difficult to know the influences of chronic low-does Hg exposure on the health. Although many studies investigated the affect, most of results were still disparate. In order to investigate the health effects of mercury exposure, several test were conducted for some Korean school children. The general health effects were investigated using blood test, Posturography and computer-based neurobehavioral test was done to examine the affect of Hg into neural responses. About 400 children were chosen for blood test whose blood Hg level were upper and lower 10% of population participated in the nationwide Hg exposure survey. The concentration of calcium and creatine, the number of white and red blood cell showed statistical significance with Hg exposure in blood test. Another 36 children were selected from the same participants for the posturography and neurobehavioral test. The intensity and center frequency of hand tremor which were related to unconsciousness also showed distinct significances. Any general relations with Hg exposure were not found in all test including computer-based neurobehavioral test.

Keywords: health effect, mercury, blood test, posturography, computer-based neurobehavioral test

I. 서 론

수은은 비교적 일찍부터 인류가 사용해온 중금속의 하나로서 이뇨제, 설사제, 매독의 치료제 등의 의약분야와 농업 및 산업분야에서도 광범위하게 사용되어 왔다.[1] 수은의 주요 발생원은 제련공정, 수은전극을 이용한 전해공정, 수은 사용공장(온도계, 기압계, 혈압계, 정류기, 수은등, 촉매), 수은을 포함하는 천연연료의 연소, 기타 1차 · 2차 금속업, 시멘트업, 유리공업, 쓰레기소각, 자동차 매연 등이 발생원이라고 보고되고 있다.[2]

†Corresponding author : Environmental Epidemiology Division, Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research
Tel: 82-32-560-7272, Fax: 82-32-568-2042
E-mail : mykgb@me.go.kr

수은에 대한 위해성이 전 세계에 알려진 것은 1956년 일본 미나마타시에서 발생한 오염사고에 의해서였다. 화학물질(아세트알데히드)의 생산 부산물로 형성된 메틸수은이 인근해안에 장기간 방류되면서 어패류 등 해안생태계를 오염시키고, 이를 섭취한 주민 2,250명이 수은중독증상으로 고통 받은 사건으로, 이후 메틸수은에 의한 공해병은 미나마타병(Minamata Disease)으로 불려지게 되었고 그 증상으로 의진선진전(intention tremor), 식욕부진, 구역질, 설사 등의 증상을 나타내며 더 나아가 언어장애, 지각이상, 신경쇠약 등을 수반하는 정신적, 정서적 불안정과 신경장애를 가져오며 유전학적인 기형발생과 발암성 등을 나타냈다.[3] 이후에도 1976년 이라크에서 유기수은농약에 오염된 곡류로 만든 빵을 먹고 약 500명이 중독되어 사망하였으며, 유사한 사건은 과테말라와 파키스탄에서도 발생하였다. 이러한 국제사회의 수은오염피해 사건은 수은을 유력한

환경오염물질로 각인시켰으며, 수은의 건강피해에 대한 연구를 활성화시키는 계기가 되었다.

정부는 2005년부터 수은오염피해를 줄이고 국가정책 수립의 기초자료를 확보하기 위하여 국민건강영양조사와 연계하여 성인 2000여명을 대상으로 국민혈중중금속조사를 시작하였으며, 지금까지의 조사결과 우리나라 성인은 일부 선진국의 노출수준보다 4-5배 가량 높은 것으로 나타났다.

수은의 주된 인체영향은 주로 뇌손상에 의한 중추신경계 장애로서 성인의 경우 뇌혈관을 통과한 메틸수은은 주로 대뇌 시각피질 뉴우런과 소뇌 뉴우런의 소실을 유발하는 반면, 뇌가 형성되고 발달중에 있는 태아와 어린이의 경우 뇌세포의 분열, microtubule의 형성, 뉴우런이동을 방해하여 성인보다 광범위하고 치명적인 손상을 유발하는 것으로 알려져 있다. 이런 이유로 인해 어린이에 대한 수은노출수준과 건강영향파악은 노출량 저감과 건강피해 예방대책 마련 차원에서 대단히 중요하다고 할 수 있다. 본 연구는 우리나라 어린이의 저농도 수은노출에 의한 건강영향을 확인하기 위한 방법으로서 일반 건강검진에서 보편적으로 실시되고 있는 혈액검사, 신경발달 및 반응변화 확인에 제한적으로 사용되고 있는 체위기록검사와 컴퓨터 신경행동검사를 실시하여 수은 인체노출을 반영하는 항목의 도출 및 검사의 전반적 가능성을 확인하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 대상지역 및 대상자

강원도 원주시 등 전국 26개 지역의 초등학교에 재학중인 4-5학년을 대상으로 실시된 수은노출수준조사에서 참여에 동의한 보호자의 자녀 2,000여명 중, 혈중 수은노출수준이 상위 10%, 하위 10%에 해당하는 학생을 선별하여 혈액검사를 실시하였다. 체위기록 검사와 컴퓨터신경행동검사는 혈중 수은농도가 높은 학생이 가장 많이 재학하고 있는 학교 1곳과 가장 낮은 수준을 보인 1곳을 선정하여 각각 상위 19명, 하위 17명을 선정하여 조사를 실시하였다.

2. 조사내용 및 방법

건강검진을 통하여 얻어진 혈액시료를 이용하여 조사대상자 2,000명에 대한 수은의 생체 노출수준분석 및 백혈구수등 17개 항목에 대하여 혈액검사를 실시하였으며, 혈중 수은노출수준이 상 · 하위 10%에 해당되는 학생들의 결과를 별도로 비교하였다. 또한 신경계 영향을 판단하기 위한 체위기록검사, 컴퓨터신경행동검사는 조사의 편의상 지역노출수준이 최상 · 하위에 속한 학교에 재학중인 학생중 상하 · 위군에 해당하는 일부 학생을 대상으로 조사를 실시하였다.

1) 시료채취

수은 분석과 혈액검사를 위한 혈액 채취는 학교별 초등학생들의 건강검진 시에 이루어졌으며, 혈액은 1회용 주사기를 이용하여 혈액 10 ml(건강 검진 시 기타 혈액검사를 위한 혈액포함)을 채취하였다.

2) 혈중 수은 분석방법

혈중 수은 분석은 자동수은분석기(SP-3DS, 일본 NIC co.)를 사용하여 분석하였고, 모든 혈액(전혈)은 실험 전에 roll-mixer를 이용하여 충분히 교반후 골드아말감법(가열기화법)을 이용하여 분석하였다.

3) 체위기록검사(Posturography)

체위기록검사는 환경독성물질에 의한 중추신경계이상을 조기에 발견하기 위한 도구로서, 경제적이며, 검사시간이 짧고, 해석이 용이할 뿐만 아니라 비침습적이므로 소아들의 전정기능, 손떨림 검사 등을 측정하기에 편리하여 사용하였다. 본조사에 이용된 장비는 'CATSYS 2000'(Danish Product Development Ltd., Denmark)를 이용하여 실시하였다.

(1) 손 떨림 검사(Tremor Test) : 학생이 의자에 앉아서 스타일러스 펜의 앞 1 cm 정도 띄운 상태에서 연필을 잡듯이 잡고, 팔꿈치를 몸통에서 띄운 상태로 팔을 고정한 다음 8초 동안 측정하며, 양쪽 손을 번갈아 가면서 측정.

(2) 체위기록검사(Poatural Sway) : 평평한 바닥에 힘판을 설치하고, 한번은 눈을 뜬 상태에서, 한번은 눈을 감고 측정을 하는데 첫번째는 전방을 주시한 상태로 팔을 편안하게 내린 상태로 측정하며, 두 번째는 눈을 감고 팔을 편안하게 내린 상태로 측정, 측정시간은 각각 65.5초임.

(3) 반응시간 검사(Reaction Time Test) : Battery 장치에서 비규칙적으로 소리가 40초 동안 나오며, 이 소리를 듣고 반응 버튼을 누르면 됨. 양쪽 손을 번갈아 가면서 측정.

4) 컴퓨터 신경행동검사(Computerized Neurobehavior Test)

초등학생들에 대한 신경행동학검사는 컴퓨터 신경행동검사 시스템(Korean Computerized Neurobehavior Test System, (주)지엔씨소프트)을 이용하여 수행하였으며, 세부 검사항목과 측정방법은 아래와 같다.

(1) 단순반응시간 : 화면에 붉은 색의 사각형이 2.5~5초 간격으로 불규칙하게 나타나며 피검자는 사각형이 나타나면 최대한 빨리 키보드의 키를 누른다. 컴퓨터는 화면에 사각형이 나타나는 순간부터 피검자가 키를 누를 때까지의 시간을 0.001초 단위로 측정한다. 사각형은 1분 동안 16번 나타나며 1분의 연습수행 후 2분 동안 검사를 수행하였다.

(2) 선택반응시간 : 화면에 노란색 십자가 도형이 2.5~5초 간격으로 불규칙하게 나타난다. 십자가의 네 팔 중 짧은 팔이 있는 방향을 찾아 동일한 방향의 화살표키를 최대한 빨리 누른다. 십자가 도형은 1분 동안 16번 나타나며 1분의 연습수행 후 2분 동안 검사를 수행하였다.

(3) 글자색 맞추기 : 화면에 하양, 노랑, 빨강, 파랑이라는 단어가 한 개씩 나타난다. 단어의 뜻과 색이 일치하는 경우와 일치하지 않는 경우가 임의의 순서로 섞여서 나타나며 단어의 뜻과 색이 일치하는 경우에만 키를 최대한 빨리 누른다. 색 단어는 1분 동안 16번 나타나며 1분의 연습수행 후 1분 동안 검사를 수행한다.

(4) 숫자구분 : 아라비아 숫자가 하나씩 불규칙하게 화면에 나타나며 피검자는 나타난 숫자가 홀수 혹은 짝수인지를 구분하여 홀수이면 좌측 화살표키를, 짝수이면 우측 화살표키를 최대한 빨리 누른다. 연습수행을 거친 후 60개의 숫자를 구분하게 된다. 컴퓨터는 맞게 구분한 경우와 잘못 구분한 경우에서 각각의 평균 반응시간과 잘못 구분한 횟수를 측정한다.

(5) 숫자더하기 : 세 개의 일련의 숫자가 수평적 더하기형태로(예: 7+4+5) 화면에 1초 동안 나타난다. 피검자는 최대한 빨리 계산을 하여 정답을 숫자키를 통하여 입력한다. 8회의 연습수행 후 8회의 본 검사를 수행하게 된다. 컴퓨터는 정답의 개수와 오답의 개수를 기록하고 각각의 반응에 대한 반응시간을 측정한다.

(6) 부호숫자 짝짓기 : 화면의 상단에 임의로 짝지어진 부호와 1에서 9까지의 숫자가 나타나며 하단에는 상단과 다른 순서로 배열된 부호와 9개의 빈 칸이 나타난다. 피검자는 상단에 예시 된 부호와 숫자의 짝과 일치되게 숫자키를 이용하여 하단의 빈칸에 숫자를 입력한다. 처음 9회의 연습수행 후 63회의 본 검사를 수행한다.

(7) 숫자 외우기 : 화면 중앙에 임의의 숫자가 0에서 9까지 나타났다 사라지는데 숫자를 기억하여 순서대로 숫자키를 누른다. 틀린 숫자를 눌렀을 경우에는 수열의 길이가 하나씩 줄어들며, 맞았을 경우 수열의 길이가 하나씩 길어진다. 처음 1회의 연습 후 본 검사에서 3회 오류시 검사가 종료된다.

(8) 손가락 두드리기 : 손바닥을 테이블 위에 붙인 상태에서 검지손가락을 이용하여 키를 가능한 빨리 두드린다. 평상시 자주 쓰는 손(우수, dominant hand)와 자주 쓰지 않는 손(열수, nondominant hand)을 교대로 검사한다. 양손 각각 1회의 연습수행 후 한손에 1회씩 본 검사를 수행한다.

5) 통계처리 방법

본 조사에서 얻어진 혈중 수은농도 및 혈액검사, 체위반응검사, 컴퓨터 신경행동반응검사 결과는 산술평균값으로 표시하였으며, 상·하위군의 항목별 검사결과에 대한 분산과 두 그룹간 각 지표의 유의성은 SAS 8.2 program을 이용하여 독립표본 t 검정으로 확인하였다.

III. 연구결과

전국 26개 지역 약 2,000명을 대상으로 조사된 평균 혈중수은농도는 평균 2.42±1.02 ppb이었으며 상·하위 10%에 해당되는 학생의 평균 수은노출수준은 4.47±1.13 ppb와 1.04±0.25 ppb로 각각 나타났다. 각 비교군에 속한 학생들의 노출수준과 혈액검사 항목의 결과를 비교한 결과, 평균값은 큰 차이는 없었으며 혈색소, 백혈구수, 적혈구수, 크레아틴, 칼슘이온에서 통계적 유의성을 나타내었다($p<0.05$). 그러나 다른 검사항목에서는 두 그룹간 통계적인 유의성은 없었다($p>0.05$).

체위반응과 컴퓨터 신경행동검사에 참가한 조사대상자 상위군 19명, 하위군 17명의 혈중수은농도는 학생의 평균 수은노출수준은 5.64±1.43 ppb와 0.75±0.37 ppb로서 상위군이 약 7배 가량 높았다. 이들을 대상으로 체위반응검사를 실시하여 각 반응값과 혈중 수은노출농도를 비교한 결과, 손떨림 검사에서 상위군의 경우 오른손에서의 떨림강도와 왼손에서의 중심이동 빈도가 더 많은 것으로 나타났다($p<0.05$). 체위반응검사에서는 눈을 감은 경우 눈을 뜨고 측정했을 때 보다 체위의 흔들림, 이동면적, 흔들림 속도, 그리고 흔들림의 정도가 하위군보다 상위군이 더 큰 것으로 조사되었으며, 반응시간검사에서도 상위군이 하위군보다 약간 늦는 것으로 측정되었다. 그러나 이들 측정항목과 수은노출과의 통계적은 유의성은 없는 것으로 나타났다.

체위반응검사에 참여한 어린이를 대상으로 컴퓨터 신경행동검사를 실시한 결과 단순반응시간, 선택반응시간, 숫자외우기 그리고 손가락 두드리기 항목에서 상위군이 하위군보다 빠르게 반응하는 것으로 나타났다. 글

Table 1. Result of blood test between high and low exposure group

Contents		Reference Range	Low (N)*	High (N)**	Total (N)***	p-value
Blood_Hg conc.(ppb)			1.04 ± 0.25(194)	4.47 ± 1.13(192)	2.42 ± 1.02(1,844)	0.000
CBC	HCT(%)	33-44	40.62 ± 1.99(194)	40.80 ± 2.19(192)	40.49 ± 2.07(1,844)	0.389
	Hb(g/dl)	11-14	13.37 ± 0.75(194)	13.54 ± 0.69(192)	13.41 ± 0.70(1,844)	0.011
	WBC(10^3/ul)	4-10.8	6.62 ± 1.44(194)	7.22 ± 2.21(192)	6.79 ± 1.66(1,844)	0.006
	RBC(10^6/ul)	3.91-5.2	4.73 ± 0.25(194)	4.79 ± 0.26(192)	4.74 ± 0.26(1,844)	0.034
	PLT(10^3/ul)	124-400	305.53 ± 58.05(194)	306.34 ± 58.11(192)	306.77 ± 57.88(1,844)	0.529
Liver Function Test	MCV(fl)	79-110	85.36 ± 2.88(40)	85.56 ± 2.84(91)	85.47 ± 3.94(591)	0.087
	MCH(pg)	26-34	28.04 ± 1.28(40)	28.06 ± 0.95(91)	28.12 ± 1.21(591)	0.424
	MCHC(%)	29-35	32.84 ± 0.87(40)	32.81 ± 0.89(91)	32.86 ± 0.85(591)	0.353
	AST(IU/l)	0-40	23.54 ± 4.66(194)	23.74 ± 8.69(192)	23.37 ± 5.98(1,844)	0.060
	ALT(IU/l)	0-45	14.92 ± 6.41(194)	18.18 ± 19.76(192)	16.11 ± 12.77(1,844)	0.062
	T.Bil(mg/dl)	0.3-1.8	0.59 ± 0.19(194)	0.62 ± 0.22(192)	0.58 ± 0.21(1,844)	0.339
Cardiovascular Disease	Chol(mg/dl)	104-215	161.89 ± 25.78(194)	159.82 ± 25.27(192)	160.24 ± 24.90(1,844)	0.410
	Triglyceride(mg/dl)	10-200	94.81 ± 58.78(194)	95.50 ± 57.25(192)	93.41 ± 54.99(1,844)	0.899
	LDL(mg/dl)	0-160	89.55 ± 23.30(194)	87.76 ± 23.40(192)	87.23 ± 22.32(1,844)	0.732
Kidney Function Test	BUN(mg/dl)	6.5-22.6	10.88 ± 2.40(194)	11.46 ± 2.57(192)	11.22 ± 2.82(1,844)	0.109
	Creatinine(mg/dl)	0.6-1.2	0.65 ± 0.08(194)	0.69 ± 0.10(192)	0.67 ± 0.09(1,844)	0.003
electrolyte Test	Calcium(mg/dl)	8.2-10.8	9.53 ± 0.48(194)	9.33 ± 0.49(192)	9.41 ± 0.57(1,844)	0.000

*: The upper 10% group of Hg exposure survey (N: 200)
**: The lower 10% group of Hg exposure survey (N: 200)
***: The total number of participant in Hg exposure survey (N: 2,000)

Table 2. Result of posturography between high and low exposure group

Contents			Low (N=17)	High (N=19)	p-value
Blood_Hg conc.(ppb)			0.75 ± 0.37	5.64 ± 1.43	0.000
Tremor test	Right hand	Intensity(mm/s^2)	0.098 ± 0.05	0.17 ± 0.10	0.038
		Center Frequency(Hz)	8.82 ± 2.28	9.18 ± 1.08	0.270
	Left hand	Intensity(mm/s^2)	0.12 ± 0.06	0.13 ± 0.08	0.461
		Center Frequency(Hz)	7.74 ± 2.53	8.65 ± 1.04	0.029
Body sway test	Open eyes	Mean Sway(mm)	6.37 ± 1.69	6.19 ± 1.80	0.578
		Sway Area(mm × mm)	391.18 ± 197.18	379.79 ± 205.93	0.941
		Sway Velocity(mm/s)	10.27 ± 2.58	10.63 ± 3.80	0.237
		Sway Intensity(mm/s^2)	4.44 ± 0.83	4.69 ± 0.83	0.776
	Closed eyes	Mean Sway(mm)	7.60 ± 3.12	8.15 ± 3.12	0.740
		Sway Area(mm × mm)	668.76 ± 524.58	808.95 ± 748.30	0.805
		Sway Velocity(mm/s)	13.41 ± 4.80	15.86 ± 6.32	0.447
		Sway Intensity(mm/s^2)	5.78 ± 1.82	6.43 ± 1.92	0.987
Reaction time test		Right hand(sec)	0.29 ± 0.05	0.31 ± 0.05	0.468
		Left hand(sec)	0.30 ± 0.05	0.32 ± 0.05	0.981

자색맞추기, 숫자구분, 숫자더하기 항목에서는 하위군이 상위군보다 반응시간이 빠르게 나타났으나, 통계적 단순반응(P; 0.06)과 숫자구분(P; 0.06) 항목에서만 일부 유의성을 보였다.

Table 3. Result of computerized neurobehavioral test between high and low exposure group

Contents		Low (N=17)	High (N=19)	p-value
Blood_Hg conc.(ppb)		0.75 ± 0.37	5.64 ± 1.43	0.000
Simple reaction time		335.06 ± 119.13	296.68 ± 363.52	0.063
Choice Reaction Time	Left(msec)	565.29 ± 189.84	541.68 ± 129.60	0.217
	Right(msec)	544.29 ± 109.76	516.42 ± 124.54	0.875
	Up(msec)	576.88 ± 184.55	533.47 ± 121.99	0.222
	Down(msec)	562.65 ± 111.08	526.58 ± 109.71	0.759
	Total(msec)	553.00 ± 120.97	526.05 ± 100.45	0.422
Color Word Vigilance	Total reaction time(msec)	459.00 ± 71.36	468.42 ± 87.07	0.300
	Upright reaction time(msec)	497.65 ± 71.47	471.00 ± 86.24	0.269
Digit Classification	Total reaction time(msec)	714.24 ± 163.03	738.53 ± 242.87	0.061
	Upright reaction time(msec)	724.94 ± 184.23	754.74 ± 268.90	0.130
Digit Additions	Total reaction time(msec)	3697.82 ± 1428.37	3846.58 ± 1412.57	0.856
	Upright reaction time(msec)	3739.59 ± 1386.11	3419.58 ± 1497.25	0.945
Symbol Digit	Total reaction time(msec)	2811.18 ± 689.61	2734.89 ± 1016.39	0.753
	Upright reaction time(msec)	2853.82 ± 710.29	2745.84 ± 995.72	0.788
Digit Span	Forward	6.91 ± 1.33	6.79 ± 1.95	0.643
	Backward	6.03 ± 1.12	5.84 ± 1.89	0.353
Finger Tapping Speed	Right hand(times)	58.35 ± 8.19	51.32 ± 14.00	0.678
	Left hand(times)	52.29 ± 11.81	45.95 ± 15.05	0.522

IV. 고 찰

본 연구는 전국 26개 지역의 초등학교 학생 약 2,000여명중 2,000여명 중, 혈중 수은노출수준이 상위 10%, 하위 10%에 해당하는 학생을 대상으로 혈액검사 결과를 비교하고 혈중 수은농도가 높은 학생이 가장 많이 재학하고 있는 학교 1곳과 가장 낮은 수준을 보인 1곳을 선정하여 각각 상위 19명, 하위 17명의 어린이를 선정하여 체위반응검사 및 컴퓨터신경행동검사를 실시함으로서 이들 조사항목을 통해 저농도 수은노출이 건강에 미치는 영향을 판단할 수 있는지 확인하고자 하였다.

혈중 수은 노출수준이 상·하위 10%에 해당하는 어린이의 혈액검사 결과를 비교한 결과, 혈액 지표중 혈색소, 백혈구수, 적혈구수, 크레아틴, 칼슘이온 항목이 수은노출과 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 혈색소와 백혈구수의 증가는 혈액내의 중금속의 농도 증가로 인해 혈액의 산소 운송량이 증가되면서 산소 교환시 발생하는 세포 손상에 의해서 나타나는 것으로 설명되어 지고 있으며 적혈구수의 증가 역시 중금속의 농도 증가로 인한 산소 운송량 증가에 의한 것으로 보고되어있다.[4] 혈중 칼슘농도 감소는 간세포, 소뇌 및 대뇌피질의 칼슘흡수경로를 수은이 차단하여 체내흡수를 억제함으로서 칼슘 및 나트륨이온의 농도를 낮아지며 나타난 현상으로 보고되어져 있다.[5,6] 결국 수은농도 증가로 인한 칼슘이온의 감소는 신경전달물질에 관여하는 칼슘채널의 기능을 방해하여 신경전달물질의 비정상적인 분비와 작동으로 인한 신경행동장애를 유발할 가능성도 있는 것으로 지적되어지고 있는 것이다. 본 조사에서도 유사한 결과가 보임으로서 이러한 가설을 뒷받침한다고 할 수 있겠다. 더 많은 사례와 세부적인 연구를 통해 저농도 수은노출이 인체에 미치는 영향을 확인하는 것은 가능할 것으로 판단된다.

아직 보편화되어 있지 않지만 환경독성물질에 의한 중추신경계이상을 조기에 발견하기 위한 방법으로 체위반응검사(posturography)가 이용되어 지고 있다. 낮은 노출수준에서 체위반응검사는 몇 가지 개인별특성이 결과에 영향을 미칠 수 있는 단점이 있으나,[7-10] VOCs, PCBs, 제트연료를 포함한 유기용제 및 납과 수은같은 중금속에 노출되는 경우 체위동요가 유의하게 커진다고 보고되고 있으며,[11-14] 어류섭취로 인한 신경계영향을 파악하기 위하여 체위반응을 실시한 연구도 일부 보고되고 있다.[15] 또한 중추신경기능과 말초신경기능의 측정도구로서 체위반응검사의 타당성과 신뢰도는 여러 연구에서 뒷받침되고 있다.[16-19] 본 연구에서도 혈중 수은 노출에서 차이를 보이는 일부 어린이를 대상으로 체위

검사를 실시하여 그 결과를 수은노출수준과 비교하였다. 저농도 수은노출의 영향을 좀 더 명확히 확인하기 위하여, 전체 조사지역중 수은노출이 가장 높게 나타난 학교에 재학중인 상위 노출군의 어린이와 노출수준이 가장 낮게 나타난 학교의 하위노출군에 속하는 어린이를 대상으로 조사를 실시하였다. 조사 대상자중 상위집단의 평균노출수준은 5.64±1.43 ppb로서 하위집단의 평균 0.75±0.37 ppb 보다 약 7배 정도 높은 값을 보였다. 체위반응검사 결과 손떨림 측정에서 상위군이 하위군보다 떨림이 크게 나타났으며 통계적으로 유의한 결과를 보였다($p<0.05$). 눈을 감은 상태에서 측정된 전체 체위흔들림의 경우에서도 상위군의 평균측정값이 더 높게 나타났으나 통계적 유의성으로는 검정되지 않았다. 전체적으로 소리에 의식적으로 반응하는 청각반응검사의 유의성은 낮은 반면 무의식적 신경반응을 측정하는 항목에서 두 비교군간에 차이가 존재하는 것으로 조사되었으나, 다양한 비교사례가 존재하지 않아 체위반응검사로 나타난 결과를 일반적으로 해석하기에는 검토와 확인이 더 필요할 것으로 판단된다.

체위반응검사와 함께 수은노출이 신경계에 미치는 영향을 좀 더 구체적으로 확인하기 위하여 단순반응시간, 선택반응시간, 글자색 맞추기, 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자찍기, 숫자외우기의 총 7가지 항목으로 구성된 컴퓨터 신경 행동 검사를 동일집단을 대상으로 실시하였다. 색에 대한 반응 및 집중도를 관찰하는 단순반응검사는 상위군이 평균적으로 빠른 반응을 보인 반면, 숫자인식과 판단등 추론기능을 검사하는 숫자구분검사에서는 상위군이 오히려 느리게 반응한다는 것으로 조사되었나, 다른 검사항목과 마찬가지로 통계적 유의성은 없었다.

성인용 컴퓨터 신경행동검사와는 달리 소아 및 어린이의 신경행동검사에 관한 축적된 자료와 연구경험이 충분하지 못하였으나[20-22] 최근에 이르러 유기수은[23)~27)]에 의한 신경행동영향 연구 결과가 일부 보고되기 시작하고 있다.[25,28] 1983년 McKeown 등[29]이 수은노출의 신경발달에 미치는 영향과 관련해 처음으로 어린이의 성별에 따른 차이를 보고한 이후, Murata 등[30]이 어류섭취로 수은에 노출되는 어린이를 대상으로 신경반응부분에 대하여 조사를 시도 했으나 뚜렷한 관련성을 발견해 내지 못하였다. 그러나 뉴질랜드 인근 Faroe와 Seychelle 섬에 거주하는 어린이를 대상으로 시작된 연구[31]에서 어류섭취로 인한 수은노출과 신경반응계간의 관련성을 보여주는 연구결과들이 나타나기 시작하였으며, 특히 Grandjean은 신경생리학적인 항목과 IQ, 언어발달, 항목등에 대한 조사를 실시하여 뇌반응 및 눈자극 전위등에서 관련성을 확인하기도 하였다.[32] 본 조사에서도 단순 색반응 등 일부 항목에서 수은노출 상·하위군간에 이와 유사한 반응변화 차이를 확인 할 수 있었다. 다만 Myers 등 연구자들이 수은노출이 신경발달에 미치는 영향을 이후에도 여러 가지 조사방법을 통해 보여주었으나 대부분의 결과들이 일시적인 사례에 의한 것으로 해석되고 있을 뿐이다.[33] 본 조사에서도 저농도 수은노출과 관련하여 일부항목에서 통계적인 유의성이 있었으나 검사항목 전반에서 일관된 영향을 확인하지는 못하였다. 따라서 혈액검사 및 일반 신경반응검사를 이용한 수은노출의 건강영향에 대한 확인은 충분한 연구 대상자를 확보한 고농도 및 저농도 노출집단에 대한 장기적인 코호트조사 등 더 많은 연구결과의 축적이 뒤따라야 할 것으로 판단되어진다.

V. 결 론

수은의 인체노출이 건강에 미치는 영향을 판단하기 위하여 혈액검사와 체위반응 및 컴퓨터 신경행동 검사를 실시하였다. 수은노출수준조사에 참여한 전국 4-6학년에 재학중인 초등학생 2,000명중 노출수준이 각각 상·하위 10%에 해당하는 200명, 총 400명을 대상으로 17개 혈액검사 결과를 비교하였다. 또한 이들 중 지역별 평균노출수준이 가장 높고 낮은 학교에 재학중인 어린이 36명을 대상으로 체위반응 및 컴퓨터 신경행동검사를 실시하였다. 일반건강지표인 혈액검사 항목중 칼슘 및 크레아틴의 농도, 백혈구 및 적혈구수, 혈소판수가 수은노출 상·하위 두 그룹간에 유의성을 나타내었다. 체위반응검사에서 무의식적 반응을 평가하는 손떨림의 강도와 중심이동정도에서 유의성 있는 차이가 발견되었으나 몸의 떨림반응등 전체적으로 일관성있는 경향은 없었다. 컴퓨터 신경행동검사의 단순색반응 및 숫자분류항목에서 두 그룹의 평균에서 차이가 존재하였으나 통계적인 유의성은 관찰되지 않았다.

참고문헌

1. 황인담, 기노석, 정인호 등 : 수은 중독에 관한 실험적 연구. 한국환경위생학회지, **14**(1), 103-113, 1988.
2. 윤충식, 임상혁, 하권철 : 고농도 수은 노출자의 혈중 및 뇨중 수은 농도 변화에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **27**(3), 71-80, 2001.
3. 김윤신, 이의진, 배성희 등 : 서울시 일부 임산부 모발중의 수은농도에 관한 조사연구. 한국환경위생학회지, **18**(1), 105-111, 1992.
4. Oliveira Ribeiro, C. A., Filipak Neto, F., Mela, M., Silva, P. H., Randi, M. A., Rabitto, I. S., Alves

Costa, J. R. and Pelletier, E. : Hematological findings in neotropical fish Hoplias malabaricus exposed to subchronic and dietary doses of methylmercury, inorganic lead, and tributyltin chloride. *Environmental Research*, **101**(1), 74-80, 2006.

5. Yallapragada, P. R., Rajanna, S., Fail, S. and Rajanna, B. : Inhibition of calcium transport by mercury salts in rat cerebellum and cerebral cortex in vitro. *Journal of Applied Toxicology*, **16**(4), 325-330, 1996.
6. Blazka, M. E. and Shaikh, Z. A. : Differences in cadmium and mercury uptakes by hepatocytes: role of calcium channels. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **110**(2), 355-363, 1991.
7. Kollegger, H., Baumgartner, C., Wöber, C., Oder, W. and Deecke, L. : Spontaneous body sway as a function of sex, age, and vision: posturographic study in 30 healthy adults. *European Neurology*, **32**(5), 253-259, 1992.
8. Black, F. O., Wall, C. 3rd., Rockette, H. E. Jr. and Kitch, R. : Normal subject postural sway during the Romberg test. *American Journal of Otolaryngology*, **3**(5), 309-318, 1982.
9. Thyssen, H. H., Brynskov, J., Jansen, E. C. and Münster-Swendsen, J. : Normal ranges and reproducibility for the quantitative Romberg's test. *Acta Neurologica Scandinavica*, **66**(1), 100-104, 1982.
10. Raymakers, J. A. and Samson, M. M. : The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait and Posture*, **21**, 48-58, 2005.
11. Smith, L. B., Bhattacharya, A., Lemasters, G., Succop, P., Puhala, E. 2nd., Medvedovic, M. and Joyce, J. : Effect of chronic low-level exposure to jet fuel on postural balance of US Air Force personnel. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, **39**(7), 623-632, 1997.
12. Yokoyama, K., Araki, S., Murata, K., Nishikitani, M., Nakaaki, K., Yokota, J., Ito, A. and Sakata, E. : Postural Sway Frequency Analysis in Workers Exposed to n-Hexane, Xylene, and Toluene: Assessment of Subclinical Cerebellar Dysfunction. *Environmental research*, **74**(2), 110-115, 1997.
13. Iwata, T., Mori, H., Dakeishi, M., Onozaki, I. and Murata, K. : Effects of mixed organic solvents on neuromotor functions among workers in Buddhist altar manufacturing factories. *Journal of occupational health*, **47**, 143-148, 2005.
14. Despres, C., Beuter, A., Richer, F., Poitras, K., Veilleux, A., Ayotte, P., Dewailly, E., Saint-Amour, D. and Muckle, G. : Neuromotor functions in Inuit preschool children exposed to Pb, PCBs, and Hg. *Neurotoxicology and Teratology*, **27**, 245-257, 2005.
15. Carta, P., Flore, C., Alinovi, R., Ibba, A., Tocco, M. G., Aru, G., Carta, R., Girei, E., Mutti, A., Lucchini, R. and Randaccio, F. S. : Sub-clinical neurobehavioral abnormalities associated with low level of mercury exposure through fish consumption. *Neurotoxicology*, **24**, 617-623, 2003.
16. Mills, K. C. and Bisgrove, E. Z. : Body sway and divided attention performance under the influence of alcohol: dose-response differences between males and female. *Alcoholism, Clinical and Experimental Research*, **7**(4), 393-397, 1983.
17. Lukas, S. E., Lex, B. W., Slater, J. P., Greenwald, N. E. and Mendelson, J. H. : A microanalysis of ethanol-induced disruption of body sway and psychomotor performance in women. *Psychopharmacology(Berl)*, **98**(2), 169-175, 1989.
18. Kubo, T., Sakata, Y., Matsunaga, T., Koshimune, A., Sakai, S., Ameno, K. and Ijiri, I. : Analysis of body sway pattern after alcohol ingestion in human subjects. *Acta Oto-laryngologica. Supplementum*, **468**, 247-252, 1989.
19. Kubo, T., Sakata, Y., Koshimune, A., Sakai, S., Ameno, K. and Ijiri, I. : Positional nystagmus and body sway after alcohol ingestion. *American Journal of Otolaryngology*, **11**(6), 416-419, 1990.
20. Amler, R. W. and Gilbertini, M. : Pediatric Environmental Neurobehavioral Test Battery, Atlanta GA, US Department of Health and Human Services. Public Health Service, *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, 1996.
21. Krasnegor, N. A., Otto, D. A., Bernstein, J. H., Burke, R., Chappell, W., Eckerman, D. A., Needleman, H. L., Oakley, G., Rogan, W., Terracciano, G. and Hutchinsonj, L. : Neurobehavioral test strategies for environmental exposures in pediatric populations. *Neurotoxicology and Teratology*, **16**, 499-509, 1994.
22. Davidson, P. W., Weiss, B., Myers, G. J., Cory-Slechta, D. A., Brockel, B. J., Young, E. C., Orlando, M., Loiselle, D., Palumbo, D., Pittelli, R. and Sloan-Reeves, J. : Evaluation of techniques for assessing neurobehavioral development in children. *Neurotoxicology*, **21**, 957-972, 2000.
23. Davidson, P. W., Myers, G. J., Cox, C., Axtell, C., Shamlaye, C., Sloane-Reeves, J., Cernichiari, E., Needham, L., Choi, A., Wang, Y., Berlin, M. and Clarkson, T. W. : Effects of prenatal and postnatal methylmercury exposure from fish consumption on neurodevelopment: outcomes at 66 months of age in the Seychelles Child Development Study. *The Journal of the American Medical Association*, **280**, 701-707, 1998.
24. Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., Murata, K., Sørensen, N., Dahl, R. and Jørgensen, P. J. : Cognitive Deficit in 7-Year-Old Children with Prenatal Exposure to Methylmercury. *Neurotoxicology and Teratology*, **19**(6), 417-428, 1997.
25. Dahl, R., White, R. F., Weihe, P., Sørensen, N., Letz, R., Hudnell, H. K., Otto, D. A. and Grandjean, P. : Feasibility and Validity of Three Computer-Assisted Neurobehavioral Tests in 7-Year-Old Children. *Neurotoxicology and Teratology*, **18**(4), 413-419, 1996.
26. Choi, B. H. : The effects of methylmercury on the developing brain. *Acta Neuropathologica*, **32**, 447-470, 1989.

27. Shamlaye, C. F. and Marsh, D. O. : The Seychelles child development study on neurodevelopmental outcomes in children following in utero exposure to methylmercury from a maternal fish diet: background and demographics. *Neurotoxicology*, **16**(4), 597-612, 1995.
28. Rohlman, D. S., Anger, W. K., Tamulinas, A., Phillips, J., Bailey, S. R. and McCauley, L. : Development of a neurobehavioral battery for children exposed to neurotoxic chemicals. *Neurotoxicology*, **22**(5), 657-665, 2001.
29. McKeown-Eyssen, G. E., Ruedy, J. and Neims, A. : Methyl mercury exposure in northern Quebec. II. Neurologic findings in children. *American Journal of Epidemiology*, **118**(4), 470-479, 1983.
30. Murata, K., Weihe, P., Renzoni, A., Debes, F., Vasconcelos, R., Zino, F., Araki, S., Jørgensen, P. J., White, R. F. and Grandjean, P. : Delayed evoked potentials in children exposed to methylmercury from seafood. *Neurotoxicology and Teratology*, **21**(4), 343-348, 1999.
31. Davidson, P. W., Myers, G. J., Cox, C., Axtell, C., Shamlaye, C., Sloane-Reeves, J., Cernichiari, E., Needham, L., Choi, A., Wang, Y., Berlin, M. and Clarkson, T. W. : Effects of prenatal and postnatal methylmercury exposure from fish consumption on neurodevelopment. *The Journal of the American Medical Association*, **280**(8), 701-707, 1998.
32. Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., Murata, K., Sørensen N, Dahl, R. and Jørgensen, P. J. : Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicology and Teratology*, **19**(6), 417-428, 1997.
33. Myers, G. J., Davidson, P. W., Cox, C., Shamlaye, C., Cernichiari, E. and Clarkson, T. W. : Twenty-seven years studying the human neurotoxicity of methylmercury exposure. *Environmental Research*, **83**, 275-285, 2000.