

도시거주자의 혈중 카드뮴 농도와 간 및 신장 기능과의 상관성 평가

김호현, 임영욱*, 임종한**, 양지연, 신동천*

연세대학교 환경공해연구소, *서남대학교 환경보건학과
**인하대학교 산업의학과

Effective Factors on Association between Liver/kidney Function and Blood-Cd Level in the Korean Urban People

Ho-Hyun Kim, Young-Wook Lim*, Jung-Han Lim**,
Ji-Yeon Yang and Dong-Chun Shin*

Institute for Environmental Research, Yonsei University
**Dept. of Environmental Health, Seonam University*
***Dept. of occupational medicine, Inha University*

Abstract

The possibility that liver and kidney function is adversely affected by current levels of environmental exposure to cadmium (Cd) as investigated in adult men and women in the general population in Seoul. From February to August in 2001, blood and morning spot urine samples were collected from 136 not occupationally exposed group (age range 20~75 years) at 4 survey sites throughout seoul. Liver and kidney function parameters in serum and urine were examined by conventional methods. The questionnaire included factors, i.e. sex, age, smoking, alcohol, diet habit etc. The geometric mean values for Cd in blood (Cd-B) were 1.43 µg/l. It seemed prudent to conclude that liver and kidney function as not disturbed by the current environmental exposure to Cd in study.

Key words : Cadmium, Liver and kidney function, Environmental factors

서 론

카드뮴 (Cd)은 저농도로 환경 중에 자연적으로 존재하며 (Lopez-Artiguez 등, 1993), 많은 산업화된 도시에 잠재적 환경오염물이다 (Buchet 등, 1983). 환경중의 카드뮴 (Cd) 노출은 인체 내에서의 반감기가 길기 때문에 중요한 의미를 가지는 유독성의

물질이다 (Buchet 등, 1983; Ikeda 등, 1989, 1995; Muller and Anke, 1994). 지금까지 조사된 바에 의하면 여러 경로를 통해 체내에 들어온 카드뮴의 체내 분포에 있어 표적장기는 간 (liver)과 신장 (kidney)이다 (Suzuki, 1980). 인체 내 흡수된 카드뮴은 혈액을 통해 체내에서 이동되며, 흡수량의 50% 정도가 간과 신장에 분포하게 되며 생물학적 반감기가 간에서는 4.7~9.7년, 신장에서는 10~30년 정도의 반감기를 가진다고 보고되고 있다 (Ellis 등, 1895). 그러나 물질에 대한 중요성에도 불구하고

※ To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-2-361-5361, E-mail: dshin5@yumc.yonsei.ac.kr

고 카드뮴의 독성에 대한 관심은 비교적 늦은 편이어서, 1932년 Prodan이 처음으로 인체에 미치는 영향을 기술하였고, 그 후 Friberg (1950)가 카드뮴 취급 근로자에게 폐기종과 신기능장애를 보고한 이래 비로소 카드뮴의 독성학적인 면에 대한 관심이 높아졌다 (Itokawa 등, 1973; Goering 등, 1995).

카드뮴의 주요 발생원으로는 화산활동, 철강산업 및 산업용 기계 부품재료로 사용되며, 아연 제련시 부산물로 카드뮴이 생성되며, 알카리 배터리, 구리와 같은 다른 금속의 합금에 이용됨으로써 대기 중으로 방출되기도 한다. 유럽의 경우 주요 배출원으로 철강산업, 소각로, 화산활동, 아연 생산에 의한 카드뮴노출을 주 오염원으로 여기고 있으며, 쓰레기 발생률이 높아짐에 따라 소각장의 운영으로 인한 소각시 카드뮴오염이 점점 증가한다고 보고 있다. 직업상의 노출이 없는 인구집단에서도 직·간접적으로 노출되고 있는데, 일반적으로 카드뮴의 인체 노출은 비흡연자의 경우 음용수와 오염된 토양에서 자란 농작물과 같은 음식류가 주요 원인이며 (Lopez-Artiguez 등, 1993), 흡연이 혈중카드뮴의 농도의 증가를 야기한다고 보고하고 있다 (Buchet 등, 1983; Cikt 등, 1992).

수치상 조금의 차이는 있으나 유럽과 미국에서는 많은 식료품에 카드뮴이 함량 되어 있으며 일일평균 10~30 µg을 섭취하는 것으로 평가하고 있다 (WHO, 1987; Herber 등, 1997). 환경 중 카드뮴 노출은 공기, 물, 음식물, 흡연 등 다경로로 노출되며, 음식물에 의해서는 일생동안 10 µg/person/day (0.14 µg/kg-day) 카드뮴에 노출되며, 채소류 (vegetables), 감자류 (potatoes), 우유 (milk) 등이 주요오염원으로 간주하고 있으며 (FDA, 1993), 유럽과 미국에서도 대기 질에 의한 환경노출도 카드뮴축적의 한 원인으로 간과하지 않고 있다 (WHO, 1987; Vahter 등, 1991). 카드뮴노출에 의한 건강 영향인 신장기능장애, 폐질환, 칼슘신진대사이상작용 등은 가장 두드러진 영향이라고 보고되고 있으며 (Jin 등, 1998), 미량의 카드뮴에 장기간 폭로시에는 만성적인 장애가 나타날 수 있는데, 이는 체내에 흡수된 카드뮴이 초기에는 간장에 침착되었다가 시간이 지남에 따라 간장에 침착된 카드뮴이 혈액을 통해 신장으로 이동하여 마침내 신장조직에 축적된다. 이에 본 연구에서는 일부 도시생활자들을 대상으로 혈중 카드뮴의 분포를 파악하고 간 및 신

장기능을 반영하는 지표들을 비교·분석하여, 간 및 신장기능과 혈중 카드뮴과의 관련성 정도를 살펴보고자 한다.

연구 및 방법

1. 연구대상

서울지역을 대상으로 대표적인 거주 지역인 3개 지역 (강북, 강서, 강남)을 대상으로 지원자를 모집하였다. 서울시에 거주한 시기가 모집시기 전 3년 이상 거주한 직업적으로 환경 중 카드뮴노출이 없는 성인 남녀들을 대상으로 선별하였으며, 편중된 연구대상자에 대한 사전예방을 위해 성별, 연령별 고른 분포를 위해 노력하였고, 최종적으로 일반인 남녀 142명을 대상으로 임상검사 및 채혈하였다. 설문조사를 통해 성별, 연령, 흡연유무 및 일일 흡연량 등의 기본조사를 실시하였으며, 식습관에 관한 설문도 함께 병행하였다.

2. 시료채취 및 분석

연구대상자의 임상검사 및 중금속분석을 위한 채혈은 2001년 2~8월에 걸쳐 실시하였으며, 시료들은 2001년 5~10월 각각 분석 실시하였다.

1) 혈액시료채취 및 분석

혈액의 응고방지를 위해 EDTA로 처리된 3ml 진공채혈관 (vacutainer, Beckton & Dicktion, U.S)을 사용하여 정맥혈을 직접 채혈한 후 드라이 아이스 (dry ice)에 저장하여 이송된 것을 -70°C에서 보관하였다. 분석 전 혈액시료를 상온에서 서서히 녹인 다음, 진공채혈관 (Vacutainer tube)을 충분히 흔들어 혈액과 EDTA가 잘 섞이도록 한 후, 이 중에서 0.2 ml을 취하여 triton X-100 용액으로 희석하여, 시료 혼합기를 이용하여 수초간 혼합한 후, 자동시료주입기 (Auto-sampler)에 장착하여 분석한다. 분석효율을 높이기 위해 혈액시료 0.25 ml에 1% triton-x 0.5 ml, 10% 암모니아 질산염 (ammonium nitrate) 0.1 ml, 탈이온수 0.9 ml와 20% TCA 0.75 ml를 순서대로 넣고 충분히 혼합한 후 원심분리기를 이용하여 5000 rpm에서 30분 동안 원심분리 한 후 상층액을 취하여 분석 실시 하였다. 혈중카드뮴의 정량분석은 흑연로 원자흡수분광광도계 (graphite

furnace atomic absorption spectrometer : GF-AAS, Varian GTA-96, Australia)에 자동시료주입기 (auto-sampler)를 장착하여 사용하였다 (Moon *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 1997a). 모든 실험은 2회 반복 측정하되, 반복측정값의 변이 (C.V.)가 5%를 초과할 경우 4회까지 측정하도록 하였다. 분석시의 조건은 222.8 nm의 분석선에서 분석하였으며, slit 너비는 0.5 nm이었다. 시료를 85°C에서 5초간 건조시키고 95~300°C지 다단계로 온도를 상승시키며 회화시켰으며, 1900°C서 2초간 원자화시켰다. 퍼지 가스 (purge gas)로는 아르곤 (Argon : 99.999%)을 사용하였다. 시료 주입량은 20 µl이었으며, 2회 반복 측정하도록 하였다.

3. 임상검사

연구 대상자들의 기초 임상검사를 위해 비만도, 혈압, 간기능 검사, 신기능 검사 등의 문진에 의한 건강 진단 등을 실시하였으며, 총 대상인원은 142명이나 6명의 소변 및 혈액의 누락으로 총 136명의 임상결과만을 사용하였다.

1) 간기능 검사

간기능 검사는 총단백질 등 지방의 영향을 받는 항목도 있으므로 아침 일찍 공복시에 채혈을 하였다. 채혈한 혈액이 용혈 되면 수치가 상승되는 항목도 있으니 주의하고, 근육주사나 격렬한 운동 후에 상승되는 경우에 대비하여 안정된 상태에서 채혈했다. 간기능 검사항목은 T-protein, Albumin과 간세포의 파괴 및 사멸의 유무와 정도를 검사할 수 있는 혈청 GOT, GPT, Bilirubin과 담관과 담도계의 장애유무를 살필 수 있는 ALP, γ -GTP, Bilirubin을 조사하였다. 6 ml를 채혈하여 분석은 항목별 전처리 후 임상병리분석기기인 Hitachi 747 Autoanalyzer (Hitachi, Tokyo)로 수행하였다.

2) 신장기능 검사

단백이 몸속에서 분해되었을 때 만들어지는 물질의 하나가 요소이다. 요소는 모두 신장으로 배설되기 때문에, 신장의 배설기능이 저하되면 혈액 중에 고이게 되어 혈액중의 요소를 측정함으로써 신장의 배설능력을 평가할 수 있다. 요소는 질소를 포함하고 있으므로, 그 질소를 측정하여 나타낸다 (요소질소 : BUN). Creatinine은 근육내의 크레아틴

으로부터 생겨나는 최종산물이다. 하루의 생산량은 개인의 근육내의 양에 비례하며, 정상상태에서는 그 생산량이 배설량에 일치한다. 이것이 상승하면 신장기능의 장애를 의미한다. 신기능 검사는 수분 섭취량이 적거나 격렬한 운동을 하고 난 후, 외상, 소화관출혈, 발열이 있으면 요소질소는 약간 상승하고 단백질의 과잉섭취를 계속해도 요소질소는 약간 상승할 수 있으니 검사전 2~3일전에 과격한 운동, 단백질의 과잉 섭취를 제한하도록 하고, 아침 공복시 채혈하였다. 분석은 항목별 전처리 후 임상병리분석기기인 Hitachi 747 Autoanalyzer (Hitachi, Tokyo)로 수행하였다.

4. 통계분석

분석된 혈중 카드뮴 농도와 혈청에서 분석한 생화학 변수의 수치는 기하평균 (geometric mean : GM), 기하표준편차 (geometric standard deviation : GSD)로 나타내었으며, SAS 프로그램을 이용하여 통계분석하였다. 개인특성 및 혈중 중금속과 간기능 및 신장기능의 분포는 t-test, ANOVA 분석을 실시하였고, 혈중 카드뮴과 상관 변수 (serum biochemistry parameters : Ikeda 등, 1997)들과의 관련성분석은 로지스틱 (logistic regression)분석을 실시하였다.

결 과

1. 혈중 카드뮴 농도 평가

최대 극한치를 제외하고 혈중 카드뮴의 분포를 살펴본 바 전체 평균 1.43 µg/l (미검출~17.24 µg/l)이며, log-normal 분포를 나타냈다. WHO (2001)에서 제시한 혈중 카드뮴 권고치인 5 µg/l를 초과하는 대상자수는 38명 (26.8%), 5 µg/l 이하범위내의 대상자수는 88명 (61.9%)이며, 검출한계이하인 대상자수는 16명 (11.3%)의 분포를 나타냈다. 참고적으로 특정 직업적/환경적으로 노출이 없는 일반인의 혈중 카드뮴 농도는 일반적으로 0.5~2 µg/l의 분포를 보인다 (Moyer, 1999).

2. 간 및 신장기능 검사 결과

1) 문진 및 기초 임상 검사 평가에 따른 유소견자 현황 전체 조사대상자들의 혈중 카드뮴 농도를 분류

하여 간질환자, 신장질환자, 간 및 신장질환자로 나누었으며, 남성과 여성 각각 연령대별 분포를 Table 1에 제시하였다. 각 그룹에는 간 및 신장질환자 뿐만 아니라 간 및 신장질환주의를 받은 연구대상자들도 포함되었으며 본 논문에서는 간 및 신장질환자라고 표현하도록 한다. WHO (2001)에서 제시한 혈중 카드뮴 일반인의 권고치 5 µg/l를 초과한 조사대상자 35명 중 간질환자의 경우 9명(남성 8명, 여성 1명), 신장질환자는 여성 3명, 두 질환모두 이상소견을 보인 조사대상자가 2명(남성 1명, 여성 1명)의 분포를 보였으며, 기준치 이내자 (0.01 ≤ B-cd < 0.5) 85명 중 간질환자는 17명(남성 12명, 여성 5명), 신장질환자는 여성 11명, 기준치 범위 내에서 간 및 신장기능 모두 이상소견을 보인 조사대상자가 4명(남성 3명, 여성 1명)으로 나타났으며, 검출한계이하그룹에서는 간질환자 5명(남성 3명, 여성 2명), 신장질환자는 여성 1명, 두 질환모두 이상소견을 보인 조사대상자는 없는 것으로 조사되었다.

3. 간 및 신장질환에 따른 혈중 카드뮴 농도 비교

1) 질환유무 및 연령대별 혈중 카드뮴 농도 비교
조사대상자들을 간 및 신장질환그룹과 정상그룹

간의 혈중 카드뮴 농도의 차이를 살펴보기 위해 간 및 신장질환유무 및 성별로 나누어 비교한 결과를 Table 2에 제시하였다. 남성의 경우 이상소견을 보인 그룹(n=27)이 정상그룹(n=37)에 비해 혈중 카드뮴 농도가 유의하게 (p<0.05) 높았으며, 여성의 경우는 정상그룹(n=47)이 간 및 신장질환 그룹(n=25)보다 높은 혈중 카드뮴 농도를 나타냈다. 총 조사대상자의 혈중 카드뮴농도는 정상그룹이 1.68 µg/l, 간 및 신장질환그룹이 1.33 µg/l로 나타나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 조사 대상자의 성별에 의한 혈중 카드뮴 농도를 비교하기 위해 질환유무 및 성별로 나누어 혈중 카드뮴 농도를 살펴보았으나, 유의한 차이는 나타나지 않았다.

2) 흡연여부에 따른 혈중 카드뮴 농도

질환유무에 따른 혈중 카드뮴 농도 수준을 파악하기 위해 흡연유무 및 성별에 따라 분류하여 Table 3에 나타내었다. 정상 그룹의 남성흡연자의 혈중 카드뮴 농도는 1.49 µg/l이며, 남성비흡연자는 0.94 µg/l로 흡연자들이 비흡연자들에 비해 높은 결과를 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았고, 정상그룹의 여성들은 비흡연자가 대다수이므로 평가에서 제외하였다. 간 및 신장질환그

Table 1. Distribution of liver and kidney dysfunction by concentration group in male and female (unit : µg/l)

Concentration group	Function	Sex	Age (year)		
			20~39	40~59	Above 60
0.5 ≤ Cd-blood (35) ¹⁾	Liver dysfunction (9) ²⁾	Male	6	1	1
		Female	1	-	-
	Kidney dysfunction (3) ²⁾	Male	-	-	-
		Female	2	1	-
	Liver/kidney dysfunction (2) ²⁾	Male	-	1	-
		Female	-	-	1
0.01 ≤ Cd-blood < 0.5 (85) ¹⁾	Liver dysfunction (17) ²⁾	Male	6	6	-
		Female	3	2	-
	Kidney dysfunction (11) ²⁾	Male	-	-	-
		Female	3	7	1
	Liver/kidney dysfunction (4) ²⁾	Male	1	1	1
		Female	1	-	-
Cd-blood < 0.01 (16) ¹⁾	Liver dysfunction (5) ²⁾	Male	1	2	-
		Female	-	2	-
	Kidney dysfunction (1) ²⁾	Male	-	-	-
		Female	-	1	-
	Liver/kidney dysfunction (-) ²⁾	Male	-	-	-
		Female	-	-	-

¹⁾number of subjects; ²⁾number of distribution of liver and kidney dysfunction

Table 2. Comparison of normal group and liver/kidney dysfunction group for blood cadmium concentration (unit : µg/l)

	Age	Normal group			Liver/kidney dysfunction group			P-value
		n	GM ¹⁾	GSD ²⁾	n	GM ¹⁾	GSD ²⁾	
Male		37	1.15	5.52	27	1.35	8.97	<0.05*
Female		47	2.27	5.63	25	1.31	6.16	N.S ³⁾
Total		84	1.68	5.71	52	1.33	7.41	N.S ³⁾
Male	20~39	19	1.80	5.47	14	2.08	6.80	N.S ³⁾
	40~59	11	0.52	7.23	11	0.59	11.90	N.S ³⁾
	above 60	7	1.20	2.05	2	6.16	3.22	-
Female	20~39	17	2.31	6.37	10	2.85	3.09	N.S ³⁾
	40~59	27	2.13	5.66	13	0.62	7.47	N.S ³⁾
	above 60	3	3.70	3.82	2	3.54	7.39	-

¹⁾GM : geometric means; ²⁾GSD : geometric standard deviations; ³⁾NS : not significant

Table 3. Distribution of blood cadmium concentration for smoking habit (unit : µg/l)

Class	Sex	Smoker			Non-smoker			P-value
		n	GM ¹⁾	GSD ²⁾	n	GM ¹⁾	GSD ²⁾	
Normal group	Male	16	1.49	5.92	21	0.94	5.31	N.S ³⁾
	Female	1	11.02	-	46	2.19	5.65	-
Liver/kidney dysfunction group	Male	15	1.51	7.70	12	1.24	10.80	N.S ³⁾
	Female		-		25	1.31	6.16	-

¹⁾GM : geometric means; ²⁾GSD : geometric standard deviations; ³⁾NS : not significant

룹의 경우 남성흡연자가 비흡연자에 비해 다소 높게 나타났으나, 정상그룹과 동일하게 유의한 차이는 나타나지 않았다. 흡연자의 경우 간 및 신장질환그룹이 간 및 정상그룹보다 다소 높게 측정되었고, 비흡연자의 경우에도 간 및 신장질환그룹이 높은 분포를 보였다. 두 결과 모두 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3) 간 및 신장 기능 지표들과 혈중 카드뮴 농도 분포
 혈중 카드뮴 농도그룹에 따른 간 및 신장 기능 지표들의 수치범위를 파악하기 위해 네가지 ($5 \leq B-cd < 10$, $10 \leq B-cd$, $2.5 \leq B-cd < 5$, $B-cd < 2.5$) 범위로 분류하여 조사한 결과는 다음과 같다. T-protein과 GOT의 경우 혈중 카드뮴이 높은 그룹이 T-protein 및 GOT의 혈청수준이 상승하는 유의한 ($p < 0.05$) 차이를 보였으며, Albumin과 GPT, γ -GTP은 혈중 카드뮴이 높은 농도그룹이 혈청수준이 상승하는 경향으로 조사되었으나 통계적인 유의성은 없었다. T-bilirubin과 ALP의 경우 그룹간

의 유의한 농도 차이를 보이지 않았고, 신장 기능 지표인 BUN, Creatinine의 경우에도 그룹간의 유의한 농도 차이를 보이지 않았으며, 모든 간 및 신장 기능변수들에서 정상범위를 벗어나는 그룹은 없었다. Ikeda 등(2000)의 연구에서는 혈중 카드뮴 농도 분류별 ($B-cd < 1.67$, $1.67 \leq B-cd < 2.51$, $2.51 \leq B-cd$)로 각 기능변수들의 수치평균을 살펴본 결과 ALP만이 혈중 카드뮴농도가 높은 그룹에 비례해서 상승함을 보였으며 통계적으로 유의 ($p < 0.05$) 하게 나타났다. 간 및 신장지표들간의 상관분석을 통해 알아본 결과 GOT와 GPT의 상관계수는 0.46, GOT와 γ -GTP의 상관계수는 0.42로 조사되었고, GPT와 γ -GTP의 상관계수는 0.82로 높은 상관성을 보여주었다. 본 연구결과 중 GOT만이 유의한 결과를 나타냈지만, GPT, γ -GTP의 결과도 통계적으로 유의하지는 않았으나 혈중 카드뮴농도가 높은 그룹에 비례해서 상승함을 보여 상관분석결과와 일치함을 확인할 수 있었다.

Table 4. Distribution of blood cadmium concentration for liver/kidney function parameter

Class	Criteria	Range of blood cadmium concentration					
		Total GM ¹⁾ ±GSD ²⁾	B-cd < 2.5	2.5 ≤ B-cd < 5 GM±GSD	5 ≤ B-cd < 10 GM±GSD	10 ≤ B-cd GM±GSD	
		n	52	33	17	18	
Liver	T-protein	5.8~8.1	7.328±1.10*	7.24±1.07	7.28±1.06	7.40±1.04	7.58±1.04
	Albumin	3.1~5.2	4.564±1.06 ^{NS3)}	4.49±1.08	4.59±1.10	4.60±1.04	4.64±1.06
	T. bilirubin	0.1~1.3	0.766±1.59 ^{NS3)}	0.81±1.75	0.75±1.48	0.78±1.58	0.724±1.42
	ALP	102~333	174.11±1.33 ^{NS3)}	174.11±1.33	189.30±1.34	173.15±1.41	162.63±1.33
	GOT	7~38	24.13±1.60*	22.26±1.54	23.98±1.48	22.56±1.56	30.12±1.99
	GPT	7~43	25.71±1.69 ^{NS3)}	23.46±1.73	24.46±1.62	26.42±1.65	30.60±1.68
	γ-GPT	m ⁴⁾ 10~87 f ⁵⁾ 8~39	27.04±1.94 ^{NS3)}	23.05±1.96	27.43±1.97	27.93±1.80	35.56±1.85
Kidney	BUN	7.8~22.0	12.80±1.30 ^{NS3)}	13.15±1.27	12.40±1.27	12.46±1.29	12.38±1.42
	Creatinine	0.5~1.5	1.02±1.52 ^{NS3)}	0.98±1.20	1.16±2.17	0.96±1.18	0.94±1.23

* p < 0.05

¹⁾GM : geometric means; ²⁾GSD : geometric standard deviations; ³⁾N.S : not significant; ⁴⁾m : male; ⁵⁾f : female**Table 5.** Distribution of liver and kidney dysfunction by diet habit

(unit : μg/l)

Diet habit	n	Blood-Cd	Liver	Dysfunction	Kidney	Dysfunction
		GM ¹⁾ ±GSD ²⁾	n	%	n	%
Mix	72	1.50±6.48	20	27.8	13	18.1
Meats	12	1.66±6.99	6	50.0	2	16.7
Fishes	35	1.76±5.20	8	22.9	5	35.0
Vegatables and fruits	17	1.26±8.15	3	17.6	1	5.90

¹⁾GM : geometric means; ²⁾GSD : geometric standard deviations

4) 식습관에 의한 혈중 카드뮴 농도 및 간 및 신장질환자 분포

식습관에 따른 실제적인 혈중 카드뮴 및 간 및 신장질환자들의 분포를 살펴보았다 (Table 5). 식습관에 따른 그룹별 인원에는 많은 차이가 있으나 혈중 카드뮴 농도는 생선류(1.76±5.20 μg/l) > 육류(1.66±6.99 μg/l) > 혼식(1.50±6.48 μg/l) > 채소 및 과일류(1.26±8.15 μg/l)의 우선 순위로 나타났으며, 간질환자의 분포는 육류 > 혼식 > 생선류 > 채소 및 과일류, 신장질환자의 분포는 생선류 > 혼식 > 육류 > 채소 및 과일류의 우선 순위를 보였다. 채소 및 과일류를 주로 섭취하는 그룹이 혈중 카드뮴 농도가 가장 낮은 분포를 보였으며, 간 및 신장질환자들의 분포 또한 채식 및 과일류를 주로 섭취하는 그룹이 간 및 신장질환자의 분포가 가장 낮은 것으로 나타났다.

식품의약품 안전청 독성연구소의 2002년도 ‘내

분비제 장애물질의 위해성평가(III)’ 보고서에 의하면 1990~1999년까지의 식품자료를 이용해 카드뮴의 오염도조사 및 인체노출평가 결과 생선류(fishes) 251.29 ppb, 해조류(seaweeds) 161.5 ppb, 채소류(vegetables) 20.19 ppb, 과일류(fruits) 8.56 ppb 등으로 조사되었으며, 1일 인체 노출량의 평가시 생선류(fishes, 49%) > 곡류(grains, 23%) > 채소류(vegetables, 16%) > 과일류(fruits, 5%)의 우선 순위로 나타나 카드뮴의 노출이 생선류에 의한 영향이 큰 것으로 보고하였다.

5) 간 및 신장기능에 영향을 미치는 관련성 분석

간과 신장기능에 영향을 미치는 여러 변수들의 관련성을 알아보기 위해 간 및 신장이상조건을 보인 그룹과 정상그룹으로 나누어 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 간 및 신장기능에 영향변수로는 혈중 카드뮴, 연령, 식습관(육류, 생선류, 채소류 및 과일류), 흡연여부, 성별, 음주습관 등의 변수를 사

용하였으며, 교호작용의 영향을 살펴보기 위해 혈중 카드뮴의 변수와 흡연여부를 한 변수로 해서 간 및 신장기능의 관련성 여부를 살펴보았다 (Table 6, 7).

(1) 신장기능에 영향을 미치는 환경요인에 대한 회귀분석

신장기능에서의 여러 관련변수들을 살펴보면, 통계적인 유의성은 없지만, 혈중 카드뮴 농도가 WHO-일반인 권고치 5 µg/l를 초과하는 그룹이, 5 µg/l 이하인 그룹에 비해 신장질환에 걸릴 확률이 1.3배 높은 것으로 나타났으며, 성별 (Sex; p<0.05) 이 신장기능과의 유의성 있는 변수로 나타났다. 신장기능에서의 다른 변수들의 평가에서는 흡연의

변수가, Odds ratio (O.R; 3.086)가 가장 큰 것으로 나타났으며, 음주습관이 (O.R; 1.922) 흡연 다음으로 높은 Odds ratio를 보였다. 신장기능에서의 식습관의 변수 또한 유의하게 나타나지는 않았으며, 회귀모델의 설명력은 75%였다.

(2) 간기능에 영향을 미치는 환경요인에 대한 회귀분석

본 연구에서 수행한 간기능 검사 항목 중 GOT, GPT, bilirubin 등의 검사목적은 간세포의 파괴 및 사멸의 유무와 정도를 살펴며, 간염 및 간괴사 등의 질병을 유발한다. ALP, γ-GTP 및 bilirubin 등의 항목은 담관과 담도계의 장애유무를 관찰하며 담즙정체의 질병이 오는 것으로, 간기능 검사항목에

Table 6. Results of logistic regression analysis for kidney

Class	Explanatory variable	Model	
		Regression coefficient	Odds ratio (95% range)
Kidney	Blood-Cd	2.588×10^{-1}	1.295 (0.382, 4.397)
	Age	5.825×10^{-1}	1.790 (0.579, 5.539)
	Smoking	1.127	3.086 (0.464, 20.523)
	Meats	1.044×10^{-1}	1.110 (0.186, 6.614)
	Fishes	-5.888×10^{-1}	0.555 (0.171, 1.803)
	Vegatables and fruits	-1.658	0.191 (0.021, 1.727)
	Alchol	6.535×10^{-1}	1.922 (0.624, 5.726)
	Sex	-1.993	0.136 (0.027, 0.693)

Table 7. Results of logistic regression analysis for liver

Criterion variable	Explanatory variable	Model	
		Regression coefficient	Odds ratio (95% range)
GOT	Blood-Cd	1.559×10^{-1}	1.169 (0.735, 1.857)
	Smoking	-7.670×10^{-3}	0.992 (0.980, 1.005)
Bilirubin	Age	-6.506	0.522 (0.065, 4.166)
	Meats	-1.759×10^{-1}	0.839 (0.063, 11.198)
	Fishes	1.108	3.029 (0.108, 51.072)
	Sex	-1.162	0.313 (0.038, 2.581)
	Alchol habit	-1.858	0.156 (0.018, 1.385)
	Blood-Cd*smoking	2.520	12.423 (0.088, 999.99)
	ALP	Blood-Cd	7.960×10^{-2}
γ-GTP	Smoking	-5.790×10^{-3}	0.994 (0.984, 1.005)
	Bilirubin	Age	3.507×10^{-1}
Bilirubin	Meats	-1.116	0.328 (0.046, 2.331)
	Fishes	9.423	2.566 (0.245, 26.839)
	Vegatables and fruits	2.047	1.227 (0.219, 6.862)
	Sex	-6.948×10^{-1}	0.499 (0.102, 2.437)
	Alchol habit	-2.963	0.744 (0.144, 3.841)
	Blood-Cd*smoking	2.112	8.260 (0.209, 326.860)

따라 분류하여 분석하였다. 간기능 검사항목별로 살펴본 Table 7의 결과는 로지스틱 회귀분석을 실시하였으며, 간 기능과 여러 환경요인과의 관련성 여부를 살펴보았다. 먼저 간기능에 대한 회귀분석 결과를 살펴보면 GOT, GPT, Bilirubin 그룹에서는 혈중카드뮴과 흡연의 교호작용을 살핀 변수가 Odds ratio (O.R; 12.423)이 가장 큰 것으로 나타났으며, 식습관의 변수 중 생선류만이 Odds ratio가 3.029 (0.108, 51.072)로 나타났으며, 회귀모델의 설명력은 88%였다. 간기능 검사 항목별 두 번째 그룹인 γ -GTP, ALP, Bilirubin 그룹에서도 식습관의 변수 중 생선류의 Odds ratio가 2.566 (0.245, 26.839), 채소 및 과일류의 Odds ratio가 1.227 (0.219, 6.862)로 나타났으며, 혈중 카드뮴과 흡연의 교호작용을 살핀 변수가 Odds ratio (O.R; 8.260)이 가장 큰 것으로 나타났다. 회귀모델의 설명력은 69%였다.

고 찰

현재까지 발표된 자료들의 인체시료에서의 카드뮴 (Cadmium)의 노출은 혈액 (whole blood), 뇨 (urine), 모발 (hair), 산모의 모유 (breast milk) 등으로 인체내의 축적정도를 평가하였다 (IPCS, 1992). 그 중 혈중 카드뮴 (Blood-Cd)은 환경과 직업적 카드뮴 노출의 생체지표 (biomarker)로서 단기간 (short-term)의 카드뮴 노출과 장기간의 카드뮴의 축적을

정량적으로 평가하게 되며, 혈중 카드뮴 수준은 전체 카드뮴의 인체 부하량 (body-burden)에 영향을 주게 된다 (WHO, 1992; Lauwerys and Hoet, 1993). 카드뮴에 대한 인체 내 모니터링에 대한 연구결과는 외국에서는 다수 발표되어지고 (Chia 등, 1994; Ikeda 등, 1997; Zhang 등, 1997; Chlopicka 등, 1998; Krachler 등, 1999; Moyer, 1999), 지속적인 모니터링의 수행이 진행되고 있으나, 현재 우리나라에서는 직업적 노출에 의한 납에 관한 연구는 꾸준히 진행되어지고 있으나, 특정 직업적 노출이 없는 일반인의 혈중 카드뮴에 관한 연구는 미비한 상태이다. 우리나라에서의 일반인들의 조사자료를 살펴보면 전국 4개 지역의 141명의 혈중 카드뮴 농도를 조사한 결과 1.27 ± 1.69 ng/ml (GM \pm GSD)의 농도수준을 보였고 (Chan-seok Moon, 1995), 직업적으로 중금속에 노출된 적이 없는 산모 55명을 대상으로 혈액에서의 카드뮴 평균농도는 1.26 ± 0.59 μ g/l로 나타났다 (식약청 독성연구소, 2002). Ikeda 등 (1997)의 연구에서는 일본의 18개 지역의 비흡연자이며, 습관적으로 음주를 하지 않는 여성 371명을 대상으로 한 연구에서는 혈중 카드뮴의 평균농도는 2.17 ± 1.63 ng/ml (GM \pm GSD)의 분포를 나타냈다. 도시 거주 일반인 남녀를 대상으로 실시한 본 연구에서는 전체인원 144명의 혈중 카드뮴 평균농도는 WHO-Environmental Health criteria (2001)-일반인 권고치 5 μ g/l를 초과하지 않은 1.43 ± 6.68 (GM \pm GSD)의 분포로 나타났다. 참고

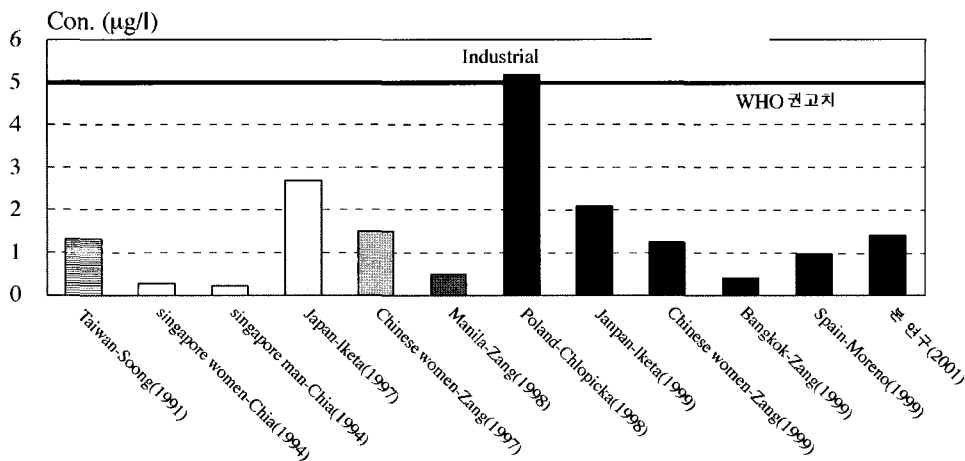


Fig. 1. Summary of concentration of blood cadmium measured.

적으로 특정 직업적/환경적으로 노출이 없는 일반인의 혈중 카드뮴 농도는 일반적으로 0.5~2 µg/l의 분포를 보인다(Moyer, 1999). 기술하지 못한 여러 나라들의 연도별 자료들은 아래 (Fig. 1)에 제시하였다.

환경 중 카드뮴 노출은 공기, 물, 음식물, 흡연 등 다경로로 노출되며, 음식물에 의해서는 일생동안 10 µg/person/day (0.14 µg/kg-day) 카드뮴에 노출되며, 채소류 (vegetables), 감자류 (potatoes), 우유 (milk) 등이 주요오염원이다 (EPA, 1999). 또 다른 연구에서는 이집트 Manzala 호수의 생선 (fish) 및 어부 (fishermen)의 카드뮴 농도가 높게 조사되었다는 보고도 있으며 (Osfer 등, 1998), 육류 (meat), 달걀 (eggs) 그리고 우유 (milk) 등에서도 카드뮴이 다소 포함된 것으로 보고되고 있다 (Frieberg 등, 1974; Sato 등, 1997). 음식물에 관한 또 다른 조사에서는 쌀 (rice)과 밀 (wheat)이 원재료로서 카드뮴노출의 유의성 있는 source이며 (Emara 등, 1991; Ikeda 등, 1999), 콩 (soybean) 또한 중국 북동지역의 중요한 source로 조사되고 있다 (Zhang 등, 1998b).

흡연 (smoke)은 일상의 음식물 (diet)과 함께 카드뮴 섭취의 주요 source이며, 담배 한 개비 당 1~2 µg씩 포함되어 있으며, 대략 10% 정도 들이마시며, 5% 정도는 흡수된다는 보고가 있다 (Herber 등, 1977). Dell'Omo 등 (1999)의 연구에서도 흡연자가 비흡연자에 비해 혈중 카드뮴 농도가 평균 두배 정도의 농도 차이를 보였다는 결과를 제시하였으며, 체코 일반인의 혈중 카드뮴 조사에서의 흡연유무에 따른 혈중 중금속의 농도 분포는 흡연자의 경우 1.25 µg/l, 비흡연자는 0.9 µg/l로 조사되었다. 본 연구에서도 특정 직업적/환경적 노출이 없는 일반인의 혈중 카드뮴농도를 조사하였으며, 흡연자의 경우 1.57 µg/l, 비흡연자는 1.41 µg/l로 흡연자가 다소 높게 측정되었으나 통계적인 유의성은 없었다. 간기능 검사 항목별 그룹에서는 개인의 하루 흡연량과 흡연기간을 종합한 변수를 사용하여 분석한 결과 흡연에 의한 영향은 나타나지 않았으나, 혈중 카드뮴과 흡연의 교호작용의 변수에서는 간세포의 파괴 및 사멸의 유무와 정도의 판단기준인 GOT, GPT, bilirubin 그룹과 담관과 담도계의 장애유무의 판단기준인 ALP, γ-GTP, bilirubin 두 그룹 모두 혈중 카드뮴이 WHO-일반인 권고치 5 µg/l를 초과하지 않고, 흡연을 하지 않는 그룹에 비해 흡연을 현

재하고 있고, 혈중 카드뮴농도가 5 µg/l를 상회하는 그룹이 간질환에 걸릴 확률이 GOT, GPT, Bilirubin의 그룹에서는 12배, γ-GTP, ALP, Bilirubin의 그룹에서는 8배 높은 것으로 나타났다. 따라서 혈중 카드뮴 및 흡연의 각각의 변수에서는 간기능에 큰 영향이 나타나지 않았으나, 혈중 카드뮴과 흡연의 교호작용 (interaction)에 의해 간기능에 미치는 영향이 증가함을 보여주었다. 본 연구에서는 간 및 신장기능의 변수 (liver and kidney function parameters)들의 수치에 의해 간 및 신장기능의 이상유무를 판단하고, 혈중 카드뮴에 의한 관계만을 조사하였으며, M. Ikeda 등 (2000)의 연구에서는 카드뮴 노출의 변수를 음식물, 혈액, 노 세가지 대상에 의해 각 간기능 변수들의 상관성을 살펴본 결과 혈액만이 카드뮴과 높은 관련성을 보였으며, 음식물과 노중의 카드뮴과는 유의한 상관성이 없는 것으로 조사되었다. 이 중 고연령층 (40~60세)만을 조사한 결과에서는 세 가지 대상 모두 유의한 결과는 나타나지 않았다. 카드뮴의 간세포독성 실험은 대부분 1980년대에 광범위하게 진행되었다 (Dudley 등, 1982; Nakamura 등, 1983; Weigel 등, 1984). 그 한 예로, Dudley 등 (1982)의 동물실험에서 CdCl₂ (3.9 mg as Cd/kg)을 rats에 주입하여, 살펴본 결과 GOT, GPT, ALP의 수준이 증가함을 보고하였으며, Nomiyama (1993)의 동물실험에서는 0.5 mg CdCl₂/kg을 토끼에 주입한 후, 4주 뒤부터 GPT와 γ-GTP의 수치상승을 관찰할 수 있었으며, 6주 뒤에는 신장의 기능장애를 관찰할 수 있었다. 반면에, Toda 등 (1984) 연구에서는 카드뮴에 노출된 남성 근로자 5명의 뇨에서 β₂-microglobulinuria의 현저한 증가 (287~41,900 µg/day)를 보였지만, GOT, GPT, ALP의 혈청수준은 변화가 없었다. 또 다른 연구에서도 (Onodera 등, 1996) 유사한 결과를 보고하고 있으며, 인체 내 카드뮴의 복잡한 용량-반응의 상호관계로 인해 더 많은 연구가 필요하다. 본 연구는 신장기능평가시 β₂-microglobulinuria, NAG 활성도 등의 민감한 지표들을 사용하여 분석하지 못한 제한점을 가지고 있으며, 통계분석시 식습관에 의한 다양한 변수의 사용할 수 없었으며, 연구 대상자 수의 증원에 의한 연구진행이 요구된다. 카드뮴의 반감기는 10~30년으로 직접적인 카드뮴 노출에 의한 건강영향을 살필 수 없으므로, 지속적인 모니터링이 필요하며, 그 과정의 하나로 본 연

구에서는 우리나라 일반인의 혈중 카드뮴 농도 분포 조사의 한 과정이며, 총 연구대상자 중 WHO-Environmental Health criteria (2001)-일반인 권고치 5 µg/l를 초과하는 시료에 대한 노출에 기여하는 영향 요인들의 지속적인 모니터링 및 관리가 필요할 것으로 사료된다.

결 론

일부 도시 거주 일반인을 대상으로 혈중 카드뮴의 농도 분포와 혈중 카드뮴의 세부농도분류에 의한 간 및 신장 기능 변수들의 분포를 살펴보고, 간 및 신장기능변수에 영향을 미치는 환경요인들과의 관련성연구로 본 연구대상자들의 간 및 신장기능에 기여하는 영향 요인을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 혈중 카드뮴의 분포를 살펴본 바 전체 평균 1.43 µg/l (불검출~17.24 µg/l)이며, WHO (2001)에서 제시한 혈중 카드뮴 권고치는 5 µg/l이다.

2. 혈중 카드뮴 농도분류별 (B-cd < 2.5, 2.5 ≤ B-cd < 5, 5 ≤ B-cd < 10, 10 ≤ B-cd)로 각 기능변수들의 수치분포를 살펴본 결과 간기능 변수 중 T-protein과 GOT 항목이 혈중 카드뮴농도가 높은 그룹에 비례해서 두 변수들의 수치도 유의성 있게 상승함을 관찰할 수 있었고, Albumin, GPT, γ-GTP의 변수들의 수치도 혈중 카드뮴농도가 높은 그룹에 비례해서 상승함을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. 카드뮴에 의한 간 및 신장기능과의 직접적인 관련성을 찾을 수 없었고, 환경 중 카드뮴의 노출 변수들에 의한 영향으로, 식습관 중 간기능의 검사 항목별 그룹에서는 두 그룹 모두 생선류를 주로 섭취하는 경우에 간질환에 걸릴 확률이 각각 3, 2.5 배로 나타나 식습관 중 생선류의 기여도가 있는 것으로 나타났으나 다양한 식습관에 의한 평가를 하지 못한 제한점은 있다.

4. 신장기능에서는 흡연그룹이 비흡연그룹에 비해 신장질환에 걸릴 확률이 3배 정도 높은 것으로 나타났고, 간기능 검사별 그룹에서 흡연에 의한 영향은 나타나지 않았으나, 혈중 카드뮴과 흡연의 교호작용을 살펴본 변수에서는 간세포의 파괴 및 사멸의 유무와 정도의 판단기준인 GOT, GPT, bilirubin

그룹과 담관과 담도계의 장해유무의 판단기준인 ALP, γ-GTP, bilirubin 두 그룹 모두 혈중 카드뮴이 WHO-일반인 권고치 5 µg/l를 초과하지 않고, 흡연을 하지 않는 그룹에 비해 흡연을 현재하고 있고, 혈중 카드뮴농도가 5 µg/l를 상회하는 그룹이 간질환에 걸릴 확률이 GOT, GPT, Bilirubin의 그룹에서는 12배, γ-GTP, ALP, Bilirubin의 그룹에서는 8배 높은 것으로 나타났다. 따라서 혈중 카드뮴 및 흡연의 각각의 변수에서는 간기능에 큰 영향이 나타나지 않았으나, 혈중 카드뮴과 흡연의 교호작용 (interaction)에 의해 간기능에 미치는 영향이 증가함을 보여주었다.

참 고 문 헌

- 식약청 독성연구소. 내분비계 장애물질의 위해성평가(III) 2002.
- 박정덕, 박찬병, 최병선, 강은용, 홍연표, 장임원, 천병렬, 예민해. 폐광지역 주민의 뇨 중 카드뮴 농도와 신기능평가, 예방의학회지 1998; 31(3).
- Lopez-Artigue M, Soria ML, Camean A and Repett M. Cadmium in the diet of the local population of Seville (Spain), Bull Environ Contam. Toxicol 1993; 50: 417-424.
- Buchet JP, Lauwerys R, Vandevoorde A and Pycke JM. Oral daily intake of cadmium, lead, manganese, copper, chromium, mercury, calcium, zinc and arsenic in Belgium: A duplicate meal study, Food Chem Toxicol 1983; 21, 19-24.
- CHAN-SEOK MOON *et al.* Dietary Intake of Cadmium and Lead among the General Population in Korea, Environment Research 1995; 71: 46-54.
- Chia SE, Chan OY, Sam CT, Heng BH. Blood cadmium levels on non-occupationally exposed adult subjects in Singapore. Sci Total Environ 1994; 145(1/2): 119-123.
- Chlopicka J, Zachwieja Z, Zagrodzki P, Frydrych J, Slota P, Krosniak M. Lead and cadmium on the hair and blood of children from a highly industrial area on Poland, Biol Trace Elem Res 1998; 62(3): 229-234.
- Cikrt M, Tichy M, Blaha K, Bittnerova D, Havrdova J, Lepsi P, Sperlingova I, Nemecek and Herber RF M. The study of exposure to cadmium in the general population. II. morbidity studies, Pollut J Occup Environ Health 1992; 5: 345-356.
- Dell'Omo M, Muzi G, Piccinini R *et al.* Blood cadmium concentrations in the general population of Umbria,

- central Italy. *Sci Total Environ* 1999; 226(1): 57-64.
- Dudley RE, Svoboda DJ, Klassen CD. Acute exposure to cadmium causes severe liver injury in rats, *Toxicol Appl Pharmacol* 1982; 55: 302-313.
- Ellis KJ, Cohn SH and Smith TJ. Cadmium inhalation exposure estimates: their significance with respect to kidney and liver cadmium burden, *J. Toxicol Environ. Health* 1985; 15: 173-87.
- Emara M, Abdel-Samie F. Cadmium. *Egypt J Occup Med* 1991; 15(1): 65-74.
- Friberg L, Kjellstrom T, Nordberg GF. Cadmium. In: Friberg L, Nordberg GF, Vouk VR, editors. *Handbook on the Toxicology of metals*, vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 1986; 130-184.
- FDA. Guidance Document for Cadmium in Shellfish, Center for Food Safety and Applied Nutrition, United States Food and Drug Administration, Washington, D.C. 1993; 202-204.
- Goering PL, Waalkes MP, Klaassen CD. Toxicology of cadmium, In *Toxicology of Metals : Biochemical Aspects*, ed, Goyer RA, Cherian MG. Berlin, Springer-Verlag, 1995; 189-214.
- Herber RFM, Christensen JM, Sabbioni E. Critical evaluation and review of cadmium concentrations in blood for use in occup *Environ Health* 1997; 69: 372-378.
- Ikeda M, Watanabe T, Koizumi A, Fujita H, Nakatsuka H and Kasahara M. Dietary intake of lead among Japanese farmers, *Arch. Environ. Health* 1989; 44: 23-29.
- Ikeda M, Moon CS, Zhang ZW, Iguchi H, Watanabe T, Iwami O, Imai Y and Shimbo S. Urinary α_1 -microglobulin, β_2 -microglobulin, and RBP levels in general populations in Japan with references to cadmium in urine, blood and 24-hour food duplicates, *Environ Res* 1995; 70: 35-46.
- Ikeda M, Zhang ZW, Higashikawa K *et al.* Background exposure of general women populations in Japan to cadmium in the environment and possible health effects. *Toxicol Lett* 1999; 108(2/3): 161-166.
- IPCS. International Programme on Chemical Safety (IPCS): Cadmium. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1992.
- Itokawa Y, Abe T, Tanaka S. Bone changes in experimental chronic cadmium poisoning. Radiological and biological approaches, *Arch Environ Health* 1973; 26: 241-244.
- Jin T, Lu J, Nordberg M. Toxicokinetics and biochemistry of cadmium with special emphasis on the role of metallothionein. *Neurotoxicology* 1998; 19(4/5): 529-535.
- Krachler M, Rossipal E, Micetic-Turk D. Trace element transfer from the mother to the newborn: investigation on triplets of colostrum, maternal and umbilical cord sera, *eur J Clin Nutr* 1999; 53(6): 486-494.
- Lauwerys RR, Hoet P. Cadmium. In: Lauwerys RR, Hoet P, editors. *Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring*, 2nd ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993; 32-38.
- Moon C-S, Zhang Z-W, Shimbo S, Watanabe T, Moon DH, Lee C-U, Lee B-K, Ahn K-D, Lee S-H, Ikeda M. Dietary intake of cadmium and lead among general population in Korea, *Environ Res* 1995; 71: 46-54.
- Moyer TP. Toxic metals: cadmium. In: Burtis CA, Ashwood ER, editors. *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*. 3rd Philadelphia: WB Saunders, 1999; 988.
- Muller M and Anke M. Distribution of cadmium in the food chain (soil-plant-human) of a cadmium exposed area and the health risk of the general population, *Sci. Total Environ* 1994; 156: 151-158.
- Nakamura K, Nishiyama S, Takata T, Suzuki E, Sugiura Y, Kobayashi T, Chao B-Y. Effects of zinc on cadmium induced alterations in hepatic functions and blood glucose of rats. *Environ Res* 1983; 30: 175-181.
- Nomiyama K, Nomiyama H. New concept on the mechanism of kidney dysfunction after cadmium exposure. 2. Chronic experiments (in Japanese), *Jpn J Hyg* 1993; 48: 127.
- Onodera M, Hosoda K, Ohmae K, Sakurai H. Liver dysfunction after occupational exposure to cadmium (in Japanese), *Sangyo Igaku* 1996; 38: S493.
- Osfor MM, Dessouky SA, Sayed A, Higazy RA. Relationship between environmental pollution in Manzala lake and health profile of fishermen, *Nahrung* 1998; 42(1): 42-45.
- Sato S, Okabe M, Emoto T, Kurasaki M, Kojima Y. Restriction of cadmium transfer to eggs from laying hens exposed to cadmium, *J Toxicol Environ Health* 1997; 51(1): 15-22.
- Suzuki Y. Cadmium metabolism and toxicity in rats after long-term subcutaneous administration, *J Toxicol Environ Health* 1980; 6: 469-482.
- Toda K, Mori Y, Koike S, Ohmori K, Yamaga S. Chronic renal dysfunction in workers exposed to cadmium oxide fumes (in Japanese with English abstract), *Sangyo Igaku* 1984; 26: 212-213.
- Vahter M, Berglund M, Lind B, Jorhem L, Slorach S, Friberg L. Personal monitoring of lead and cadmium exposure—a Swedish study with special reference to methodological aspects, *Scand J Work Environ Health* 1991; 17: 65-74.
- Weigel HJ, Elmadfa I, Jager HJ. The effect of low dose of

- dietary cadmium oxide on the disposition of trace elements (zinc, copper, iron), hematological parameters, and liver function in rats, *Arch Environ Contam Toxicol* 1984; 13: 289-296.
- World Health Organization (WHO). Air quality guidelines for Europe. Copenhagen: WHO, Regional Office for Europe, 1987.
- Zang ZW, Watanabe T, Shimbo S, Higashikawa K, Ikeda M. Lead and cadmium contents in cereals and pulses in north-eastern China. *Sci Total Environ* 1998b; 220 (2/3): 137-145.
- Zhang Z-W, Shimbo S, Ochi N, Eguchi M, Watanabe T, Moon C-S, Ikeda M. Determination of lead and cadmium in food and blood by inductively coupled plasma mass spectrometry: a comparison with graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Sci. Total Environ* 1997a; 205: 179-187.