

## 지역사회 주민의 당화혈색소와 중금속 생체표지자와의 관련성

민영선<sup>1)</sup>, 이 관<sup>2)</sup>  
순천향대 천안병원 직업환경의학과<sup>1)</sup>, 동국대 예방의학교실<sup>2)</sup>

### The Association between HbA1c and the Biological Exposure Index for Heavy Metals in Community

Young-Sun Min MD, PhD<sup>1)</sup>, Kwan Lee MD, PhD<sup>2)</sup>  
*Department of Occupational and Environmental Medicine,  
Soonchunhyang University Cheonan Hospital, Cheonan-si, South Korea<sup>1)</sup>,  
Department of Preventive Medicine, Dongguk University College of Medicine, Gyeongju-si, South Korea<sup>2)</sup>*

#### = Abstract =

**Objectives:** The prevalence of diabetes mellitus was approximately 16% in populations of over age 30 years, and deaths from diabetes mellitus became the sixth most prevalent cause of death by disease. To assess the relationship between HbA1c and heavy metal level in blood and urine, targeted residents were evaluated in a vast steel industrial complex.

**Methods:** We selected 414 subjects for analysis after applying the following exclusion criterion: 18 persons with diabetes mellitus. They took part in a questionnaire survey and underwent blood and urinary assessments. HbA1c and lead (Pb) level were measured in blood and, cadmium (Cd), inorganic arsenic (iAs) and mercury (Hg) were evaluated in urine. Two subgroups were divided by HbA1c 6.5%. Each subgroup was divided by 10th, 20th, 30th, 40th, 50th, 60th, 70th, 80th and 90th percentile levels of biological exposure index of the heavy metals for logistic regression.

**Results:** Odd ratios have a tendency to increase as they go from the 90th to the 10th percentile of cadmium. However, lead, arsenic and mercury did not have significant relationships with HbA1c. In correction of age, region, gender and smoking history, a higher distribution in the subgroup with cadmium above 0.8318  $\mu\text{g/g}$  creatinine (30th percentile) was demonstrated in the subgroup with HbA1c levels above the 6.5%, with an odds ratio of 5.26 (95% C.I. ; 1.44~19.17).

**Conclusion:** This study found a significant correlation between urinary levels of cadmium and HbA1c in correction of several factors. It is meaningful that this outcome may be used as a basis for a study to establish the acceptable limit of urinary cadmium in Korea.

**Key Words:** Cadmium, Diabetes Mellitus, HbA1c, Heavy Metals

\* Received September 20, 2022; Revised September 21, 2022; Accepted September 22, 2022.

\* Corresponding author: 이 관, 경주시 동대로 123, 동국대학교 의과대학 예방의학교실(우. 38066)

Kwan Lee, Department of Preventive Medicine, Dongguk University College of Medicine, 123, Dongdae-ro, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do, 38066, Korea

Tel: +82-54-770-2408, Fax: +82-54-770-2438, E-mail: kwaniya@dongguk.ac.kr

\* This work was supported by the Soonchunhyang University Research Fund.

## 서 론

2020년 우리나라에서 당뇨병은 유병률 약 16.7%으로 한국 국가질병부담 연구에서도 장애보정연수의 가장 높은 원인으로 알려져 있다[1,2]. 당뇨병 발생에는 가족력, 노화, 성별, 고혈압과 같은 원인 이외에 음주, 흡연, 서구화된 식사습관, 운동부족, 비만 및 환경오염 등 생활습관과 생활환경과 관련된 다양한 원인들이 있는데, 최근에는 이러한 생활습관 변화뿐만 아니라 대기오염, 토양 오염, 상수도 오염 등 환경적 요인들도 많은 영향을 미친다[3]. 이러한 환경오염원에는 미생물, 화학물질, 환경호르몬 및 중금속도 포함되어 있으며, 카드뮴, 납, 수은 등과 같은 중금속은 제2형 당뇨병 발병 위험도 증가에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다[4]. 카드뮴은 도금작업, 배터리, 납땜, 보석(세공)등의 합금, 고무, 잉크, 페인트, 섬유, 세라믹 등의 염료 등으로 사용되는 중금속으로 여러 역학적 연구에서 혈당증가와 인슐린 감소 등이 관찰되었고[5], 동물실험에서 췌장 세포의 퇴화와 괴사 등에 의한 당뇨유발 가능성이 관찰되었으나[6] 최근 메타분석에서 카드뮴과 당뇨병 발병의 연관성에 대한 근거는 중간 정도로 제시하였다[5]. 납과, 수은도 제2형 당뇨병 발병 관련 동물 연구와 역학적 연구에서 그 관련성들이 많이 보고되어 왔다[7,8]. 이렇듯 중금속과 당뇨병의 관련성에 대해 지속적인 연구결과들이 보고되고 있지만 역학적 관련성은 충분하지 못한 것으로 평가받고 있다[4].

우리나라 환경부에서는 2003년부터 우리나라 여러 도시 및 농촌지역 주민들을 대상으로 카드뮴(Cd), 무기비소(iAs), 수은(Hg), 납(Pb)에 대한 혈중 또는 요중 중금속 농도를 모니터링 해왔다[9]. 이 자료 중 국내 대규모 철강공업단지가 위치한 일개 도시에서 철강산업단지 인근 거주 주민과 인근 농촌지역 인구집단을 대상으로 당화혈색소(HbA1c)와 중금속의 상관성을 파악하고 이 결과를 통해 우리나라 당뇨병 예방과 중금속 노출 기준 검토에 기초자료로 활용하고자 이 연구를 수행하였다.

## 연구방법

### 1. 연구대상

지역주민 생체지표 모니터링을 위한 조사의 일환으로 포항 철강산업단지로부터 5 km 이내 도심 지역과 포항 철강산업단지로부터 10~15 km 거리의 농촌 지역을 선정하였다. 선정된 지역에 사전 홍보를 하였고 자발적으로 방문한 대상자들에 대해 설문조사, 생체지표 검사 및 임상검사 등을 시행하였다. 1차년도 2008년 7월 28일부터 8월 9일까지 도심 지역 주민 227명과 농촌 지역 주민 49명, 2차년도 2009년 7월 13일부터 25일까지 도심 거주 주민 83명과 농촌 지역 주민 73명 총 432명에 대한 설문조사 및 생체시료 채취하였다. 이중 당뇨병 치료 중이어서 치료 약물에 의해 HbA1c가 잘 조절되고 있는 18명을 제외한 총 414명을 최종 연구대상으로 하였다.

### 2. 연구도구와 자료수집

모든 연구대상자에서 생체시료의 연구목적 사용을 위한 동의서를 받았고, 동국대학교 경주병원 생명윤리심의위원회(IRB) 연구 승인을 받은 후 수행하였다(제09-09호). 자료수집은 설문조사, 신체계측, 혈액검사, 생체시료검사를 통하여 이루어졌고 구체적인 방법과 측정도구는 다음과 같다.

#### 1) 설문조사

설문항목에는 성별, 연령, 결혼, 직업 등 인구학적 특성, 음주 흡연 등 생활습관, 당뇨병, 고혈압 등의 질병 및 약물복용력, 식사습관, 환경노출 등의 항목으로 구성하였다. 설문조사는 훈련된 의과대학 학생들에 의해 면대면 또는 자가보고 형식으로 시행되었다. 사전에 대상자에게 설문지를 배포하고 회수한 경우에는 기재 누락에 대한 점검을 실시하였다.

#### 2) 신체계측, 혈액검사 및 생체시료검사

키와 몸무게를 측정하여 body mass index(BMI, 체질량지수)를 산출하였으며, 혈액을 채취하여 HbA1c, 혈중 납 농도를 측정하였다. 소변을 채취

하여 요중 카드뮴, 무기비소, 수은 농도를 측정하였다.

중금속 생체표지자 분석을 위해 시료를 전처리하여 납은 238.3 nm, 카드뮴은 228.8 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 물질에 해당하는 흡광도와 보정용 표준용액의 농도를 이용하여 검정곡선을 작성하였는데, 전처리한 시료는 원자흡광광도법으로 측정하였으며, 검정곡선으로부터 각 성분의 양을 구하여, 시료 중 금속 성분의 농도를 계산하여 납은  $\mu\text{g}/\text{dl}$  단위로, 카드뮴은 크레아티닌으로 보정하여  $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 의 단위로 제시하였다. 무기비소와 수은도 전처리를 거쳐 원자흡광광도계를 이용하였고, 크레아티닌으로 보정하여  $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 의 단위로 제시하였다.

### 3) 측정변수 분류

교차분석 및 로지스틱회귀분석에 이용할 측정값 변수는 각 변수별로 연구자가 선정한 기준을 사용하여 분류였다. HbA1c는 당뇨병 진단기준으로 인정한 6.5% 기준으로 미만군과 이상군으로 분류하였다. 중금속은 분위수별 분류에서는 10 분위수부터 90분위수까지 각 중금속 농도에 해당하는 기준으로 분류하였다.

### 4) 통계분석

모든 자료는 엑셀에 전산 입력하였고, 자료는 SPSS for Windows software (ver. 25.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 통계 분석하였다. 우측왜곡된 중금속 농도 자료는 대수 변환하여 분석하였고 기하평균 및 기하표준편차로 표시하였다. 자료간의 유의성은 피어슨 상관분석, t-test, ANOVA, chi-square 검정, chi-square for trend 검정, 로지스틱회귀분석 등을 실시하여,  $p < 0.05$ 를 유의하다고 판단하였다.

## 결 과

### 1. 대상자의 일반적 특성

대상자는 성별로 남자가 141명(34.1%), 여자가 273명(65.9%)으로 총 414명이었고, 연령별로는 50대가 150명(36.2%)로 가장 많았다(Table 1). 음주는 1주에 1회 이상 음주하는 사람을 음주자, 미만을 비음주자로 분류하였고, 흡연은 현재 흡연을 하고 있는 사람을 흡연자로 정의하였다. 음주자는 86명(20.8%), 현재 흡연자는 55명(13.3%)으로 남자가 여자보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).

Table 1. General characteristics of subjects (N=414)

Characteristics	Categories	n	%
Gender	Male	141	34.1
	Female	273	65.9
Age(year)	20 - 29	24	5.8
	30 - 39	33	8.0
	40 - 49	60	14.5
	50 - 59	150	36.2
	$\geq 60$	147	35.5
HbA1c	$\geq 6.5\%$	31	7.5
	$< 6.5\%$	383	92.5
Smoking	Current	55	13.3
	Former and never	309	86.7
Drinking status	$\geq 1$ time per week	86	20.8
	$< 1$ time per week	328	79.2
Body mass index	$\geq 25.0 \text{ kg}/\text{m}^2$	180	43.7
	$< 25.0 \text{ kg}/\text{m}^2$	234	56.3

## 2. 생체시료 검사결과

당뇨병 유병률은 HbA1c 6.5 기준으로는 7.5%로 이상군은 남자 14명(9.9%), 여자 17명(6.2%)이었다(Table 1). HbA1c의 평균값은  $5.49 \pm 0.87\%$ 였고, 공복 혈당의 평균값은  $103.7 \pm 30.6$  mg/dl 이었다. 혈중 납의 산술평균과 기하평균은 각각  $2.89 \pm 1.73$ ,  $2.48$  (1.80)  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 요중 카드뮴의 산술평균과 기하평균은 각각  $1.61 \pm 1.27$ ,  $1.20$  (2.26)  $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine, 요중 무기비소의 산술평균과 기하평균은 각각  $14.34 \pm 10.77$ ,  $12.08$  (1.80)  $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine, 요중 수은의 산술평균과 기하평균은 각각  $2.20 \pm 2.15$ ,  $1.63$  (2.23)  $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine 이었다. 혈중 납, 요중 무기비소, 요중 수은의 평균 수치는 여성이 남성에 비해 카드뮴은 남성이 여성에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(Table 2).

## 3. 회귀분석결과

중금속 농도를 10분위수별로 두 군으로 나누어 HbA1c(6.5% 기준)와 성별, 연령, 지역 및 흡연 등을 보정하여 로지스틱회귀분석을 실시하였다. 카드뮴 10분위수의 값은  $0.4121$   $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine 인데 이 값을 기준으로 초과군, 이하군 두군으로 나누고 이를 범주 1로 정의하였다. 같은 방식으로 20분위수는  $0.6310$   $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine이었고, 이 값을 기준으로 이하군, 초과군 두군으로 나누어 범주 2로 하는 등 90분위수까지 각각 분위수 기준 수치별로 두군으로 나누어 총 9개의 범주를 만들었다. 납, 무기비소 및 수은도 카드뮴과 동일한 방식으로 분류하였다(Table 3).

Table 2. HbA1c, blood glucose and biological exposure index of heavy metals by gender

Contents	Male	Female	Total
HbA1c <sup>†</sup>	$5.56 \pm 0.94$	$5.45 \pm 0.82$	$5.49 \pm 0.87$
Random blood glucose <sup>†</sup>	$108.1 \pm 35.7$	$101.5 \pm 27.4$	$103.7 \pm 30.6$
Cadmium (urine) <sup>‡</sup>	0.81 (2.11)	1.47 (2.17)*	1.20 (2.26)
Lead (blood) <sup>‡</sup>	3.30 (1.57)*	2.14 (1.82)	2.48 (1.80)
Inorganic arsenic (urine) <sup>‡</sup>	11.02 (1.78)	12.66 (1.80)*	12.08 (1.80)
Mercury (urine) <sup>‡</sup>	1.28 (2.22)	1.84 (2.18)*	1.63 (2.23)

\*p<0.05 by t-test

<sup>†</sup> arithmetic mean  $\pm$  arithmetic standard deviation

<sup>‡</sup> geometric mean (geometric standard deviation)

unit : HbA1c (%), Blood sugar (mg/dl), Pb ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ), Cd; iAs; Hg ( $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine)

Table 3. Cut off values of heavy metal concentration by each percentile

Percentile	Cadmium (Urine) <sup>*</sup>	Lead (Blood) <sup>†</sup>	Inorganic arsenic (Urine) <sup>*</sup>	Mercury (Urine) <sup>*</sup>
10th	0.4121	1.1885	5.7544	0.6531
20th	0.6310	1.6596	7.4131	0.9120
30th	0.8318	2.0893	9.1201	1.0965
40th	1.0715	2.3442	10.2329	1.3804
50th	1.3490	2.6303	12.0226	1.6596
60th	1.5488	2.8840	13.8038	2.0893
70th	1.9498	3.2359	15.8489	2.5119
80th	2.2909	3.7154	19.4984	3.0200
90th	3.1261	4.4668	25.7040	4.0272

\*unit :  $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine, <sup>†</sup> unit :  $\mu\text{g}/\text{dl}$

요중 카드뮴 농도 범주 3에서 이상군이 미만군에 비하여 교차비 5.26(95% 신뢰구간 : 1.44~19.17)로 유의하게 높았다(Table 4). 범주 9~7까지는 유의한 상관관계가 없었고, 범주 5, 4에서 각각 교차비 2.61, 3.72으로 미만군에 비하여 이

상군의 HbA1c 6.5% 이상의 분포가 유의하게 높았다. 범주 2는 유의한 상관관계가 없었고, 범주 1은 교차비를 산출할 수 없었다(Figure 1). 남, 비소, 수은에서는 범주별 유의한 차이나 경향성을 찾을 수 없었다.

Table 4. Adjusted odds ratios for the association between diabetes mellitus and heavy metal biomarkers\*

Categories	Cadmium OR <sup>†</sup> (95%CI)	Lead OR <sup>†</sup> (95%CI)
Category 1	-	0.80 (0.22 ~ 2.93)
Category 2	2.20 (0.92 ~ 1.18)	0.66 (0.25 ~ 1.73)
Category 3	5.26 (1.44 ~ 19.17)	0.83 (0.35 ~ 1.97)
Category 4	3.72 (1.35 ~ 10.26)	1.07 (0.48 ~ 2.42)
Category 5	2.61 (1.09 ~ 6.27)	1.05 (0.48 ~ 2.31)
Category 6	2.00 (0.88 ~ 4.51)	1.29 (0.58 ~ 2.87)
Category 7	1.57 (0.68 ~ 3.63)	1.77 (0.79 ~ 3.96)
Category 8	1.80 (0.73 ~ 4.40)	2.43 (1.06 ~ 5.59)
Category 9	1.26 (0.39 ~ 4.12)	1.34 (0.46 ~ 3.92)

Abbreviations: CI, confidence interval; OR, odds ratio

\*data not shown for mercury and inorganic arsenic

† adjusted for age, district, sex and smoking habit

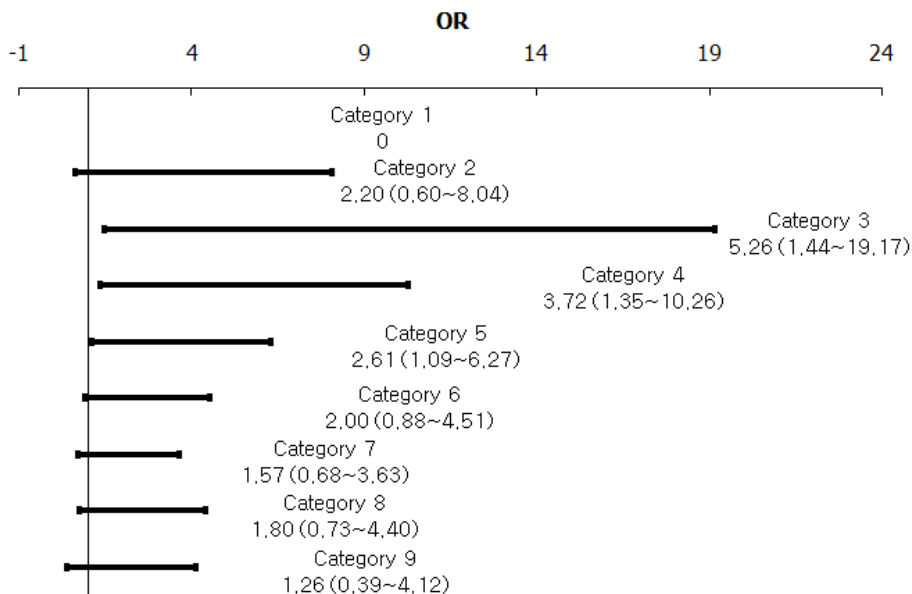


Figure 1. The odds ratios by logistic regression between each categories of cadmium and 2 subgroups divided by 6.5% of HbA1c after adjusting age, district, sex and smoking habit

## 고찰

중금속 농도 검사 결과 카드뮴의 경우 1.20 (2.26)  $\mu\text{g/g}$  creatinine으로 2003년부터 2011년까지 우리나라에서 수행된 “산단 지역 환경오염 노출 및 건강영향 감시사업”의 전국 평균인 1.24 (2.56)  $\mu\text{g/g}$  creatinine과 유사한 수준이었다[10]. 혈중 납의 기하평균은 2.48 (1.80)  $\mu\text{g/dl}$ 로 최근 국민 건강영양조사에서는 남자 1.53  $\mu\text{g/dl}$ , 여자 1.24  $\mu\text{g/dl}$  수준으로 보고하였는데[11], 전세계적으로 혈중 납 수준이 감소하는 추세여서 조사당시의 혈중 납 수준이 현재 수준보다 높았던 것으로 보인다[12]. 이 연구에서 당뇨병 유병률은 HbA1c 6.5 기준으로는 7.5%, 30세 이상만 분석하였을 때 HbA1c 6.5 기준으로는 7.9%이었는데, 최근 우리나라 당뇨병 유병률 대비 낮은 수준이었다 [1]. 이러한 차이는 국민건강영양조사의 유병률 산출방식에서 ‘공복혈당 126 mg/dl 또는 의사의 진단을 받은 사람’ 모두를 포함시켰고, 본 연구에서는 당뇨병 진단자 중 당뇨병 치료로 HbA1c가 잘 조절되고 있는 사람은 연구대상에서 제외하였기 때문으로 판단된다. 이 연구의 연구대상에서 제외된 당뇨병 환자 18명과 ‘HbA1c 6.5% 이상 또는 의사 진단자’를 포함 시킬 경우 총 432명 중 49(11.3%)명이 당뇨병으로 확인되었는데 이는 현재 우리나라 유병률보다는 낮지만 2000년대 후반 당시 유병률과는 유사한 수준이었다[13].

중금속 농도를 각 10분위수별로 분류한 변수를 HbA1c 6.5% 기준으로 분류한 변수와 교차분석을 실시한 결과 카드뮴은 범주 9(90분위수)에서 분위수가 내려갈수록 교차비가 점점 커지는 경향성을 보였으며, 범주 5(50분위수) 부터 범주 3(30분위수) 까지는 각 분위수 미만군보다 이상군에서 당뇨병 기준에 해당하는 HbA1c 6.5% 이상인 사람의 분포가 유의하게 높았다. 범주 2 기준에서는 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았지만, 표본수가 커진다면 통계적으로 유의한 값을 보일 것으로 추정한다. 동물실험에서 카드뮴은 췌장, 간, 지방조직에서 글루코스 대사에 다양한 방식으로 영향을 미쳐 혈당을 증가시키고,

췌장 베타세포에서 인슐린 분비를 방해하는 형태로 당뇨병을 유발한다고 알려져 있으나[14], 인간집단 역학적 연구에서는 결과가 다양하였다. 과거 연구에서는 요중 카드뮴 농도와 당뇨병의 유병률과는 유의한 상관성은 없는 것으로 보고하였는데[15], 최근 연구에서는 상당한 인과관계를 보인 연구들이 많이 발표되고 있다[16]. 2.4  $\mu\text{g/g}$  creatinine 이상의 농도에서 소변 카드뮴 농도와 제2형 당뇨병 사이의 양의 상관관계를 보고하기도 하였으며[17], 특히 최근 메타분석에서는 용량 반응 메타 분석에서 카드뮴 노출과 당뇨병 위험 사이에 일관된 선형 양성 연관성을 보고하였다[5].

수은은 최근 메타분석에서도 여러 연구들의 역학 증거의 일관성 부족을 지적하였고[18], 남은 이전 연구에서 당뇨병의 잠재적 위험요인으로 알려져 있지만[19] 본 연구에서는 단지 범주 8(80분위수) 기준에서만 미만군에 비하여 이상군의 HbA1c 6.5% 이상군의 분포가 유의하게 높았을 뿐 다른 분위수 기준에서는 유의한 차이를 관찰하지 못하였다. 관련성에 대한 고찰은 추가 연구가 필요하다. 여러 연구에서 비소가 췌장의  $\beta$ -세포를 분비하는 인슐린의 파괴가 인슐린 분비를 감소시키는 것으로 조사되었고, 비소노출과 당뇨병 사이에 양의 상관관계가 있음이 보고되었다[20]. 그러나 이 연구에서는 각분위수별 HbA1c(6.5% 기준) 변수와의 교차분석에서 범주 9와 1까지 군별로 HbA1c 6.5% 미만군과 이상군의 분포 차이는 없었다. 범주 9에서 1로 갈수록 교차비가 커지거나 작아지는 경향성은 보이지 않았다.

이 연구에서는 몇 가지 제한점들과 강점들이 있다. 흡연 및 음주의 정량화, 검체 채취 표준화, 직업력과 환경노출에 대한 분류 등이 완벽하게 이루어지지 못하였고, 단면연구로써 요인과 결과의 선후관계를 명확하게 파악하지 못하였다. 또한, 대상자 선정에 있어 당뇨병 진단을 받았으나 HbA1c가 6.5%를 넘은 군은 대상자에 포함되어 중금속 농도와 HbA1c의 관련성이 왜곡되었을 가능성도 있다. 그러나 연구결과를 통해 여러 요인을 보정하고도 요중 카드뮴과 HbA1c의 유의한 양의 상관관계를 파악하였고, 특히 유의한

상관관계를 보인 요중 카드뮴 농도의 특정 컷오프 값을 찾아내어 이를 통해 우리나라에 적합한 생물학적 노출값 설정의 참고자료로 활용될 수 있다는 점에서 의의가 있다고 생각한다.

### 요 약

당뇨병 발생에는 생활습관이나 생활환경과 관련된 다양한 원인들이 있는데 최근 연구에서 중금속에 많이 노출된 사람에서 당뇨병 발생 및 당뇨병의 악화가 늘어났다는 역학적 연구가 많이 발표되고 있다. 이에 국내 대규모 철강공업단지를 가진 일개 도시 지역 주민을 대상으로 당화혈색소와 체내 중금속의 상관성을 파악하고자 하였다.

2008~2009년 연구대상 총 414명에 대한 설문 조사와 생체시료를 채취하였다. 설문은 성별, 연령, 인구학적 특성, 흡연, 음주, 직업, 당뇨진단 유무 등의 항목으로 구성하였다. 혈액을 채취하여 HbA1c, 혈중 납 농도를 측정하였고, 소변을 채취하여 요중 카드뮴, 무기비소, 수은 농도를 측정하였다. HbA1c는 6.5%기준으로 미만군과 이상군으로 분류하였다. 각 중금속별 10분위수부터 90분위수 농도에 해당하는 기준으로 미만군과 이상군 등 두 군을 분류하였다.

당뇨관련검사 결과 HbA1c 6.5% 기준으로 이상군은 남자 14(9.9%)명, 여자 17(6.2%)명이었다. 혈중 납의 기하평균 농도는 2.48 (1.80)  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 요중 카드뮴의 기하평균농도는 1.20 (2.26)  $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ , 요중 무기비소의 기하평균농도는 12.08 (1.80)  $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ , 요중 수은의 기하평균농도는 1.63 (2.23)  $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$  이었다. 연령, 지역, 성별, 흡연으로 보정하였을 때 요중 카드뮴 농도 30분위수 이상군이 미만군에 비하여 교차비 5.26(95% 신뢰구간 : 1.44~19.17)으로 유의하게 높았다. 납, 무기비소, 수은은 HbA1c(6.5% 기준) 변수와의 교차분석에서 유의한 분포 차이는 없었다.

여러 요인을 보정하고도 요중 카드뮴과 HbA1c의 유의한 양의 상관관계를 파악하였고, 특히 유의한 상관관계를 보인 요중 카드뮴 농도의 특정 컷오프 값을 찾아내어 이를 통해 우리나라에 적

합한 생물학적 노출값 설정의 참고자료로 활용될 수 있다는 점에서 의의가 있다고 생각한다.

### 참고문헌

1. Bae JH, Han KD, Ko SH, Yang YS, Choi JH, Choi KM, Kwon HS, Won KC. Diabetes Fact Sheet in Korea 2021. *Diabetes Metab J* 2022;46(3):417-426
2. Kim YE, Park H, Jo MW, Oh IH, Go DS, Jung J, et al. Trends and patterns of burden of disease and injuries in Korea using disability-adjusted life years. *J Korean Med Sci* 2019;34(Suppl 1):e75
3. Beulens JWJ, Pinho MGM, Abreu TC, den Braver NR, Lam TM, Huss A, Vlaanderen J, Sonnenschein T, Siddiqui NZ, Yuan Z, Kerckhoffs J, Zhernakova A, Brandao Gois MF, Vermeulen RCH. Environmental risk factors of type 2 diabetes—an exposome approach. *Diabetologia* 2022;65(2):263-274
4. Valcke M, Ouellet N, Dub? M, Laouan Sidi EA, LeBlanc A, Normandin L, Balion C, Ayotte P. Biomarkers of cadmium, lead and mercury exposure in relation with early biomarkers of renal dysfunction and diabetes: Results from a pilot study among aging Canadians. *Toxicol Lett* 2019;312:148-156
5. Filippini T, Wise LA, Vinceti M. Cadmium exposure and risk of diabetes and prediabetes: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ Int* 2022;158:106920. doi: 10.1016/j.envint.2021.106920
6. Lei LJ, Jin TY, Zhou YF. Insulin expression in rats exposed to cadmium. *Biomed Environ Sci* 2007;20(4):295-301
7. Padilla MA, Elobeid M, Ruden DM, Allison DB. An examination of the association of selected toxic metals with total and central obesity indices: NHANES 99-02. *Int J*

- Environ Res Public Health* 2010;7(9):3332-47. doi: 10.3390/ijerph7093332
8. González-Villalva A, Colín-Barenque L, Bizarro-Nevarés P, Rojas-Lemus M, Rodríguez-Lara V, García-Pelaez I, Ustarroz-Cano M, López-Valdez N, Albarrán-Alonso JC, Fortoul TI. Pollution by metals: Is there a relationship in glycemic control? *Environ Toxicol Pharmacol* 2016;46:337-343
  9. Kim DS, Ahn SC, Ryu JM, Yu SD. Monitoring study on exposure levels of environmental pollutants in residents of a non-industrial area, Korea *J Environ Health Sci* 2012; 38(6): 482-492 (Korean)
  10. Park E, Kim S, Song SH, Lee CW, Kwon JT, Lim MK, Park EY, Won YJ, Jung KW, Kim B. Environmental exposure to cadmium and risk of thyroid cancer from national industrial complex areas: A population-based cohort study. *Chemosphere* 2021;268:128819. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128819
  11. Park Y, Oh CU. Association of lead, mercury, and cadmium with metabolic syndrome of young adults in South Korea: The Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2016. *Public Health Nurs* 2021;38(2):232-238
  12. Wang T, Zhou YP, Sun Y, Zheng YX. Trends in Blood Lead Levels in the U.S. From 1999 to 2016. *Am J Prev Med* 2021;60(4):e179-e187
  13. Cho NH. The epidemiology of diabetes in Korea: from the economics to genetics. *Korean Diabetes J* 2010;34(1):10-15
  14. Edwards JR, Prozialeck WC. cadmium, diabetes and chronic kidney disease. *Toxicol Appl Pharmacol* 2009;238(3):289-293
  15. Swaddiwudhipong W, Mahasakpan P, Limpatanachote P, Krintratun S. Correlations of urinary cadmium with hypertension and diabetes in persons living in cadmium-contaminated villages in northwestern Thailand: A population study. *Environ Res* 2010;110(6):612-616
  16. Tinkov AA, Filippini T, Ajsuvakova OP, Aaseth J, Gluhcheva YG, Ivanova JM, Bjørklund G, Skalnaya MG, Gatiatulina ER, Popova EV, Nemereshina ON, Vinceti M, Skalny AV. The role of cadmium in obesity and diabetes. *Sci Total Environ* 2017;601-602:741-755
  17. Guo FF, Hu ZY, Li BY, Qin LQ, Fu C, Yu H, Zhang ZL. Evaluation of the association between urinary cadmium levels below threshold limits and the risk of diabetes mellitus: a dose-response meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int* 2019;26(19):19272-19281
  18. Roy C, Tremblay PY, Ayotte P. Is mercury exposure causing diabetes, metabolic syndrome and insulin resistance? A systematic review of the literature. *Environ Res* 2017;156:747-760
  19. Moon SS. Association of lead, mercury and cadmium with diabetes in the Korean population: the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2009-2010. *Diabet Med* 2013 ;30(4):e143-148
  20. Rehman K, Fatima F, Akash MSH. Biochemical investigation of association of arsenic exposure with risk factors of diabetes mellitus in Pakistani population and its validation in animal model. *Environ Monit Assess* 2019;191(8):511. doi: 10.1007/s10661-019-7670-2