

폐금속광산 지역주민의 요중 카드뮴 수준 및 골밀도와의 관련성

정경식 · 김남수 · 안승철* · 이병국†

순천향대학교 환경산업의학연구소, *국립환경과학원 환경보건연구과

Relationship between Urine Cadmium and Bone Mineral Density of Residents Around Abandoned Metal Mines

Kyung-Sick Jung, Nam-Soo Kim, Seung-Chul Ahn*, and Byung-Kook Lee†

Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University, Asan, Korea

**Environmental Health Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea*

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to investigate the possible effects of environmental cadmium (Cd) exposure on of bone mineral density (BMD) levels.

Methods: A total of 171 residents around abandoned mines in Chungcheongnam-do were surveyed in 2008-2011. Urinary Cd and BMD were analyzed by atomic absorption spectrometry and Dual-Energy X-ray absorptionmetry, respectively. Osteoporosis and osteopenia were defined by T-scores set by the WHO; T-score ≥ -1.0 , normal; $-1.0 > \text{T-score} > -2.5$, osteopenia; and T-score ≤ -2.5 , osteoporosis. Logistic and multiple linear regressions were applied to estimate the association between U-Cd levels and BMD.

Results: The U-Cd geometric mean of 171 Koreans was 2.79 $\mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$. The U-Cd concentration was significantly higher among women (2.98 $\mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$) than men (2.39 $\mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$). With the multiple regression model, the BMD was influenced by U-Cd, BMI, and monthly income. With the logistic regression model, osteoporosis was associated with U-Cd levels (OR = 3.239, 95% CI = 1.770-5.927).

Conclusions: We conclude that exposure to cadmium is associated with an increased risk of osteoporosis.

Keywords: Bone Mineral Density (BMD), urinary Cd, abandoned mines, osteoporosis, osteopenia

I. 서 론

카드뮴은 토양과 물에 널리 분포하고 있는 독성물질로써,¹⁾ 씨리얼, 야채 등 음식에 고르게 분포되어 80% 정도가 음식 섭취를 통해 이루어지며, 환경 및 작업장, 흡연을 통해 노출된다.²⁾ 카드뮴은 인체 내에서 반감기가 10~30년으로 길고,³⁾ 특히 카드뮴은 저농도의 노출에서도 독성 영향이 나타난다.⁴⁾ 흡연자의 경우에는 흡연으로 인한 카드뮴 노출로 이에 대한 영향은 더 심각하다고 할 수 있으며,⁵⁾ 혈중 카

드뮴의 농도는 비흡연자보다 흡연자가 4~5배 높으며, 요중 카드뮴의 농도는 2~3배가 높다.⁶⁾ 카드뮴은 인체 내 철의 저장이 감소될 때 흡수가 증가되고,^{7,8)} 카드뮴의 증가는 신장 세뇨관의 질환을 초래하며,⁹⁾ 갑슌, 비타민 D, 콜라겐의 대사활동을 방해하며 골밀도를 감소시킨다.¹⁰⁾ 뿐만 아니라 카드뮴이 노출된 지역의 거주자와 사업자 근로자들에게서 심혈관계 질환 및 악성종양으로 인해 사망률이 증가한다는 연구결과도 있다.^{11,12)}

카드뮴은 저농도의 노출환경에서도 골질량을 감소

†Corresponding author: Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea, Tel: +82-41-529-1211, Fax: +82-41-529-1232, E-mail: bklee@sch.ac.kr

Received: 4 June 2012, Revised: 12 July 2012, Accepted: 14 August 2012

시켜 골다공증을 발생시키며, 고농도에서는 뼈에 더욱 심각한 영향을 미친다.¹³⁻¹⁵⁾ 또한 신장 피질 내 카드뮴의 축적은 나이가 증가함에 따라 증가하며, 혈, 요, 신장 내의 카드뮴 농도는 남성보다 여성이 높다.^{16,17)} 특히 카드뮴과 골밀도간의 상관관계는 고연령층의 여성에게서 쉽게 설명이 되는데 이는 고연령층의 여성이 남성과 젊은 층에 비해 뼈 손실과 카드뮴의 축적이 쉽게 이루어지기 때문이다.¹⁸⁻²⁰⁾

외국의 경우 카드뮴 노출지역 주민의 인체 내 카드뮴과 골밀도와의 상관관계에 대한 많은 연구가 진행되었지만,²⁰⁻²³⁾ 국내의 경우 저농도 환경노출지역에 대한 카드뮴과 골밀도에 대한 연구는 미흡한 상황이다. 다양한 환경노출지역 중에서도 국내 금속광산은 1970년대 후반을 기점으로 산업구조변화, 경영악화 등의 이유로 폐광되기 시작하였고 광산 시설의 폐쇄로 인해 발생하는 중금속 성분이 함유된 폐석, 폐갱도, 광산폐기물 등이 적절한 조치 없이 방치되어 왔다.²⁴⁾ 이러한 폐금속광산은 주변 지역의 황폐화 및 환경오염을 초래할 뿐만 아니라 토양이나 지하수에 축적되어 해당 지역에서 생산되는 농작물, 식수를 섭취하는 주민들의 건강에도 영향을 줄 수 있기 때문에²⁵⁾ 지역 주민에 대한 인체 내 중금속 수준과 이와 관련된 건강영향상태에 대한 다양한 조사가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 폐금속광산 지역주민들을 대상으로 요중 카드뮴을 조사하였으며, 요중 카드뮴 수준에 따른 골밀도와의 관련성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 및 시료채취

본 연구는 2007년에 환경부에서 중금속으로 인한 오염우려가 있는 전국 418개의 폐금속광산 중 401개 폐금속광산에 대한 예비 건강영향조사 결과를 토대로 하여 인체 내 중금속의 수준이 높아 정밀조사가 필요한 폐금속광산을 대상으로 하였다. 충남지역에는 8개의 폐금속광산이 정밀조사 대상으로 선별되었으며, 2008년~2011년까지 정밀조사가 이루어졌다. 이 8개의 폐금속광산에 대해서는 폐금속광산 갱구를 기점으로 하여 반경 3 km 이내에 거주하는 주민들을 대상으로 건강영향조사가 수행되었다. 카드뮴의 평가는 요시료를 이용하여 평가하였는데 이는 요가

혈액이나 두발, 또는 기타 검체에 비하여 시료채취가 간편할 뿐 아니라 전처리방법에 따른 결과의 변동 폭도 작아서 생물학적 모니터링에 널리 이용되고 있기 때문이다.²⁶⁾ 또한 카드뮴 노출평가는 보정하지 않은 요중 대사물질 보다는 요중 크레아티닌으로 보정된 오염물질의 농도가 혈액, 혈청, 혈장 중에 함유된 노출물질의 농도와 상관관계를 가지고 있다고 보고하고 있다.²⁷⁻²⁹⁾

검진에 참여한 주민은 총 1,371명으로 이중 요중 카드뮴의 농도가 독일 인체모니터링위원회의 기준인³⁰⁾ 5 µg/g-cr(2011년에 4 µg/g-cr으로 변경되었지만 2008년~2011년까지는 동일하게 5 µg/g-cr을 적용하여 선별하였음) 이상인 성인 240명을 1차적으로 선별하였으며, 240명 중 요추부와 대퇴부 골밀도 검사 및 요중 카드뮴 검사가 이루어진 성인 171명을 최종 연구대상자로 선정하였다. 대상자들에게 연구의 목적과 관련내용, 과정을 설명한 후 참여에 동의한 주민들을 대상으로 동의서를 얻었다. 본 연구의 연구 내용 및 수행에 대한 학문적, 윤리적 측면에 대하여 순천향대학교 의과대학 의학연구 심의위원회(IRB)로부터 검토 및 승인을 받았다.

2. 분석방법

(1) 요중 카드뮴 시료 채취 및 분석

요중 카드뮴의 정확한 노출량을 반영하기 위해 Urine bag을 사용하여 24시간 뇨를 채취하였으며, 분석을 위해 15 ml/ conical tube에 채취하여 냉장 보관 상태로 실험실로 운반하였으며 분석 시까지 4°C(2~8°C)에 냉장 보관하였다.

시료 분석은 국립환경과학원에서 발간한 “생체시료중 환경오염물질 분석 매뉴얼(06)”을 준용하였다. 분석기기로는 SpectrAA 240Z(Varian, Australia)를 이용하여 비불꽃방법으로 분석하였으며 LOD는 0.0307 µg/d이고, 최종 결과는 크레아티닌 농도를 보정한 후 µg/g-cr으로 나타내었다.

(2) 골밀도 측정

요추부와 대퇴부의 골밀도 검사는 이중에너지 방사선흡수법(dual energy x-ray absorptionmetry)으로 측정하였다. 요추부는 L1-4 부위의 평균치 골밀도(T-score), 대퇴부는 왼쪽 대퇴부와 오른쪽 대퇴부 두

부위의 평균치 골밀도(T-score)를 이용하였으며, 결과는 T-score로 나타내어 세계보건기구(WHO) 정의에 의해 골밀도는 정상($T\text{-score} \geq -1.0$), 골감소증($-1.0 > T\text{-score} > -2.5$), 골다공증($T\text{-score} \leq -2.5$)으로 분류하였다.

3. 통계처리

자료의 통계분석은 SAS 9.2(SAS Institute, Cary, NC)를 사용하였으며, 흡연여부는 3개 집단(현재 흡연, 과거 흡연, 비흡연자), 음주여부는 2개 집단(음주, 비음주자), 월수입은 2집단(100만원 초과, 100만원 이하), 골밀도는 3개 집단(정상, 골감소증, 골다공증)으로 구분하였다. 각 변수에 따른 산술평균(표준편차)을 계산하여 남녀에 따른 t-test를 하였으며, 요중 카드뮴 농도에 따른 골감소증과 골다공증 유무를 확인하기 위해 로지스틱회귀분석을 하였다. 또한 각 변수에 따른 요추부와 대퇴부의 관련성과 영향력을 보기 위해 다변량회귀분석을 하였으며, 통계적 유의성 검정수준은 $p < 0.05$, $p < 0.01$ 로 하였다.

III. 결 과

Table 1은 본 연구에 참여한 총 연구대상자 171명의 주요 변수들의 평균과 표준편차, 음주 및 흡연, 월수입을 나타낸 것이다. 171명 중 남성이 51명 여성이 120명으로 거주기간은 남성이 여성보다 유의하게 높았으며($p < 0.01$), 체질량지수 및 요중 카드뮴 수준은 여성이 남성보다 유의하게 높았다(각각, $p < 0.01$, $p < 0.05$). 하지만 요추부 골밀도와 대퇴부의 골밀도에서는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Table 2는 남성, 여성의 요중 카드뮴 기하평균(기하표준편차)과 이에 대한 세계보건기구 및 독일인체 모니터링의 기준 초과율을 나타낸 것이다. 총 연구대상자의 요중 카드뮴 기하평균은 $2.79 \mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$ 으로 남성의 요중 카드뮴 기하평균은 $2.39 \mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$, 여성은 $2.98 \mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$ 으로 조사되었다. 남성 51명 중 세계보건기구 요중 카드뮴 환경노출기준인 $2 \mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$ 초과자는 27명(52.9%), 독일인체모니터링 환경노출기준(25세 이상 성인)인 $5 \mu\text{g/g}\cdot\text{cr}$ 초과자는 6명(11.8%),

Table 1. Summary of the general characteristics

	Male (N = 51)				Female (N = 120)				p-value
	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	
Age (years)	69.53	8.66	45.00	85.00	68.70	10.44	27.00	88.00	0.62
Residence period (years)	65.00	15.74	9.00	84.00	49.30	18.78	1.00	88.00	<0.01
Body mass index (kg/m^2)	22.65	2.93	15.70	29.69	24.10	2.95	17.71	34.87	<0.01
U-Cd, ^a ($\mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{cr}$)	2.95	1.95	0.44	10.71	3.71	2.87	0.73	20.38	<0.05
L-BMD, ^b (T-score)	-2.51	1.96	-11.00	1.10	-2.90	1.70	-8.60	2.15	0.20
F-BMD, ^c (T-score)	-2.06	1.42	-6.40	1.10	-2.30	1.82	-9.30	2.75	0.35
Smoking status									
Current, n (%)	19 (37.3)				3 (2.5)				
Past, n (%)	13 (25.4)				2 (1.7)				
Never, n (%)	19 (37.3)				115 (95.8)				
Drinking status									
Current, n (%)	31 (60.8)				24 (20.0)				
Never, n (%)	20 (39.2)				96 (80.0)				
Monthly income (Ten thousand won)									
>100, n (%)	41 (80.4)				89 (74.2)				
≤100, n (%)	10 (19.6)				31 (25.8)				

^aCadmium in urine

^bLumbar bone mineral density

^cFemoral bone mineral density

Table 2. U-Cd levels and exceeding rate for reference by gender

Gender	N	GM (GSD)	Exceeding reference (N, %)	
			WHO ^a	HBM II ^b
Total	171	2.79 (1.96)	92 (53.8)	31 (18.1)
Male	51	2.39 (1.99)	27 (52.9)	6 (11.8)
Female	120	2.98 (1.93)	65 (54.2)	25 (20.8)

^aWHO standard of 2 µg/g creatinine for environmental exposure^bHBM II (adults > 25 years) standard of 5 µg/g creatinine for environmental exposure**Table 3.** U-Cd levels and t-score levels by bone mineral density status

Categories	N	GM (SD)	AM (SD)	
		U-Cd	Lumbar	Femoral
Male				
Normal ^a	6	1.43 (1.59)	-0.02 (0.74)	0.10 (0.73)
Osteopenia ^b	18	1.96 (2.10)	-1.74 (0.43)*	-1.41 (0.76)**
Osteoporosis ^c	27	3.07 (1.81)*	-3.58 (2.04)**	-2.97 (1.08)**
Female				
Normal ^a	8	2.24 (1.69)	0.01 (1.08)	0.48 (1.16)
Osteopenia ^b	40	2.48 (2.11)	-1.73 (0.48)**	-1.21 (0.76)**
Osteoporosis ^c	72	3.41 (1.80)	-3.87 (1.40)**	-3.22 (1.65)**

^aReference for comparisons of mean in each classification variables^bOsteopenia was defined as $-2.5 < T\text{-score} < -1$ ^cOsteoporosis was defined as ≤ -2.5 *Tested by t-test. $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ **Table 4.** Coefficients of the independent variables from the multiple regression model of lumbar and femoral

Independent variable	Lumbar ($R^2 = 0.27$)		Femoral ($R^2 = 0.26$)	
	Coefficient \pm SE	p -value ^a	Coefficient \pm SE	p -value ^a
Intercept	-6.832 \pm 1.073	<0.01	-5.344 \pm 1.035	<0.01
Log-transformed U-Cd (µg/g-cr)	-0.497 \pm 0.189	<0.01	-0.419 \pm 0.182	<0.05
Residence period (years)	-0.002 \pm 0.007	0.75	-0.003 \pm 0.007	0.63
BMI (kg/m ²)	0.219 \pm 0.041	<0.01	0.191 \pm 0.040	<0.01
Gender				
Male	0.232 \pm 0.370	0.53	0.513 \pm 0.357	0.15
Smoking status				
Current	0.574 \pm 0.454	0.21	0.076 \pm 0.438	0.86
Past	0.520 \pm 0.515	0.31	-0.103 \pm 0.500	0.84
Drinking status				
Drinker	0.344 \pm 0.286	0.23	0.106 \pm 0.276	0.70
Monthly income (Ten thousand won)				
<100	-1.055 \pm 0.312	<0.01	-1.269 \pm 0.301	<0.01

Tested by multiple regression analysis

여성의 경우 세계보건기구 기준초과자는 65명(54.2%), 독일인체모니터링 환경노출기준 초과자는 25명(20.8%)으로 조사되었다.

Table 3은 남성, 여성의 골밀도 수준에 따른 요중 카드뮴 농도와 요추부 및 대퇴부의 골밀도 값을 나타낸 것이다. 남성의 경우 골밀도 수준이 감소함에 따라 요중 카드뮴 수준이 증가하는 경향을 보였으며 정상군과 골다공증군의 요중 카드뮴 농도는 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 또한 남성, 여성 모두 정상군의 요추부 및 대퇴부의 골밀도가 골감소증, 골다공증군의 골밀도보다 유의한 차이로 높았다.

Table 4는 연구대상자의 요추부와 대퇴부 골밀도 값을 모델의 종속변수로 하고 영향을 미칠 수 있는 독립변수들을 선택하여 이에 대한 다중회귀분석 결과를 나타낸 것이다. 요추부 골밀도에 영향을 미칠 수 있는 독립변수에 대한 모델의 설명력(R^2)은 27%이었으며 요중 카드뮴, 체질량지수, 월수입이 요추부 골밀도에 유의한 영향을 미치는 요인으로 나타났다(각각, $p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$). 대퇴부 골밀도에 영향을 미칠 수 있는 독립변수에 대한 모델의 설명력(R^2)은 26%이었으며, 요중 카드뮴, 체질량지수, 월수입이 대퇴부 골밀도에 유의한 영향을 미치는 요인으로 나타났다(각각, $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.01$).

Table 5. Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) values for having Osteoporosis with urine cadmium ($\mu\text{g/g-cr}$) after adjusting covariatesa

Independent variable	OR ^b	95% CI ^c
Model 1		
Log-transformed U-Cd, $\mu\text{g/g-cr}$	3.239	1.770-5.927
Model 2		
Tertile of U-Cd, $\mu\text{g/g-cr}$		
1st tertile	1.000	
2nd tertile	4.247	1.755-10.281
3rd tertile	5.678	2.293-14.065

Tested by multiple logistic regression analysis
^aCovariates : sex, smoking and drinking status, body mass index, residence period, monthly income were adjusted as covariates in Model 1-2. 1st tertile (<2.15), 2nd tertile (2.15-3.63), 3rd tertile (>3.63)
^bOdds ratios
^cConfidence interval

Table 5는 요중 카드뮴 농도 수준과 골다공증에 대한 연관성을 분석하기 위해 성, 연령 등 인구학적 특성을 보정한 후 요중 카드뮴 수준에 따른 Odds ratio를 나타낸 것이다. 모델 1에서 요중 카드뮴의 농도 증가에 따라 Odds ratio도 증가하였으며, 모델 2는 요중 카드뮴의 농도 수준을 삼분위 수로 나눈 것으로 최상위분위(3rd tertile)에서 Odds ratio도 가장 높게 나타났다.

IV. 고 찰

환경부는 1997년부터 전국 906개 폐금속광산에 대하여 본격적으로 토양오염 실태 정밀조사를 실시하여 2004년까지 158개소의 폐금속광산 지역에 대하여 조사를 마쳤으며 이 중 토양오염방지사업이 필요한 92개 광산 중 48개소는 방지사업을 완료하였으나 아직도 많은 폐금속광산에 대한 실태파악이 미흡한 실정이다.³¹⁾ 이러한 폐금속광산으로부터 노출될 수 있는 중금속 오염원 중에서 카드뮴은 높은 독성을 나타내며 환경오염을 유발할 뿐만 아니라 인근 거주민의 체내 축적으로 건강장해를 초래할 수 있다.³²⁾ 또한 금속광산지역의 생물자원(식물표면, 실곰팡이)과 무척추동물(달팽이, 가재, 저생동물)의 카드뮴, 납, 아연은 대조지역에 비해 최대 10~60배 이상 높으며, 금속광산지역의 시료 90% 이상이 대조지역 시료의 평균농도보다 높다.³³⁾

특히 카드뮴의 장시간 축적은 신장세뇨관에 이상이 생겨 재흡수 기능이 저하되는데, 이 때문에 칼슘이 몸에서 빠져나가 그로 인해 골연화증과 골밀도의 감소로 골 조직이 약화되는 골다공증을 유발하며,³⁴⁾ 골다공증은 체지방, 영양섭취실태, 흡연 및 체중, 운동여부, 칼슘 및 인, 비타민 섭취량, 폐경여부 등과 관련이 있고,³⁵⁻³⁷⁾ 특히 연령이 증가함에 따라 식욕부진, 오랫동안의 질병 때문에 비타민 D 결핍이 더 생기기 쉽다.³⁸⁾ 비타민 D는 장내 칼슘흡수의 가장 중요한 조절인자로서 작용하므로 비타민 D 부족시에는 2차적인 부갑상선 항진증을 초래하게 되어 골손실로 인해 골다공증을 일으키는 원인이 된다.³⁹⁾ 이외 동물실험에서는 카드뮴의 수준이 높아짐에 따라 스트레스가 증가되어 공격성을 나타낸다는 연구결과도 있다.⁴⁰⁾ 특히 환경 노출 중 카드뮴으로 인한 골밀도 감소에 관한 연구로 폴란드에서는 산업단지에

거주하고 있는 270명을 대상으로 골밀도에 대한 요중 카드뮴의 영향에 대한 조사에서 몸무게와 연령, 흡연자가 요중 카드뮴과 골밀도에 영향을 미치는 변수였으며 남성의 경우 요중 카드뮴 농도가 증가할수록 골밀도가 감소하는 경향을 나타냈다.²²⁾ 중국에서는 제련소 근처의 농작물 중 쌀의 카드뮴 농도를 측정하여 고농도 카드뮴의 쌀을 섭취하고 있는 사람들의 요중 카드뮴 농도가(9.20 $\mu\text{g/g-cr}$) 대조군에 비해 (1.58 $\mu\text{g/g-cr}$) 약 6배 높았으며, 50대 이상의 남성에서는 요중 카드뮴에 대한 골다공증의 Odd ratio가 1.72로 조사되었고 여성은 2.09로 조사되었다.²¹⁾

스웨덴에 거주하고 있는 816명의 여성들을 대상으로 한 연구에서는 저농도의 카드뮴이 세노관과 사구체에 영향을 미치는 것으로 나타났으며,⁴¹⁾ 연령이 56~69세인 스웨덴 여성 2,688명을 대상으로 한 연구에서는 요중 카드뮴은 대퇴부, 요추부 골밀도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 요중 카드뮴이 증가함에 따라 골다공증도 증가하였다.⁴²⁾ 국내의 경우 산업단지 근처의 거주자 804명 대상으로 요중 카드뮴과 골밀도를 조사한 결과 성인그룹에서 요중 카드뮴 수준이 증가할수록 골밀도는 감소하는 경향을 나타냈으며, 요중 카드뮴, 연령, 체질량지수, 운동, 흡연, 음주에 영향을 받는 요인으로 조사되어⁴³⁾ 본 연구와 비슷한 결과를 나타냈다.

독일환경조사(German Environmental Survey 1998, GerES III)에서 18~69세까지 요중 카드뮴을 조사한 결과 기하평균은 0.178 $\mu\text{g/g-cr}$ 이었으며,⁴⁴⁾ 미국국민 건강영양조사 1기(1999~2000년)에서 20세 이상 성인의 요중 카드뮴 기하평균은 0.267 $\mu\text{g/g-cr}$, 2기(2001~2002년)에서는 0.261 $\mu\text{g/g-cr}$, 3기(2003~2004)에는 0.281 $\mu\text{g/g-cr}$ 로 조사되었다.⁴⁵⁾ 스웨덴은 16~80세까지 환경노출에 의한 요중 카드뮴 농도는 남성의 경우(평균나이 52세) 0.38 $\mu\text{g/g-cr}$, 여성은(평균나이 51.4세) 0.55 $\mu\text{g/g-cr}$, 직업적 노출에 대한 요중 카드뮴은 농도는 남성의 경우(평균나이 58.4세) 2.10 $\mu\text{g/g-cr}$, 여성은(평균나이 56.5세) 1.50 $\mu\text{g/g-cr}$ 으로 조사되었다.⁴⁶⁾

위 연구와 본 연구의 요중 카드뮴 기하평균(2.79 $\mu\text{g/g-cr}$) 결과 비교시 본 연구결과가 최고 7.5배 높았는데 이러한 결과는 폐금속광산 지역주민이 일반 연구대상자보다 평균 연령이 높을 뿐만 아니라, 폐금속광산의 영향을 받은 것으로 사료된다. 또한 직

업적 노출에 의한 남성의 요중 카드뮴 농도가(평균나이 58.4세, 2.10 $\mu\text{g/g-cr}$) 폐금속광산지역의 남성 요중 카드뮴 농도와(평균나이 69.5, 2.39 $\mu\text{g/g-cr}$) 비슷한 수준을 나타냈다. 하지만 본 연구의 남성대상자 평균나이가 11세 높고 1차 조사에서 기준치를 초과하여 선별된 대상자임으로 폐금속광산 지역주민 전체를 대표할 수 없다. 그러나 직업적 노출에 대한 요중 카드뮴 농도 수준과 비슷한 것은 폐금속광산 지역주민이 폐금속광산에 대하여 부분적인 영향을 받고 있다는 것으로 추정된다. 즉, 폐금속광산지역의 주민은 일반대조지역의 주민들에 비해 높은 중금속 수준을 나타내며,³²⁾ 따라서 폐금속광산지역의 농산물 및 과일 등의 섭취는 인체 내 카드뮴의 양을 증가시킬 수 있을뿐더러 이와 더불어 골다공증 및 건강상의 악영향을 미칠 수 있다.

본 연구는 폐금속광산지역에 대한 주민들의 카드뮴 노출수준에 따른 골밀도 상태를 파악하였으며 그 관련성을 규명하였다는 것에 의의가 있다. 연구참여자 1,371명 중 최종대상자로 선정된 171명이 1차 검진시 일시노를 이용하였을 때 요중 카드뮴 농도가 독일 인체모니터링위원회 기준값을 초과한 주민으로 2차 검진시에는 요중 카드뮴의 정확한 수준을 평가하기 위하여 24시간 요를 이용하여 분석하였다. 하지만 2차 검진에서는 요중 카드뮴 수준이 1차 검진에 비해 많이 감소되었는데 이는 일시노와 24시간 요 채취 방법의 차이에 의하여 요중 카드뮴 농도 수준에도 차이가 발생된 것으로 판단된다. 또한, 본 연구의 한계점으로 폐금속광산지역은 대부분 농촌지역에 위치하고 있어 주민들의 연령이 고연령층이고 전체 검진 참여자 중 171명만이 24시간 요중 카드뮴 검사가 이루어졌기 때문에 지역주민의 전체를 대표한다고 할 수 없다. 따라서 정확한 골밀도 수준 및 요중 카드뮴 수준의 비교 및 요중 카드뮴이 골밀도에 미치는 정확한 원인을 파악하기 위해서 다양한 연령층에 대한 조사 및 이 지역에서 재배되는 농작물에 대한 중금속 농도와 이 음식들에 대한 주민들이 섭취 빈도 및 섭취량에 대한 정확한 정보가 필요하다고 판단된다. 마지막으로 본 연구에서는 여성의 폐경여부 및 칼슘, 인, 비타민 D 등을 포함한 영양소의 섭취 및 약물복용과 운동량 등에 대한 설문 조사가 제대로 이루어지지 않았기 때문에 추후에는 이와 같은 내용을 고려하여야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 충남지역의 8개 폐금속광산지역에 거주하는 있는 171명의 주민들을 대상으로 환경노출로 인한 중금속의 영향을 파악하기 위해 요중 카드뮴과 골밀도와의 관련성을 조사하였으며 그 내용은 다음과 같다.

171명의 요중 카드뮴 기하평균은 2.79 µg/g-cr, 남성은 2.39 µg/g-cr, 여성은 2.98 µg/g-cr으로 여성이 유의하게 높았다. 남성의 대퇴부 골밀도는 -2.51, 요추부는 -2.06이었으며, 여성의 대퇴부 골밀도는 -2.90, 요추부는 -2.30으로 남녀에 따른 대퇴부와 요추부의 골밀도는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 남성의 경우 골다공증 그룹의 요중 카드뮴 농도가 정상인 그룹보다 유의하게 높았으며, 요추부와 대퇴부 골밀도에 영향을 미칠 수 있는 독립변수들에 대하여 다중회귀분석시 요중 카드뮴, 체질량지수, 월수입이 골밀도에 영향을 미치는 요인으로 조사되었다. 또한, 요중 카드뮴 농도 수준과 골다공증에 대한 로지스틱 회귀분석시 요중 카드뮴 증가에 따라 골다공증에 대한 Odd ratio가 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 “폐금속광산 지역주민 건강영향조사” 사업으로 지원받은 과제에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Chen X, Zhu G, Jin T, Åkesson A, Bergdahl IA, Lei L, et al. Changes in bone mineral density 10 years after marked reduction of cadmium exposure in a Chinese population. *Environ Res.* 2009; 109(7): 874-879.
- Amzal B, Julin B, Vahter M, Wolk A, Johanson G, Åkesson A. Population toxicokinetic modeling of cadmium for health risk assessment. *Environ Health Perspect.* 2009; 117(8): 1293-3101.
- Staessen JA, Roels HA, Emelianov D, Kuznetsova T, Thijs L, Persson B, et al. Environment exposure to cadmium, forearm bone density, and risk of fractures: prospective population study. *The Lancet.* 1999; 353: 1140-1144.
- Noonan CW, Sarasua SM, Campagna D, Kathman SJ, Lybarger JA, Mueller PW. Effects of exposure to low levels of environmental cadmium on renal biomarkers. *Environ Health Perspect* 2002; 110(2): 151-55.
- Järup L, Åkesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2009; 238(3): 201-208.
- Vahter M, Gerglund M, Åkesson A, Linden C. Metal and women's health. *Environ Res Section A* 88. 2002; 145-155.
- Vahter M, Berglund M, Nermell B, Åkesson A. Bioavailability of cadmium from shellfish and mixed diet in women. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1996; 136(2): 332-341.
- Berglund M, Åkesson A, Nermell B, Vahter M. Intestinal absorption of dietary cadmium in women depends on body iron stores and fiber intake. *Environ Health Perspect.* 1994; 102(12): 1058-1066.
- Järup L, Hellström L, Alfvén T, Carlsson MD, Grubb A, Persson B, et al. Low level exposure to cadmium and early kidney damage: the OSCAR study. *Occup Environ Med.* 2000; 57(10): 668-672.
- Järup L, Alfvén T, Persson B, Toss G, Elinder CG. Cadmium may be a risk factor for osteoporosis. *Occup Environ Med.* 1998; 55(7): 435-439.
- Sorahan T, Esmen NA. Lung cancer mortality in UK nickel-cadmium battery workers, 1947-2000. *Occup Environ Med.* 2004; 61(2): 108-116.
- Nawrot T, Plusquin M, Hogervorst J, Roels HA, Celis H, Thijs L, et al. Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study. *Lancet Oncol.* 2006; 7: 119-126.
- Åkesson A, Bjellerup P, Lundh T, et al. Cadmium-induced effects on bone in a population-based study of women. *Environ Health Perspect.* 2006; 114(6): 830-834.
- Gallagher CM, Kovach JS, Meliker JR. Urinary cadmium and osteoporosis in U.S. Women > or = 50 years of age: NHANES 1988-994 and 1999-004. *Environ Health Perspect.* 2008; 116(10): 1338-143.
- Nawrot T, Geusens P, Nulens TS, Nemery B. Occupational cadmium exposure and calcium excretion, bone density, and osteoporosis in men. *Journal of Bone and Mineral Research.* 2010; 25(6): 1441-1445.
- Järup L, Berglund M, Elinder CG, Nordberg G, Vahter M. Health effect of cadmium exposure-A review of the literature and a risk estimate. *Scand J Work Environ Health.* 1998; 24: 1-52.
- Beacklund M, Pedersen NL, Björkman L, Vahter

- M. Variation in blood concentration of cadmium and lead in the elderly. *Environ Res.* 1999; 80(3): 222-230.
18. Vahter M, Åkesson A, Liden C, Ceccatelli S, Berglund M. Gender differences in the disposition and toxicity of metals. *Environ Res.* 2007; 104(1): 85-95.
 19. Rignell-Hydbom A, Skerfving S, Lundh T, Lindh CH, Elmstahl S, Bjellerup P, et al. 2009. Exposure to cadmium and persistent organochlorine pollutants and its association with bone mineral density and markers of bone metabolism on postmenopausal women. *Environ Res.* 2009; 109(8): 991-996.
 20. Schutte R, Nawrot TS, Richart T, Thijs L, Vanderschueren D, Kuznetsova T, et al. Bone resorption and environmental exposure to cadmium in women: a population study. *Environ Health Perspect.* 2008; 116(6): 777-783.
 21. Wang H, Zhu G, Shi Y, Weng H, Jin T, Kong Q, et al. Influence of environmental cadmium exposure on forearm bone density. *Journal of Bone and Mineral Research.* 2003; 18(3): 553-560.
 22. Trzcinka-Ochocka M, Jakubowski M, Szymczak W, Janasik B, Brodzk B. The effects of low environmental cadmium exposure on bone density. *Environ Res.* 2010; 110(3): 286-293.
 23. Sughis M, Penders J, Haufroid V, Nemeryand B, Nawrot TS. Bone resorption and environmental exposure to cadmium in children: a cross - sectional study. *Environ Health.* 2011; 10(104): 1-6.
 24. Jung GB, Kim WI, Park KL, Yun SG. Vertical distribution of heavy metals in paddy soil near abandoned metal mines. *Kor J Environ Agric* 2001; 20(4): 297-302.
 25. Chung JH, Kang PS, Kim CY, Lee KS, Hwang TY, Kim GT, et al. Blood Pb, Urine Cd and health assessment of residents in the vicinity of abandoned mines in Gyeongsangbuk-do. *Korean J Occup Environ Med.* 2005; 17(3): 225-237.
 26. Jung KS, Kim NS, Lee BK. Urinary creatinine concentration in the Korean population in KNHANES IV, 2009. *J Environ Health Sci.* 2012; 38(1): 31-41.
 27. Barr DB, Wilder LC, Caudill SP, Gonzalez AJ, Needham LL, Pirkle J. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population: implications for urinary biologic monitoring measurements. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(2): 192-200.
 28. Hill RH Jr, Ashley DL, Head SL, Needham LL, Pirkle JL. p-Dichlorobenzene exposure among 1,000 adults in the United States. *Arch Environ Health.* 1995; 50(4): 277-280.
 29. Shealy DB, Barr JR, Ashley DL, Patterson DG, Jr Camann DE, Bond AE. Correlation of environmental carbaryl measurements with serum and urinary 1-naphthol measurements in a farmer applicator and his family. *Environ Health Perspect.* 1997; 105(5): 510-513.
 30. Human Biomonitoring (HBM) values. Available <http://www.umwelt Daten.de/gesundheit-e/monitor/tab-hbm-values.pdf> [accessed 29 March 2012].
 31. The Ministry of Environment. Republic of Korea. Master plan of soil management around the abandoned metal mines. The Ministry of Environment. Republic of Korea. Seoul; 2004.
 32. Kim HJ, Kim BG, Kim DS, Seo JW, Yu BC, Kim YW, et al. Blood and urinary cadmium concentration of residents around abandoned metal mines in busan and Gyeongsangnam-do. *Korean J Occup Environ Med.* 2010; 22(1): 1-10.
 33. Besser JM, Brumbaugh WG, May TW, Schmitt CJ. Biomonitoring of lead, zinc, and cadmium in streams draining lead-mining and non-mining areas, southeast missouri, USA. *Environ Monit Assess.* 2007; 129: 227-241.
 34. WHO (World Health Organization). Assessment of Fracture Risk and its Application to Screening for Postmenopausal Osteoporosis. WHO Technical Reports Series 834. World Health Organization. Geneva. 1994; 1-129.
 35. Kim EK. A study on the correlation between nutrients intake, physical activity and bone mineral density in middle aged woman. *The Korea Journal of Sports Science.* 2003; 12(1): 503-509.
 36. Kwon SM, Lee BK, Kim HS. Relation between nutritional factors and bone status by broadband ultrasound attenuation among college students. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2009; 38(11): 1551-1558.
 37. Jea EJ, Byoun KE, Youn JE, Lee BK, Kim HS. Effects of body composition and nutrients intake on the calcaneal broadband ultrasound attenuation in college students. *Korean J Community Nutrition.* 2009; 14(5): 590-599.
 38. Parfitt AM, Gallaher JC, Heaney RP, Johnston CC, Neer R, Whedon CD. Vitamin D and bone health in the elderly. *Am J Clin Nutr.* 1982; 36: 1014-1031.
 39. Sower MFR. Epidemiology of calcium and vitamin D in bone loss. *J Nutr.* 1993; 123: 413-417.
 40. Terc SG, Almeida AA, Godinho AF. Cadmium and exposure to stress increase aggressive behavior. *Environ Toxicol Pharm.* 2011; 32(1): 40-45.
 41. Åkesson A, Lundh T, Vahter M, Bjellerup P, Lid-

- feldt J, Nerbrand C, et al. Tubular and glomerular kidney effects in Swedish women with low environmental cadmium exposure. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(11): 1338-1343.
42. Engström A, Michaëlsson K, Suwazono Y, Wolk A, Vahter M, Åkesson A. Long-term Cadmium exposure and the association with bone mineral density and fractures in a population-based study among women. *Journal of Bone and Mineral Research.* 2011; 26(3): 486-495.
43. Shin M, Peak D, Yoon C, The relationship between the bone mineral density and urinary cadmium concentration of residents in an industrial complex. *Environ Res.* 2011; 111(1): 101-109.
44. Becker K, Schulz C, Kaus S, Seiwert M, Seifert B. German environmental survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in the urine of the German population. *Int J Hyg Environ Health.* 2003; 206(1): 15-24.
45. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. Forth National Report on Human Exposure to Environmental Chemical. CDC. Atlanta. 2009.
46. Alfvén T, Elinder CG, Carlsson MD, et al. Low-level cadmium exposure and osteoporosis. *J Bone Miner Res.* 2000; 15(8): 1579-1586.