

연작업자들에서 골중 연량이 신경행동학적 검사성적에 미치는 영향

이성수 · 김남수 · 김화성 · 안규동 · 이병국*

순천향대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학연구소

Association of Bone Lead with Neurobehavioral Test Scores in Lead Workers

Sung-Soo Lee · Nam-Soo Kim · Hwa-Sung Kim · Kyu-Dong Ahn · Byung-Kook Lee*

*Department of Preventive Medicine, Medical College and Institute of Industrial Medicine,
Soonchunhyang University*

To evaluate the effect of lead biomarkers including bone lead on neurobehavioral test in lead workers, 652 lead workers without any occupational exposure to organic solvent, mercury and arsenic were agreed to participate this study. For the control subjects 102 non-occupationally lead exposed blue collar workers in general manufacturing industries were also joined this study. All study subjects joined this study with written informed consent.

The study variables of lead exposure were blood and patella lead. For the general characteristics of study subjects, standardized questionnaire regarding age, sex, past disease history, job duration, body mass index (BMI), drinking and smoking habit were provided. For the past history of neurotoxicity related diseases, all study subjects were interviewed by qualified occupational health physician.

The results obtained were as follows:

1. Compared with controls without occupational lead exposure, lead exposed subjects had worse performance on all tests($p < 0.05$).

2. After adjustment for covariates (age, sex, job duration, education level, BMI, smoking and drinking

status), the signs of the regression coefficients for blood lead were negative for 13 of the 14 tests. Blood lead was a significant predictor of poorer scores on 8 tests (simple reaction time(ms & root MSD), Trail-Making Test B, Digit Symbol Substitution, Purdue Pegboard assembly, Digit Span Test, Benton Visual Retention, and Purdue pegboard both hand).

3. After adjustment for covariates (age, sex, job duration, education level, BMI, smoking and drinking status), the signs of the regression coefficients for patella lead were negative for 12 of the 14 tests. Patella lead was a significant predictor of poorer scores on 8 tests (simple reaction time(ms), Purdue Pegboard assembly, Digit Span Test, Benton Visual Retention, Pursuit Aiming Test (no. of correct & no. of incorrect), Purdue pegboard non-dominant hand and both hand).

With above results, blood lead and patella lead were associated with poorer performance of neurobehavioral tests. In addition, patella lead was confirmed to be better predictor of manual dexterity test in neurobehavioral test battery in lead workers.

Key Words : Lead exposure, Bone lead, Neurobehavioral test scores

I. 서론

선진국에서는 지난 50 여 년간 연 중독을 예방하려는 다각도의 노력에 따라 과거의 심한 연중독과 같은 증상을 나타내는 근로자들의 수는 현저히 줄어들거나 없어졌으나 시대변천에 따른 건강개념의 변천에 따라 과거에는 문제시되지 않았던 비특이적 증상이나 체내의 생물화학적 변화도 연에 의한 건강장해로 인식하게 되어 연에 의한 건강장해는 아직도 그 중요성의 정도가 감소되지 않고 있다 (Lee, 1999).

과거 연의 신경계의 영향은 독성 뇌증 (toxic encephalopathy)과 말초신경병변이 알려졌으나 (Waldron, 1973), 연 노출 수준이 감소하면서 연의 신경독성은 좀더 미묘한 문제인 신경행동학적인 분야, 즉, 정서 (affect) 및 정신운동기능 (psychomotor function)같은 연구들이 시도되기 시작하였다 (Baker, 1982; Stokes, 1998). 지금까지 연노출과 신경행동학적 기능에 대하여는 여러 연구들이 시행되었으나 대부분 혈중 연량과 신경행동학적 기능과의 관련성을 본 연구이었으며 (이종영 등, 1997), 골중 연량이 신경행동학적 기능에 미치는 영향에 관하여는 국내에서는 이루어진 바가 없는 실정이다. 또한 국외에서도 소수의 연구밖에 없다 (Stewart 등, 1999). 이러한 연구들을 보면 골중 연량도 피질골 (경골: tibia)의 뼈속 연량을 측정하는 것이 대부분이며 지주골 (대표적으로 patella)의 뼈속 연량과의 신경행동학적 기능과의 관련성을 본 논문은 거의 없는 실정이다. 지주골과 피질골은 연의 축적량과 반감기가 다르므로 인체에 미치는 독성작용도 다르다고 알려지고 있어 슬개골의 연축적량과 신경행

동학적 영향과의 관련성을 알아보고자 하였다.

본 연구의 연구목적은 다음과 같다.

첫째, 직업적으로 고농도의 연에 장기간 노출되었던 근로자들을 대상으로 대표적인 지주골인 슬개골의 연 축적량을 평가하는 것이며, 둘째, 슬개골의 연 축적량이 중추신경기능에 미치는 영향을 보기 위해 신경행동학적 검사 수행 능력과의 관련성을 규명하는 것이다.

II. 연구대상 및 방법

연 취급 근로자중 신경질환의 과거력이 없으며 연 이외의 중추신경계에 영향을 줄 수 있는 유기용제, 수은, 비소 등에 노출되고 있지 않고 본 연구에 참여하기로 동의하는 652명의 근로자들을 대상으로 하였다. 또한 연노출이 없는 일반 제조업 근로자 102명을 대조군으로 선정하였고, 총 754명을 연구대상으로 하였다.

연노출 변수로는 혈중 연량을 측정하였으며, 뼈속납의 측정은 대표적인 지주골 성분인 슬개골의 연량을 측정하였다.

또한 연구대상자들의 일반적 특성을 알기 위하여 성, 연령, 과거력, 교육정도, 직력, 작업부서, 비만도, 음주 및 흡연습관 등을 표준화된 설문지를 통하여 조사하였다. 신경계통의 과거력유무를 확인하기 위하여 설문 및 문진이 산업의학 전문의에 의해 동시에 이루어 졌다.

혈중 연 농도는 전혈 0.5ml를 2.5ml의 1%-Triton X-100으로 희석하여 비불꽃 원자 흡광도계 (Hitachi Z-8100, Polarized Zeeman effect AAS)로 분석하였

고 표준곡선은 standard addition법으로 분석하였으며(Fernandez, 1975), 슬개골의 연 축적량은 K shell XRF를 이용하여 30분간 측정하였다 (Todd, 1993).

한편, 연에 의한 신경독성의 영향을 알아보기 위하여 신경행동학적 검사를 실시하였다. 검사방법은 세계보건기구의 신경행동학적 검사기구 (Neurobehavioral Core Test Battery, NCTB)의 7가지 검사항목 중 번역의 문제가 있는 POMS 항목과 Santa Ana dexterity test를 제외한 5가지 항목을 WHO의 표준검사방법 (WHO, 1986)에 따라 실시하였다. 이외의 검사항목으로는 Santa Ana dexterity test 대신에 Purdue pegboard 검사를 실시하였으며 수행능력검사를 위한 Trail-Making test A와 B를 추가하였고, 비언어적 지적수준을 평가하기 위한 Raven의 Colored Progressive Matrices 검사 (Psychological Corporation, San Antonio, Texas)를 추가하였다.

신경 행동학적 검사는 소음이 차단되고 외부의 간섭이 없으며 적절한 온도와 조명을 갖춘 검사 장소에서 검사자와 근로자는 책상을 사이에 두고 마주앉은 형태로 검사를 실시하였다. 작업 현장에서 검사를 실시한 경우에는 조용한 회의실을 이용하였고, 장소가 적당하지 않은 경우 칸막이를 이용하여 외부의 자극을 최소화하였다.

수검자의 태도와 행동으로부터 발생하는 여러 요인이 신경 행동학적 검사 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 검사는 이러한 상황적 요인을 잘 통제할 수 있는 훈련된 연구자에 의해 실시되었다. 또한 모든 근로자들에게 동일한 자극이 주어지도록 하기 위해 세계 보건 기구의 검사 시행 지침서에 따라 표준화된 지시문을 사용하여 검사 방법을 설명하였으며 근로자가 이해를 잘 하지 못한 경우에는 추가적인 설명을 하거나 좀 더 쉬운 다른 지시어를 사용하여 설명하였다.

*이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-042-F00040)

접수일 : 2004년 10월 20일, 채택일 : 2005년 8월 1일

† 교신저자: 이병국 (충남 아산시 신창면 순천향대학교 산업의학연구소

Tel: 041-530-1765, Fax: 041-530-1778, E-mail: bklee@sch.ac.kr)

검사는 근로자의 이해를 돕기 위해 설명과 함께 시범을 보인 후 실시하였다.

신경행동검사는 아래의 순서대로 실시하였다.

1. Simple reaction time (단순반응시간)

64회의 시각자극이 무작위 간격으로 발생하는 standard reaction time tester (Software Science, USA)를 이용하여 검사하며 단순반응시간에 대한 평균치와 표준편차를 기록하였다.

2. Digit span (숫자암기)

청각에 의한 단기 기억력을 측정하는 방법으로 숫자를 정순과 역순으로 암기하는 정도를 측정하였다.

3. Purdue Pegboard 검사

Purdue pegboard (Model 32020, Lafayette Instrument Company, USA)장비를 이용하였다. pegboard의 위쪽 컵에 담긴 핀(pin), 칼라(collar), 볼트(washer)를 근로자들이 쉽게 이해할 수 있도록 각각 '긴 것', '짧은 것', '둥그란 것'으로 바꾸어 지칭하였고 근로자에게

제한된 시간 동안 각각의 볼트와 핀을 구멍 안에 가능한 많이 꽂도록 하였다. 검사는 글을 쓰는 손 (dominant hand), 반대쪽 손 (non-dominant hand), 양손 (both hand), 조립 (assembly)의 순서로 3회씩 시행하였으며, 검사 시간은 글을 쓰는 손, 반대쪽 손, 양손은 30초씩, 조립은 1분간 시행하였다. 제한된 시간 동안 구멍에 꽂은 핀, 칼라, 볼트의 개수를 세어 점수화 하였다.

4. Digit symbol (숫자 기호화 검사)

1에서 9까지의 숫자가 매겨져 있는 것을 보면서 무작위로 나열된 숫자에 해당되는 기호를 기록하되 90초간 실시하여 올바르게 기입한 것을 기록하였다.

5. Benton visual retention (시각기억검사)

Benton visual retention test recognition form을 이용하여 그림 kit를 10초간 보여준 후 비슷한 4개의 그림 중에서 앞의 그림과 같은 것을 맞추도록 되

어 있으며 10매 중 맞힌 횟수를 기록하였다.

6. Pursuit aiming (목적점찍기)

작은 원안에 점을 'ㄷ' 자형으로 따라 찍는 것으로 한 번에 60초씩 2회 실시하여 올바르게 한 것과 잘못된 것을 별도로 합산하였다.

7. Colored Progressive Matrices

비언어적 지적수준을 평가하기 위하여 Raven의 방법을 이용하여 평가하였다.

자료에 대한 통계분석은 SAS version 8.2를 이용하여 노출군과 비노출군간의 연노출 지표들과 신경행동학적 검사결과의 차이를 t-검정하였다. 또한 골중 연량 및 기타 연노출 지표들에 따라 신경학적 검사들에 영향을 보기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석에 적용한 교란변수는 연령, 성, 교육수준, 음주 및 흡연습관 그리고 체질량지수이었다. 자료해석의 편이성을 추구하기 위하여 다중회귀분석 시 모든 결과는

Table 1. Characteristics of study subjects

Variables	Exposed (N=652)				Non-exposed (N=102)			
	Mean	S.D.	Min	Max	Mean	S.D.	Min	Max
Age(yrs)	43.3	9.7	20.0	67.7	37.8	9.4	25.2	63.3
Job duration(yrs)	9.8	5.8	0.4	32.6	-	-	-	-
Height(cm)	164.7	8.2	128.3	186.8	167.4	7.0	147.6	183.8
Weight(kg)	63.6	9.1	41.0	98.0	66.1	8.9	48.2	88.5
PbB($\mu\text{g}/\text{dL}$)	30.8	16.7	4.0	89.2	5.9	1.6	2.4	13.1
Patella (ppm)	75.0	101.0	-11.8	946.1	10.0	10.4	-8.8	36.8
Gender								
Male			503 (77.2)				92 (90.2)	
Female			149 (22.8)				10 (9.8)	
Smoking								
Current			430 (65.9)				72 (70.6)	
Never & Ex			222 (34.1)				30 (29.4)	
Drinking								
Current			454 (69.6)				75 (73.5)	
Never & Ex			198 (30.4)				27 (26.5)	
Education								
High school & over			275 (42.2)				70 (68.6)	
Middle school & low			377 (57.8)				32 (31.4)	

표준화시켜 높은 점수가 언제나 신경 행동학적 검사수행의 양호함을 나타내도록 하였다.

III. 연구결과

직업적인 연노출이 없는 대조군에 비하여 연작업자들의 남성구성비가 높았고 평균연령이 많았다 (Table 1). 양군모두 흡연자와 음주자가 다수를 차지하였으며 연작업자들의 교육수준이 대조군보다 상대적으로 낮았다. 연노출 변수인 혈중 연량 및 슬개골의 연량은 연작업자에서 유의하게 높았다.

연작업자들은 대조군보다 모든 신경행동학적 검사에서 불량한 검사결

과를 나타냈다 ($p<0.05$) (Table 2).

단순상관분석 결과 평균적으로 검사수행능력은 연령증가에 따라 감소하였으며, 낮은 교육수준과 여자들에서 수행능력이 떨어졌다. 직력 증가에 따른 신경행동학적 수행능력은 오히려 좋아지는 경향을 나타낸 경우가 많았으나 통계적으로 유의하지는 않았다 (Table 제시 안함).

노출 및 비노출군을 대상으로 연령, 성별, 교육수준, 음주 및 흡연습관 그리고 체지방을 통제한 후 연노출 변수들인 혈중 연량 및 슬개골 연량에 따른 각각의 신경행동학적 검사에 미치는 영향을 비교한바 Table 3 및 Table 4와 같다. 교란변수들을 통제한 후 혈중 연량이 각 검사의 수행능력

에 미치는 영향을 보면 (Table 3) 14종의 분석항목에서 Colored Progressive Matrices 검사를 제외한 13종의 항목에서 결정계수가 음수를 나타내어 연노출의 증가에 따른 신경행동학적 검사의 수행능력의 저하가 나타났다. 이들 중 8종의 분석결과에서 경계수준이상 ($p<0.10$) 이상의 유의수준으로 수행능력의 저하가 나타났다 (Model 1). 상기분석에서 직력을 포함하여 동일한 중회귀분석을 실시했을 때 직력에 의한 영향은 없었다 (Model 2).

한편 교란변수들을 통제한후 슬개골이 각 검사의 수행능력에 미치는 영향을 보면 (Table 4) Trail-Making 검사 A와 B에서 양수를 나타내었을 뿐 나머지 12개의 분석항목에서는 음수를

Table 2. Neurobehavioral test scores in lead-exposed subjects and controls without occupational lead exposure

Variables	Exposed (N=652)				Non-exposed (N=102)			
	Mean	S.D.	Min	Max	Mean	S.D.	Min	Max
Psychomotor speed								
Simple reaction time (ms)**	286.1	54.7	184.0	775.0	265.1	33.3	201.0	357.0
Simple reaction time SD*	70.1	47.7	21.0	429.0	59.4	33.9	25.0	248.0
Executive abilities								
Trail-Making Test A (seconds)**	47.0	23.6	16.0	263.0	37.8	16.0	16.0	108.0
Trail-Making Test B (seconds)**	98.1	42.0	26.0	350.0	78.0	26.2	37.0	175.0
Digit Symbol Substitution (no. of correct)**	48.8	17.7	6.0	91.0	59.7	16.3	8.00	93.0
Purdue Pegboard, assembly (no. of pieces)**	34.1	6.66	13.6	54.3	38.2	5.27	25.3	49.3
Verbal memory and learning								
Digit Span Test, total (no. of correct)**	10.4	4.03	0	24.0	12.7	3.89	2.00	22.0
Visual memory								
Benton Visual Retention (no. of correct)**	7.9	1.62	0	10.0	8.61	1.29	3.00	10.0
Nonverbal intelligence								
Colored Progressive Matrices (no. correct)**	24.6	5.49	5.00	36.0	28.0	4.63	13.0	36.0
Manual dexterity								
Pursuit Aiming Test (no. correct)**	72.5	25.5	2.00	133.5	89.4	22.3	35.0	148.0
Pursuit Aiming Test (no. incorrect)*	25.9	20.4	0	123.0	20.6	16.2	0	79.0
Purdue Pegboard, dominant hand (no. of pieces)**	14.7	1.84	7.00	20.0	15.7	1.50	11.6	19.6
Purdue Pegboard, nondominant hand (no. of pieces)**	14.2	1.78	5.67	20.3	15.0	1.55	12.0	20.0
Purdue Pegboard, both hand (no. of pieces)**	11.3	1.64	4.33	15.6	12.2	1.38	8.67	16.3

** : $p<0.01$ * : $p<0.05$

Table 3. Linear regression modeling of relations of neurobehavioral test scores with blood lead levels

Neurobehavioral test	Model 1*			Model 2**		
	beta	SE	p value	beta	SE	p value
Psychomotor speed						
Simple reaction time (ms)	-0.0473	0.0157	0.0027	-0.0510	0.0162	0.0017
Simple reaction time SD	-0.0232	0.0095	0.0150	-0.0253	0.0099	0.0112
Executive abilities						
Trail-Making Test A (seconds)	-0.0044	0.0038	0.2491	-0.0051	0.0039	0.1918
Trail-Making Test B (seconds)	-0.0257	0.0125	0.0399	-0.0286	0.0128	0.0255
Digit Symbol Substitution (no of correct)	-0.1619	0.0536	0.0026	-0.1801	0.0547	0.0011
Purdue Pegboard, assembly (no of pieces)	-0.0152	0.0045	0.0009	-0.0189	0.0046	0.0000
Verbal memory and learning						
Digit Span Test, total (no of correct)	-0.0151	0.0043	0.0005	-0.0183	0.0043	0.0000
Visual memory						
Benton Visual Retention (no of correct)	-0.0153	0.0040	0.0001	-0.0170	0.0041	0.0000
Nonverbal intelligence						
Colored Progressive Matrices (no. correct)	0.0333	0.0188	0.0766	0.0326	0.0192	0.0905
Manual dexterity						
Pursuit Aiming Test (no. correct)	-0.0001	0.0041	0.9862	-0.0006	0.0042	0.8937
Pursuit Aiming Test (no. incorrect)	-0.0912	0.1323	0.4910	-0.1018	0.1341	0.4483
Purdue Pegboard, dominant hand (no. of pieces)	-0.0120	0.1225	0.9220	-0.0347	0.1213	0.7749
Purdue Pegboard, nondominant hand (no. of pieces)	-0.0624	0.0548	0.2552	-0.0639	0.0555	0.2505
Purdue Pegboard, both hand (no. of pieces)	-0.2135	0.0920	0.0207	-0.2000	0.0928	0.0316

* Model 1 was controlled for age, sex, educational level, body mass index, smoking and drinking habits.

** Model 2 was controlled for job duration, age, sex, educational level, body mass index, smoking and drinking habits.

나타내었으며 7개의 항목에서 경계수준 ($p < 0.10$) 이하의 유의수준으로 수행능력저하가 나타났다 (Model 1). 반면에 슬개골 분석에서 직력을 추가하였을 경우는 8개의 분석항목에서 유의한 결과를 나타냈으며 신체적 민첩성을 나타내는 검사항목 5가지 중 4가지가 통계적으로 유의하였다 (Model 2).

IV. 고 찰

산업이 다양하게 발달하면서 신경독성물질의 사용도 증가하여 많은 근로자가 노출되고 있어 근로자들의 신경독성에 미칠 가능성도 증가하고 있다 (강성규 등, 1993). 신경독성물질로 인한 신경독성증상은 과거에는 중추신경계의 급성증상만을 생각하고 저

농도의 장기간 노출로 인한 만성독성에 관한 관심은 적었으나 최근 연구에는 저농도 만성 노출로 인한 중추신경장애가 많이 보고 되고 있어, 중추신경계 기능장애를 조기에 발견할 수 있는 신경행동학적 검사에 대한 관심이 커지고 있다 (Hanninen 등, 1998).

또한 Bleeker 등(1997)은 신경독성

Table 4. Linear regression modeling of relations of neurobehavioral test scores with patella lead levels

Neurobehavioral test	Model 1*			Model 2**		
	beta	SE	p value	beta	SE	p value
Psychomotor speed						
Simple reaction time (ms)	-0.0055	0.0026	0.0339	-0.0065	0.0031	0.0337
Simple reaction time SD	-0.0016	0.0016	0.3155	-0.0019	0.0019	0.3150
Executive abilities						
Trail-Making Test A (seconds)	0.0005	0.0006	0.4091	-0.0001	0.0007	0.8693
Trail-Making Test B (seconds)	0.9723	0.4365	0.0263	-0.0017	0.0024	0.4815
Digit Symbol Substitution (no of correct)	-0.0053	0.0089	0.5530	-0.0164	0.0105	0.1183
Purdue Pegboard, assembly (no of pieces)	-0.0018	0.0007	0.0149	-0.0027	0.0009	0.0016
Verbal memory and learning						
Digit Span Test, total (no of correct)	-0.0020	0.0007	0.0045	-0.0027	0.0008	0.0014
Visual memory						
Benton Visual Retention (no of correct)	-0.0021	0.0007	0.0012	-0.0029	0.0008	0.0002
Nonverbal intelligence						
Colored Progressive Matrices (no. correct)	-0.0039	0.0031	0.2101	-0.0048	0.0036	0.1840
Manual dexterity						
Pursuit Aiming Test (no. correct)	-0.0008	0.0007	0.2552	-0.0014	0.0008	0.0712
Pursuit Aiming Test (no. incorrect)	-0.0384	0.0217	0.0769	-0.0599	0.0251	0.0176
Purdue Pegboard, dominant hand (no. of pieces)	-0.0270	0.0201	0.1789	-0.0328	0.0228	0.1501
Purdue Pegboard, nondominant hand (no. of pieces)	-0.0165	0.0090	0.0667	-0.0178	0.0104	0.0889
Purdue Pegboard, both hand (no. of pieces)	-0.0253	0.0159	0.1123	-0.0462	0.0188	0.0140

* Model 1 was controlled for age, sex, educational level, body mass index, smoking and drinking habits.

** Model 2 was controlled for job duration, age, sex, educational level, body mass index, smoking and drinking habits.

증상을 파악하기 위한 신경행동학적 검사방법이 비교적 손쉽고 현장에서 바로 적용할 수 있다는 장점이 있고 민감도가 높아서 선별검사에 매우 유용하게 이용할 수 있다고 하였다. 이러한 신경행동학적 검사는 1950년대에 핀란드에서 개발된 이래 여러 나라에서 연구가 이루어졌으나 일정성을 보이지 않는 경우가 많은바 이는

연구설계나 표준화되지 못한 검사방법의 적용으로 해석되고 있다 (Baker 등, 1984).

그러므로 세계보건기구 (WHO)에서는 검사방법이나 항목 간에 일관성 있는 자료를 얻기 위하여 7가지 검사 항목을 채택하여 신경행동학적 검사 기구 (Neurobehavioral Core Test Battery, NCTB)에 대한 지침서를 마련하였다.

NCTB는 감정상태를 파악하기 위한 POMS (profile of mood states), 주의력과 반응속도측정을 위한 단순반응시간 (simple reaction time), 청각에 의한 단기 기억력을 알기 위한 숫자암기 (digit span), 손동작의 기민함을 측정하는 Santa Ana Dexterity, 인지에 의한 동작 속도를 보기 위한 숫자부호 짝짓기 (digit symbol), 시각인지정도와 단기기

역력 측정을 위한 Benton Visual Retention, 운동의 안정성 측정을 위한 목적 추구성 (pursuit aiming)의 7가지 검사항목으로 구성되어 있다 (WHO, 1986).

Johnson 등(1989)은 이러한 NCTB가 중추신경계의 장애의 조기 증상을 찾는데 매우 민감한 방법일 뿐만 아니라 문화적인 배경 등에도 거의 영향을 받지 않으므로 여러 나라의 연구와 직접 비교도 할 수 있으며 검사 시행시 특별히 훈련된 사람을 필요로 하지 않으며 시간적, 비용적 장점이 있다고 주장한 바 있다.

그러나 본 연구에서는 감정상태를 파악하기 위한 POM검사는 번역상의 문제가 있어 제외하였고, Santa Ana Dexterity 검사대신 Purdue Pegboard 검사로 대신하여 시행하였다.

선행연구들에서 직업적으로 연에 노출된 연작업자들의 혈중연량은 신경행동학적검사의 수행능력감소와 관련이 있음이 보고 되었다 (Balbus-Komfeld 등, 1995, Bleecker 등, 1997). 특히 혈중 연량과 관련이 많은 검사로는 simple reaction time 검사, block design 검사, Santa Ana Dexterity 검사, grooved pegboard 검사, Digit Symbol Substitution 검사 등으로 나타났다 (Balbus-Komfeld 등, 1995). 본 연구에서도 혈중 연량을 연노출 지표들의 증가에 따라 신경행동학적 검사의 수행능력이 감소하였으며, 특히 psychomotor speed를 나타내는 simple reaction time 검사와 executive abilities를 나타내는 검사항목들과 Verbal memory와 learning을 나타내는 Visual memory를 나타내는 Benton Visual Retention 검사들의 수행능력은 혈중 연량의 증가에 따라 유의하게 감소하여 선행연구들과 같은 결과를 나타내었다. 한편, manual dexterity를 나타내는 검사들 중 Purdue Pegboard 양손검사에서만 유의한 차이가 나타났다.

혈중 연량은 최근 3-4 개월 동안의

연 노출에 의한 체내노출정도를 잘 반영하는 반면 누적노출에 의한 체내 연속적의 정도는 잘 나타내지 못한다. 반면에 골중 연은 장기간 연노출로 인한 체내 연 부담을 잘 나타내는 지표로 알려져 있다. 연노출로 인한 신경행동학적 기능의 감소가 급성영향에 의한 것인지 혹은 장기간 노출로 인한 만성영향에 의한 것인지를 규명하고자 Schwartz 등 (2001)은 연작업자들의 혈중 연량과 경골의 연량을 측정하여 이들과 신경행동학적 수행능력과의 관련성을 검토한바 경골의 연량보다 혈중 연량이 신경행동학적 수행능력검사의 좋은 예측변수임이 확인되었다. 경골의 연량은 manual dexterity의 수행능력의 예측에서만 유의한 차이가 나타났을 뿐 다른 검사에서는 영향을 주지 못하였다. 반면에 혈중 연량은 manual dexterity의 수행능력과 유의한 관련이 있었다. 경골의 연은 반감기가 10년 이상인 되는 비교적 안정된 비활성화된 상태로 존재하기 때문에 과거의 연 노출의 정도를 나타내는 지표로서는 의미가 있으나 신경행동학적 수행능력의 저하를 확인하는 지표로는 적절치 않은 것 같다.

반면에 지주골의 연은 비교적 반감기가 짧고 혈액으로 다시 용출할 수 있는 상태로 존재하여 경골보다는 상대적으로 활성화 되어있기 때문에 체내 연 부담 중 건강에 영향을 줄 수 있는 골중 연량으로서 그 의의가 있다. 본 연구에서 trabecular bone의 대표적인 슬개골의 연량의 변화에 따른 신경행동학적 수행능력의 변동을 비교 확인한바 Schwartz 등 (2001)의 경골과 신경행동학적 검사사이의 관련성보다 슬개골의 연량과 신경행동학적 수행능력의 관련성이 높았다. Schwartz 등은 803명의 연작업자들과 135명의 대조군을 대상으로 혈중 연량과 경골을 포함한 연노출 지표들과 신경행동학적 검사 수행능력과의 관

련성을 비교한바 연령 등 관련 교란변수들을 통제한 후 경골의 연량은 14개의 수행검사항목 중 2개의 경우에서만 유의한 관련이 나타났고, 통제변수로 직력을 포함할 경우 유의한 관련이 있는 검사항목이 5개로 증가하였다. 반면에 본 조사에서는 연령 등의 교란변수를 통제한 후 14개의 수행검사항목 중 7개가 유의한 관련이 있었으며, 직력을 함께 고려할 경우 유관검사항목은 8개로 늘었다. 본 조사에서 슬개골의 연량이 신경행동학적 검사들과 더 관련이 높게 나타난 것은 슬개골은 지주골로서 경골보다는 상대적으로 지난 2-3년의 연속적을 나타내고 있기 때문이 아닌가 사료된다. Schwartz 등은 신경행동학적 검사 수행능력이 혈중 연량과 가장 관련이 많고 경골과는 관련이 적다고 보고하였고, 본 연구에서는 혈중 연량과 슬개골의 관련성이 비슷한 수준으로 나타난바 신경행동학적 검사의 수행능력은 비교적 최근 혹은 지난 2-3년의 연노출에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다. 본 연구에서 혈중 연량과 슬개골 연량과 수행능력검사와의 관련성의 차이는 혈중 연량은 manual dexterity 수행능력 검사 5개 항목 중 1개에서만 유의한 관련이 있는 반면 슬개골의 경우 직력이 고려된 중회귀분석에서 4개의 항목이 유의하여 슬개골 연량이 manual dexterity 수행능력의 예측변수로 우수함을 알 수 있었다.

한편 연노출이 없는 정상인과 연작업자들의 신경행동학적 검사 수행능력을 비교한바 연작업자들은 대조군보다 모든 신경행동학적 검사에서 불량한 검사결과를 나타냈다. 잠재적인 교란변수인 연령과 성 그리고 교육수준 및 음주 흡연여부 그리고 체질량지수 (BMI : body mass index)등을 통제 한 후 양군을 비교한바 Digit symbol substitution과 Purdue pegboard의 assembly 검사와 Benton visual retention

검사, Colored progressive matrices 검사, Pursuit aiming test 의 정답 맞춤 검사, 그리고 Purdue pegboard 의 잘 쓰는 손과 잘 안 쓰는 손 및 양손검사에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이로 미루어서 연에 의한 중추신경계 통 독성학적 영향은 보다 광범위한 것으로 확인되었다.

V. 결론

골중 연량이 신경행동학적 검사 수행능력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 연 취급 근로자중 신경질환의 과거력이 없으며 납 이외의 중추신경계에 영향을 줄 수 있는 유기용제, 수은, 비소 등에 노출되고 있지 않고 본 연구에 참여하기로 동의하는 652 명의 근로자들을 대상으로 하였다. 또한 연노출이 없는 일반 제조업 근로자 102명을 대조군으로 선정하여, 총 754명을 연구대상으로 하였다.

연노출 변수로는 골중 연량으로 슬개골 연량을 측정하였으며 아울러 혈중 연량도 측정하였다. 또한 연구대상자들의 일반적 특성을 알기 위하여 성, 연령, 과거력, 교육정도, 직력, 작업부서, 비만도, 음주 및 흡연습관 등을 표준화된 설문을 통하여 조사하였다. 신경계통의 과거력유무를 확인하기 위하여 설문 및 문진이 산업의학 전문의에 의해 동시에 이루어졌다.

연구결과는 다음과 같다.

1. 직업적 연노출이 없는 대조군보다 연작업자들에서 모든 신경행동학적 검사항목의 수행능력이 감소하였다.

2. 교란변수(연령, 성, 교육수준, 직력, BMI, 음주 및 흡연습관)를 통제 한 후 혈중 연량의 증가에 따른 신경행동학적 검사의 수행능력은 14개의 검사항목 중 13개 검사항목에서 악화되는 것으로 나타났으며, 이 들 중 단순반응검사 2종, trail-making 검사 B

형, Digit symbol substitution 검사, Purdue pegboard 조합검사, Digit span 검사, Benton visual retention 검사 그리고 Purdue pegboard 양손검사 등 8개 항목은 통계적으로 유의하였다.

3. 교란변수(연령, 성, 교육수준, 직력, BMI, 음주 및 흡연습관)를 통제 한 후 슬개골 연량의 증가에 따른 신경행동학적 검사의 수행능력은 14개의 검사항목 중 12개 검사항목에서 악화되는 것으로 나타났으며, 이 들 중 단순반응검사(MS), Purdue pegboard 조합검사, Digit span 검사, Benton visual retention 검사, Pursuit aiming test 검사, Purdue Pegboard 비사용 손의 검사 그리고 Purdue pegboard 양손검사 등 9개 항목은 통계적으로 유의하였다.

이상의 결과로 보아 혈중연량 및 슬개골 연량 모두 신경행동학적 검사 수행능력의 저하와 관련이 있었으며, 슬개골 연량은 Manual dexterity 수행능력을 평가하는 가장 민감한 예측변수로 나타났다.

REFERENCES

강성규, 정호근, 홍정표, 김기웅, 조영숙. 유기용제 폭로 근로자들에 대한 신경행동 검사에 관한 연구. 예방의학회지 1993;26(2):210-221

이종영, 이채용, 김지숙, 이상재, 박완섭 등. 브라운 제조회사 산화납 취급 근로자들의 신경행동학적 영향. 대한산업의학회지 1997;9(2):208-216

Balbus-Kornfeld JM, Stewart W, Bolla KI, Schwartz BS. Cumulative exposure to inorganic lead and neurobehavioral test performance in adults; An epidemiological review. Occup Environ Med 1995;52:2-12

Baker EL. Neurologic and behavioral disorders. In Levy BS, Wegman DH

eds., Occupational health; Recognition and prevention of work-related disease. Boston, Little Brown Co., 1982

Baker EL, Feldman RG, White RA, Harley JP, Niles CA, et al. Occupational lead toxicity; A behavioral and electrophysiological evaluation. Study design and year one results. Br J Ind Med 1984;41: 352-361

Bleecker ML, Lindgren KN, Ford DP. Differential contribution of current and cumulative indices of lead dose to neuropsychological performance by age. Neurology 1997;48:639-645

Fernandez FJ. Micromethod for lead determination in whole blood by atomic absorption with use of graphite furnace. Clin Chem 1975;21: 555-561

Hanninen H, Aitton A, Kovala T. Occupational exposure to lead and neuropsychological dysfunction. Occup Environ Med 1998;55:202-209

Johnson BL. Advances in neurobehavioral toxicology. Michigan : Lewis Publishers, 1989; pp211-213

Lee BK. The role of biological monitoring in the health management of lead-exposed workers. Toxicol Lett 1999; 108(2): 149-160

Schwartz BS, Stewart WF, Todd AC, Links JM. Predictors of dimercaptosuccinic acid chelatable lead and tibial lead in former organolead manufacturing workers. Occupational and Environmental Medicine 1999; 56(1): 22-29

Schwartz BS, Lee BK, Lee GS, Stewart WF, Lee SS, et al. Associations of blood lead, dimercaptosuccinic acid-chelatable lead, and tibia lead with neurobehavioral test scores in South Korean lead workers. Am J Epidemiol. 2001;153(5):453-64

Stewart WF, Schwartz BS, Simon D. Neurobehavioral function and tibial and

- chelatable lead levels in 504 former organolead workers *neurology* 1999;52:1610-1617
- Stokes L, Letz R, Gerr F. Neurotoxicity in young adults 20 years after childhood exposure to lead: the Bunker Hill experience. *Occup Environ Med* 1998;55:507-516
- Todd AC, Landrigan PJ, Bloch P. Workshop on the X-ray fluorescence of lead in bone: conclusions, recommendations and summary. *Neurotoxicology* 1993 ;14(1):145-54
- Waldron HA. Lead poisoning in the ancient world. *Med Hist* 1973; 17: 391-399
- WHO. Field evaluation of WHO neurobehavioral core test. Geneva, 1986