

## 한국 여자 청소년과 성인 여성의 혈청 철 영양상태 및 식품 섭취와 혈중 중금속 농도와의 상관성 : 2010~2011 국민건강영양조사 자료를 이용하여\*

김지영<sup>1\*\*</sup> · 신민서<sup>1\*\*</sup> · 김성희<sup>2</sup> · 서지현<sup>1</sup> · 마혜선<sup>1</sup> · 양윤정<sup>1†</sup>

동덕여자대학교 식품영양학과,<sup>1</sup> 동덕여자대학교 임상영양학과<sup>2</sup>

## Association of iron status and food intake with blood heavy metal concentrations in Korean adolescent girls and women: Based on the 2010~2011 Korea National Health and Nutrition Examination Survey\*

Jiyoung Kim<sup>1\*\*</sup> · Minseo Shin<sup>1\*\*</sup> · Sunghee Kim<sup>2</sup> · Jihyun Seo<sup>1</sup> · Hyesun Ma<sup>1</sup> · Yoon Jung Yang<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Dongduk Women's University, Seoul 02748, Korea

<sup>2</sup>Department of Clinical Nutrition, Dongduk Women's University, Seoul 02748, Korea

### ABSTRACT

**Purpose:** This study examined and compared the associations of the iron status and food intake with the blood lead, mercury, and cadmium concentrations among Korean adolescent girls, premenopausal women, and postmenopausal women. **Methods:** The data from the 2010~2011 Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) was used. The subjects were classified into three groups: adolescent girls (n = 268), premenopausal women (n = 1,157), and postmenopausal women (n = 446). The iron status was assessed by hemoglobin, hematocrit, serum ferritin, and iron concentrations, as well as the total iron binding capacity (TIBC). The food intake was estimated by a food frequency questionnaire. **Results:** The blood heavy metal concentrations and poisoning rate in postmenopausal women were higher than in the other groups. The iron status in the adolescent girls and postmenopausal women was higher than that in the premenopausal women. In the adolescent girls, the iron status was inversely associated with the blood cadmium concentration. The dairy food intake was inversely related to the blood lead and cadmium concentrations. In premenopausal women, the iron status was inversely associated with the cadmium concentrations. The fish and shellfish food intakes were positively associated with the mercury concentrations. In postmenopausal women, the iron status was positively associated with the mercury and cadmium concentrations. Fast foods and fried foods were inversely associated with the lead concentration. **Conclusion:** The premenopausal women showed a lower iron status than the adolescent girls and postmenopausal women. The associations of the iron status with the blood heavy metal concentrations were different among the adolescent girls, premenopausal women, and postmenopausal women. In addition, the relationships of the food intakes with the blood heavy metal concentrations differed among adolescent girls, premenopausal women, and postmenopausal women. Further studies will be needed to confirm these findings.

**KEY WORDS:** iron status, lead, mercury, cadmium, food intake

### 서 론

중금속은 체내에 유입되었을 때 일부는 배설되지 않고 축적이 되어 미량만으로도 장기간 인체에 유해한 영향을

끼치는 것으로 알려져 있다.<sup>1,2</sup> 인체에 중금속이 노출되는 경로는 직업적 노출 외에도 매우 다양하여, 대표적인 중금속인 납의 경우 주로 자동차 배기가스, 대기, 토양, 음식물 등으로 인해 노출된다.<sup>2,3</sup> 수은과 카드뮴은 유입 경로 중 과

Received: March 30, 2017 / Revised: April 21, 2017 / Accepted: July 31, 2017

\*This study was supported by the Dongduk Women's University Grant.

\*\*These two authors equally contributed to this work.

†To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-940-4465, e-mail: yjyang@dongduk.ac.kr

© 2017 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

반수가 식품과 토양으로,<sup>4</sup> 유기수은은 생태계의 먹이연쇄 과정을 거쳐 농축되고 최근 보고 된 바에 의하면, 한국 성인이 하루 섭취하는 수은의 양은 18 ( $\mu\text{g}$ )이며, 90% 이상의 수은 노출은 음식섭취로부터 온다.<sup>5</sup> 카드뮴 역시 비흡연자일 경우, 주된 노출 급원은 토양이나 수질오염에 의한 식품을 통해 흡입된다는 보고가 있다.<sup>3</sup> 이러한 중금속 축적이 인체에 미치는 영향은 국내외에서 다수의 연구를 통하여 밝혀졌는데, 납은 빈혈, 신장손상, 뇌병증 등을 유발하고, 수은은 중추신경계에 영향을 미쳐 근육강직, 신경계 장애 등을 유발한다. 카드뮴의 체내 축적은 신장기능장애, 칼슘대사이상, 빈혈 등에 영향을 미친다.<sup>3,6</sup> 특히 지금까지 연구된 바로는 낮은 철 영양상태와 혈중 중금속 농도에 연관이 있다고 보고하고 있다. 국외의 Kim 등<sup>7</sup>의 연구에서 혈청 페리틴이 낮, 카드뮴과 같은 중금속의 체내 흡수와 관련이 있다고 보고하였고, 국내의 Lee 등<sup>8</sup>과 Suh 등<sup>9</sup>의 연구에서도 혈중 카드뮴 농도의 증가가 철 영양상태의 결핍과 연관된다고 보고하였다. 또한 중금속의 주 노출 경로인 식품과의 관계도 다양하게 연구되어 왔다. 한국인의 식단 중 어패류, 곡류가 중금속에 가장 많이 노출이 된 식품군으로 보고된 바가 있다.<sup>2</sup> 생선류를 많이 섭취할수록 혈중 수은 농도가 높아진다는 연구 결과가 있었으며<sup>10,11</sup> Watanabe 등<sup>12</sup>에 의하면 아시아 국가의 높은 쌀 섭취가 높은 혈중 카드뮴 농도와 관련이 있다고 하였다. 이와 같이 대부분의 연구에서는 철 영양상태와 식품 섭취는 혈중 중금속 농도와의 상관성이 있음을 각각 보고하고 있다.

Ilich-Ernst 등<sup>13</sup> 과 국내외 연구 결과<sup>14,15</sup>에서 알 수 있듯이 철 영양상태는 여성에서 월경 여부와 성장기에 따라 다르다. 선행연구에서 철 영양상태와 체내 중금속 농도에 대한 보고는 있었지만<sup>9,16</sup> 여성을 대상으로 월경 여부나 성장에 따라 철 영양상태와 중금속과의 상관성을 비교한 논문은 없었다. 한편 폐경기 전·후 일본 여성을 대상으로 한 선행연구에서<sup>17</sup> 소변의 카드뮴 농도와 성호르몬 농도 간에 역의 상관성을 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 2010~2011년 국민건강영양조사 자료를 이용하여 철 결핍을 일으킬 수 있는 월경 여부와, 성장기의 혈액량 증가, 호르몬 변화 기준<sup>14</sup>으로 초경 후 여자 청소년, 폐경 전 여성, 폐경 후 여성으로 대상자를 선정하여 철 영양상태 및 식품 섭취와 혈중 중금속 농도와의 상관성을 비교하였다.

## 연구방법

### 연구대상

본 연구는 질병관리본부의 연구윤리심의위원회의 승인을 받아 실시되고 있는 국민건강영양조사 (Korea National

Health And Examination Survey, KNHANES) 제 5기 (2010~2011) 자료를 이용하여 수행되었다. 2010~2011년도 국민건강영양조사에 참여하고 빈혈검사, 중금속검사, 월경여부가 조사된 여자 청소년 285명과 성인 여자 1,787명 중에 빈혈에 영향을 줄 수 있는 질병 대상자 (신부전증 2명, 간경변증 3명) 5명과 양측난소절제술을 받은 36명, 그리고 자연 폐경이 아닌 응답자 (임산부 25명, 수술 등으로 인한 인공 폐경 67명, 기타 9명, 모름 9명) 143명과 초경 전 여자 청소년 17명을 제외하였다. 따라서 최종 연구 대상자는 초경 후 여자 청소년 268명, 폐경 전 여성 1,157명, 폐경 후 여성 446명이었다.

### 일반사항

일반사항은 건강설문조사 중 성별, 나이, 교육수준, 거주지역, 음주, 흡연, 운동 자료를 사용하였다. 교육 수준은 '초등학교 졸업 이하', '중학교 졸업', '고등학교 졸업', '대학교 졸업 이상'으로 재 분류 하였으며, 거주지는 도시 ('동')와 농촌 ('읍'/'면')으로 분류하였다. 음주 여부는 1년간 음주빈도를 기준에 따라 전혀 마시지 않음 ('전혀 마시지 않음', '비해당'), 한달 4회 미만 ('월1회 미만', '월1회 정도', '월2~3회'), 주 2~3회 ('주 2~3회'), 주 4회 이상 ('주4회 이상')으로, 흡연 여부는 흡연하지 않음 ('과거엔 피웠으나, 현재 피우지 않음', '비해당', '모름')과 흡연함 ('가끔 피움', '피움')으로 재 분류하였다. 운동은 1주일간 중등도 신체활동 문항을 사용하여 활동일수를 기준으로 전혀 운동을 하지 않음 ('전혀 하지 않음'), 일주일에 1~2일 ('1일', '2일'), 일주일에 3~4일 ('3일', '4일'), 일주일에 5~7일 ('5일', '6일', '7일')으로 재분류하였다.

### 신체계측 및 혈중 중금속 농도

검진조사 자료 중 신체계측 자료로 신장, 체중, 체질량지수 (body mass index, BMI)를 사용하였으며, 체질량지수는 체중 (kg)을 신장 ( $\text{m}^2$ )으로 나누어 계산하였다. 대상자의 중금속 노출은 검진조사 자료 중 혈액검사 자료의 납, 수은, 카드뮴 농도를 사용하였다. 혈중 납과 카드뮴 농도는 PerkinElmer, Finland)를 사용한 원자흡광광도법 (graphite furnace atomic absorption spectrometry, GFAAS)으로, 혈중 수은 농도는 DMA-80 (Milestone, Italy)을 이용한 골드아말감법으로 측정하였다.

### 철 영양상태

혈액검사 자료 중 헤모글로빈, 헤마토크릿, 혈청 페리틴, 철, 철결합능의 결과를 사용하여 철 영양상태를 분석하였다. 헤모글로빈과 헤마토크릿 농도는 XE-2100D (Sysmex, Japan)를 이용한 Cumulative pulse height detection 법으로 측

정되었다. 혈청 페리틴 (ferritin)은 1470 WIZARD gamma-counter (PerkinElmer, Finland)를 이용해 immunoradiometric assay 법으로 측정되었다. 철과 철결합능 농도는 Hitachi Automatic Analyzer7600 (Hitachi, Japan)를 이용하여, 철 농도는 bathophenanthroline direct 법으로, 철결합능 농도는 calculation법으로 측정되었다.

### 식이조사

식에 대한 정보는 식생활조사, 식품섭취빈도조사, 식품섭취조사 자료를 이용하였다. 식생활조사 자료로 최근 1개월 동안 주 1회 이상 식이보충제 복용여부 결과를 사용하였고, 24시간 회상법을 통하여 조사된 영양소 섭취 결과를 사용하였다. 통계분석에 사용된 영양소는 에너지, 단백질, 지방, 탄수화물, 조섬유, 칼슘, 인, 철, 나트륨이었다. 식품섭취빈도조사에서 수집된 자료를 이용해 산출한 일일 식품섭취빈도 자료를 사용하였으며, 총 63개의 식품을 12개군의 식품으로 분류해 본 연구를 시행하였다. 식품군은 곡류(쌀, 잡곡, 라면, 국수, 빵류, 떡류), 두류(콩류, 두부, 우유), 서류(감자, 고구마), 육류 및 난류(쇠고기, 닭고기, 돼지고기, 햄, 달걀), 생선류(고등어, 참치, 조기, 명태, 멸치, 어묵류, 오징어, 조개류, 갯갈류), 채소류(배추, 무, 무청, 콩나물, 시금치, 오이, 고추, 당근, 호박, 양배추, 토마토, 버섯류), 해조류(미역, 김), 과일류(귤, 감, 귤감, 배, 수박, 참외, 딸기, 포도, 복숭아, 사과, 바나나, 오렌지), 우유 및 유제품(우유, 요거트), 음료(탄산음료, 커피, 녹차), 주류(맥주, 소주, 막걸리), 패스트푸드 및 튀긴 음식(햄버거, 피자, 튀긴 음식)으로 분류하였다.

### 자료분석 및 통계처리

본 연구의 자료는 Statistical Analysis System (SAS Institute, USA) version 9.3을 이용하여 분석하였다. 국민건강영양조사는 복합표본설계 (complex survey design)로 이루어져 자료분석을 위하여 층화변수 (KSTRATA), 집락변수 (PSU)와 통합가중치를 고려하여 통계분석을 실시하였다.

대상자 일반사항의 연속형 변수는 평균  $\pm$  표준오차 (mean  $\pm$  standard error)로 제시하였고, 각 변수의 평균 차이는 일원분산분석 (analysis of variance, ANOVA)를 사용하여 유의성을 검정하였고, 사후 검정 방법으로 Tukey test를 이용하였다. 범주형 변수는 빈도 (백분율)로 제시하였으며, 각 변수의 빈도 차이는 카이제곱검정 (chi-square test)를 사용하여 검정하였다. 혈중 중금속 농도와 연령 및 BMI와의 상관성은 피어슨 상관계수를 이용하여 나타내었다.

혈중 중금속 농도는 일반적으로 대수정규분포를 취하

고 있어 정규성을 위하여 기하평균 (신뢰구간)으로 제시하였으며, 철 영양상태는 평균  $\pm$  표준오차로 제시하였다. 각 변수의 평균 차이는 일원분산분석을 사용하여 유의성을 검정하였고, 사후 검정 방법으로 Tukey test를 이용하였다.

각 그룹에서 혈중 중금속 농도의 권고수준을 기준으로 중금속의 중독 상태를 빈도 (백분율)로 제시하였다. 권고수준은 납과, 카드뮴의 경우 Centers for Disease Control and Prevention (CDC) 기준<sup>18</sup>을 사용했으며 수은의 경우 HBM I의 기준<sup>19</sup>을 사용하였다. 철 영양상태의 정상범위를 기준으로 철 영양 결핍 상태도 빈도 (백분율)로 제시하였다. 이때, 헤모글로빈, 혈청 페리틴, 헤마토크릿은 WHO의 기준<sup>20</sup>을 따랐고 철과 총 철 결합능의 경우, Gibson이 명시한 기준<sup>21</sup>을 사용하였다. 각 변수의 빈도 차이는 카이제곱검정을 사용하여 유의성을 검정하였다. 로그로 전환된 혈중 중금속 농도와 철 영양상태 및 식품군별 일일 섭취빈도와의 상관관계를 다중 선형 회귀분석 (multiple linear regression)으로 확인하였다. 초경 후 그룹에서는 나이, BMI, 거주지 그리고 음주여부를 보정변수로 사용하였고, 폐경 전과 폐경 후 그룹에서는 나이, BMI, 거주지, 음주여부 그리고 흡연여부를 보정변수로 사용하였다. 모든 결과의 통계적 유의성은  $p < 0.05$ 를 기준으로 검정하였다.

## 결 과

### 일반사항

청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 일반사항은 Table 1에 제시하였다. 청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 평균 나이는 각각 15.3세, 34.1세, 56.3세였다. 교육수준, 거주 지역, 중등도 강도의 운동 일수는 군별로 유의적인 차이를 보였다. 영양소 섭취의 경우, 청소년 그룹은 평균 에너지 섭취량과 지방섭취량이 가장 높았으며, 식이섬유, 철, 나트륨, 칼륨 섭취는 가장 낮았다. 폐경 후 그룹은 탄수화물, 식이섬유, 철, 칼륨의 섭취는 가장 높고, 단백질과 지방의 섭취는 가장 낮았다. 최근 1개월 동안 주 1회 이상 식이보충제를 복용한 비율은 폐경 후, 폐경 전, 청소년 그룹이 각각 53.2%, 37.0%, 18.6%였다.

### 혈중 중금속 농도와 연령 체질량지수 간의 상관성

초경 후 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹에서 각각 연령과 혈중 중금속 농도와의 상관성을 살펴본 결과를 Table 2에 나타내었다. 초경 후 청소년에서 카드뮴 농도와 연령 간에 양의 상관성이 폐경 전 여성에서 납, 수은, 카드뮴 농도와 연령 간에 양의 상관성이 있었다. 하지만 폐경 후 여성에서

**Table 1.** General characteristics of the subjects

Characteristic	Adolescent girls (n = 268)	Premenopausal women (n = 1,157)	Postmenopausal women (n = 446)	p <sup>1)</sup>
Age (year)	15.3 ± 0.1 <sup>2)a</sup>	34.1 ± 0.3 <sup>b</sup>	56.3 ± 0.2 <sup>c</sup>	< 0.0001
Anthropometric measurement				
Height (cm)	159.9 ± 0.4 <sup>b</sup>	159.6 ± 0.2 <sup>b</sup>	155.0 ± 0.3 <sup>a</sup>	< 0.0001
Weight (kg)	54.33 ± 0.7 <sup>a</sup>	57.2 ± 0.3 <sup>b</sup>	58.2 ± 0.4 <sup>c</sup>	< 0.0001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.2 ± 0.3 <sup>a</sup>	22.5 ± 0.1 <sup>b</sup>	24.3 ± 0.2 <sup>c</sup>	< 0.0001
Education status				< 0.0001
Below elementary	134 (43.3) <sup>3)</sup>	42 (4.2)	203 (44.6)	
Middle school	118 (50.4)	61 (5.2)	92 (23.6)	
High school	15 (5.9)	495 (45.1)	121 (24.9)	
College or higher	1 (0.3)	556 (45.5)	28 (6.8)	
Residence area				0.0002
Urban	229 (82.8)	995 (85.2)	341 (76.3)	
Rural	39 (17.2)	162 (14.8)	105 (23.7)	
Alcohol intake				NA <sup>4)</sup>
None	210 (74.7)	288 (20.0)	195 (41.5)	
≤ 4times/month	55 (23.8)	784 (68.1)	225 (51.3)	
2~3times/week	2 (1.4)	114 (9.5)	16 (4.3)	
≥ 4times/week	0 (0.0)	25 (2.4)	9 (2.9)	
Smoking status				NA
Current Smoker	0 (0.0)	85 (8.3)	15 (4.0)	
Exercise				0.002
None	156 (59.6)	732 (64.1)	318 (70.9)	
1~2day/week	69 (25.8)	197 (17.5)	46 (11.5)	
3~4day/week	25 (7.9)	122 (9.9)	36 (6.8)	
5~7day/week	18 (6.8)	106 (8.6)	46 (10.8)	
Nutrients				
Total energy intake (kcal/day)	1,916.9 ± 60.0 <sup>b</sup>	1,774.7 ± 26.8 <sup>a</sup>	1,731.0 ± 40.6 <sup>a</sup>	0.033
Carbohydrate (g)	290.1 ± 8.4 <sup>a</sup>	280.1 ± 4.1 <sup>a</sup>	314.3 ± 7.7 <sup>b</sup>	0.003
Protein (g)	68.7 ± 2.6 <sup>b</sup>	66.4 ± 1.3 <sup>b</sup>	59.4 ± 1.8 <sup>a</sup>	< 0.0001
Fat (g)	52.9 ± 2.9 <sup>c</sup>	42.3 ± 1.1 <sup>b</sup>	28.8 ± 1.4 <sup>a</sup>	0.0005
Dietary fiber (g)	5.0 ± 0.3 <sup>a</sup>	6.4 ± 0.2 <sup>b</sup>	8.0 ± 0.4 <sup>c</sup>	< 0.0001
Calcium (mg)	460.5 ± 24.0	462.4 ± 10.5	472.9 ± 18.8	0.877
Phosphorus (mg)	1,046.3 ± 34.0	1,054.3 ± 17.1	1,062.2 ± 28.1	0.940
Iron (mg)	11.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	13.1 ± 0.5 <sup>b</sup>	15.0 ± 0.7 <sup>c</sup>	0.0003
Sodium (mg)	3,664.2 ± 176.6 <sup>a</sup>	4,398.9 ± 100.6 <sup>b</sup>	4,237.5 ± 177.1 <sup>b</sup>	0.0002
Potassium (mg)	2,358.8 ± 90.8 <sup>a</sup>	2,718.2 ± 52.0 <sup>b</sup>	2,998.7 ± 100.0 <sup>c</sup>	< 0.0001
Supplement use				< 0.0001
Yes	53 (18.6)	402 (37.0)	219 (53.2)	

Abbreviations: BMI, body mass index

1) P-value was analyzed by ANOVA test for continuous variables and chi-square test for categorical variables. 2) Mean ± SE (Mean values with unlike superscript letters within a row were significantly different among the three groups by Tukey's test.) 3) N (%)

4) None applicable

는 연령과 중금속간에 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 또한 체질량지수와 혈중 중금속 농도와의 상관성을 살펴 본 결과 초경 후, 폐경 전, 폐경 후 그룹에서 혈중 수은의 농도와 체질량지수와 유의한 양의 상관성을 보였고, 폐경 전 여성에서는 납과 카드뮴 농도도 체질량지수와 유의한 양의 상관성을 보였다.

### 혈중 중금속 농도

청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 혈중 중금속 농도와 혈중 중금속 농도가 권고 수준보다 높은 대상자의 비율을 Table 3에 제시하였다. 폐경 후, 폐경 전, 청소년 그룹 순으로 혈중 납, 수은, 카드뮴 농도가 높았다 ( $p < 0.0001$ ). 청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 수은 중독 ( $> 5 \mu\text{g/L}$ ) 비율은 3.9%, 14.8%, 24.6%로, 폐경 후 그룹이 가장 높았다 ( $p < 0.0001$ ).

**Table 2.** Pearson's correlation coefficients among blood heavy metal concentrations, age and body mass index

	Adolescent girls (n = 268)	Premenopausal women (n = 1,157)	Postmenopausal women (n = 446)
Age (year)			
Lead ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	0.0592 (0.3346) <sup>1)</sup>	0.3307 (< 0.0001)	-0.0779 (0.1004)
Mercury ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	-0.0538 (0.3800)	0.2401 (< 0.0001)	-0.0739 (0.1190)
Cadmium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.1381 (0.0237)	0.5608 (< 0.0001)	0.0194 (0.6826)
BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )			
Lead ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	-0.0573 (0.3499)	0.1096 (0.0002)	-0.0002 (0.9964)
Mercury ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.1510 (0.0133)	0.1506 (< 0.0001)	0.2049 (< 0.0001)
Cadmium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	-0.0022 (0.9716)	0.1538 (< 0.0001)	0.0885 (0.0617)

1) Pearson's correlation coefficient (p-value)

**Table 3.** Blood heavy metal concentrations and poisoning rate of lead, mercury and cadmium

	Adolescent girls (n = 268)	Premenopausal women (n = 1,157)	Postmenopausal women (n = 446)	p <sup>1)</sup>
	Geo mean (95% CI) <sup>2)</sup>	Geo mean (95% CI)	Geo mean (95% CI)	
Blood heavy metal				
Lead ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	1.08 (1.04-1.13) <sup>3)a</sup>	1.65 (1.62-1.69) <sup>b</sup>	2.26 (2.19-2.33) <sup>c</sup>	< 0.0001
Mercury ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	1.95 (1.85-2.06) <sup>a</sup>	2.97 (2.89-3.06) <sup>b</sup>	3.45 (3.27-3.64) <sup>c</sup>	< 0.0001
Cadmium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.35 (0.33-0.38) <sup>a</sup>	0.92 (0.89-0.96) <sup>b</sup>	1.41 (1.35-1.47) <sup>c</sup>	< 0.0001
	N (%)	N (%)	N (%)	
Blood heavy metal poisoning rate <sup>4)</sup>				
Lead ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	NA <sup>5)</sup>
Mercury ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	10 (3.9)	167 (14.8)	111 (24.6)	< 0.0001
Cadmium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.008)	NA

1) Blood heavy metal was analyzed by geometric mean (95% confidence interval). 2) P-value was analyzed by ANOVA test for continuous variables. 3) Mean values with unlike superscript letters within a row were significantly different among the three groups by Tukey's test. 4) Lead: Blood heavy metal poisoning (> 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ), Mercury: Blood heavy metal poisoning (> 5  $\mu\text{g}/\text{L}$ ), Cadmium: Blood heavy metal poisoning (> 5  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 5) None applicable

카드뮴 중독 (> 5  $\mu\text{g}/\text{L}$ )은 폐경 후 그룹에서 한 명이 있었고 (0.008%), 납중독 (> 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$ )은 세 그룹 모두 해당 대상자가 없었다.

### 철 영양상태와 결핍

청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 철 영양상태와 철 결핍 비율을 Table 4에 제시하였다. 철 영양상태 중 헤모글로빈, 헤마토크릿 농도의 평균값은 폐경 전 그룹이 가장 낮았고, 혈청 페리틴 농도의 평균값은 청소년, 폐경 전 그룹이 폐경 후 그룹 보다 낮았다 ( $p < 0.0001$ ). 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹의 헤모글로빈 결핍 (< 12  $\text{g}/\text{dL}$ ) 비율은 8.1%, 15.5%, 6.3%였고, 헤마토크릿 결핍 (< 36%) 비율은 7.0%, 13.5%, 6.5%였다. 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹의 혈청 페리틴 결핍 (< 15  $\text{ng}/\text{ml}$ ) 비율은 31.7%, 32.7%, 5.4%였고, 철 결핍 (< 40  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) 비율은 8.3%, 9.8%, 1.4%로 나타났다. 헤모글로빈, 헤마토크릿, 혈청 페리틴, 철 결핍 비율은 모두 폐경 전 그룹이 가장 높았다. 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹의 총 철결합능 과잉 비율 (> 410  $\mu\text{g}/\text{dL}$ )은 9.0%, 7.9%, 0.7%

로 청소년 그룹이 가장 높았다 ( $p < 0.0001$ ).

### 혈중 중금속 농도와 철 영양상태와의 상관성

청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 혈중 중금속 농도와 철 영양상태 간의 상관성을 Table 5에 제시하였다. 혈중 납 농도와 헤모글로빈 농도는 폐경 전 그룹에서 양의 상관관계를 보였고 ( $\beta = 0.043$ ,  $p = 0.0003$ ), 혈중 납 농도와 헤마토크릿 수치도 폐경 전 그룹에서 양의 상관관계를 보였다 ( $\beta = 0.020$ ,  $p < 0.0001$ ). 혈중 납 농도와 철 농도는 폐경 후 그룹에서 음의 상관관계를 보였다 ( $\beta = -0.001$ ,  $p = 0.031$ ). 폐경 전 그룹에서 혈중 수은 농도는 헤모글로빈, 헤마토크릿, 페리틴, 철 농도와 양의 상관관계를 보였고, 폐경 후 그룹에서는 혈중 수은 농도는 헤모글로빈, 헤마토크릿 농도와 양의 상관관계를 보였다. 혈중 카드뮴 농도는 초경 후 그룹에서 헤모글로빈, 페리틴 농도와 음의 상관관계를 보였고, 총 철결합능과는 양의 상관관계를 보였다. 폐경 전 그룹에서 혈중 카드뮴 농도는 헤모글로빈, 헤마토크릿, 페리틴, 철 농도와는 음의 상관관계를 보이고, 총 철결합능

**Table 4.** Iron status and deficiency rate based on hemoglobin, hematocrit, ferritin, iron, and total iron binding capacity

	Adolescent girls (n = 268)	Premenopausal women (n = 1,157)	Postmenopausal women (n = 446)	p <sup>1)</sup>
	Mean ± SE	Mean ± SE	Mean ± SE	
<b>Iron status</b>				
Hb (g/dL)	13.2 ± 0.07 <sup>2)b</sup>	12.9 ± 0.04 <sup>a</sup>	13.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	< 0.0001
Hct (%)	39.7 ± 0.2 <sup>b</sup>	38.8 ± 0.1 <sup>a</sup>	39.9 ± 0.2 <sup>b</sup>	< 0.0001
Frtn (ng/mL)	28.8 ± 1.6 <sup>a</sup>	30.7 ± 0.9 <sup>a</sup>	67.4 ± 3.3 <sup>b</sup>	< 0.0001
Fe (μg/dL)	98.8 ± 2.9	98.9 ± 1.6	104.5 ± 2.0	0.055
TIBC (μg/dL)	344.3 ± 3.6 <sup>c</sup>	333.2 ± 1.8 <sup>b</sup>	314.2 ± 2.3 <sup>a</sup>	< 0.0001
	N (%)	N (%)	N (%)	
<b>Iron deficiency rate<sup>3)</sup></b>				
Hb (g/dL)	22 (8.1)	185 (15.5)	319 (6.3)	< 0.0001
Hct (%)	17 (7.0)	166 (13.5)	29 (6.5)	0.001
Frtn (ng/mL)	80 (31.7)	370 (32.7)	26 (5.4)	< 0.0001
Fe (μg/dL)	18 (8.3)	114 (9.8)	9 (1.4)	< 0.0001
TIBC (μg/dL)	25 (9.0)	79 (7.9)	6 (0.7)	< 0.0001

Abbreviations: HB, hemoglobin; HCT, hematocrit; Frtn, ferritin; Fe, iron; TIBC, total iron-binding capacity

1) P-value was analyzed by ANOVA test for continuous variables. 2) Mean ± SE (Mean values with unlike superscript letters within a row were significantly different among the three groups by Tukey's test.) 3) Hemoglobin: Iron deficiency (< 12 g/dL), Hematocrit: Iron deficiency (< 36%), Ferritin: Iron deficiency (< 15 ng/mL), Iron: Iron deficiency (< 40 μg/dL) and Total iron-binding capacity: Iron deficiency (> 410 μg/dL)

**Table 5.** Associations between blood heavy metal concentrations and iron status of the subjects

	Adolescent girls (n = 268)		Premenopausal women (n = 1,157)		Postmenopausal women (n = 446)	
	β <sup>1)</sup>	p <sup>2)</sup>	β	p	β	p
<b>Lead (μg/dL)</b>						
Hb (g/dL)	0.035	0.138	0.043	0.0003	0.033	0.162
Hct (%)	0.011	0.173	0.020	< 0.0001	0.014	0.072
Frtn (ng/mL)	-0.0002	0.806	-0.0006	0.240	-0.00005	0.863
Fe (μg/dL)	0.0006	0.435	-0.00003	0.924	-0.001	0.031
TIBC (μg/dL)	0.0002	0.724	0.0005	0.073	-0.0004	0.349
<b>Mercury (μg/L)</b>						
Hb (g/dL)	0.051	0.087	0.072	< 0.0001	0.064	0.049
Hct (%)	0.015	0.191	0.028	< 0.0001	0.024	0.048
Frtn (ng/mL)	0.002	0.087	0.003	0.0002	0.0004	0.612
Fe (μg/dL)	-0.0007	0.402	0.001	0.012	0.001	0.144
TIBC (μg/dL)	-0.0001	0.823	-0.0004	0.166	0.0003	0.664
<b>Cadmium (μg/L)</b>						
Hb (g/dL)	-0.061	0.047	-0.049	0.002	0.066	0.006
Hct (%)	-0.019	0.146	-0.013	0.036	0.025	0.003
Frtn (ng/mL)	-0.006	0.0005	-0.006	< 0.0001	0.0006	0.136
Fe (μg/dL)	-0.001	0.186	-0.002	< 0.0001	0.0002	0.753
TIBC (μg/dL)	0.003	0.0001	0.003	< 0.0001	0.0007	0.162

Abbreviations: HB, hemoglobin; HCT, hematocrit; Frtn, ferritin; Fe, iron; TIBC, total iron-binding capacity;

1) Multiple linear regression analysis 2) Adolescent girls: Adjusting for age, BMI, residence area, and drinking status. Premenopausal women and postmenopausal women : Adjusting for age, BMI, residence area, drinking status and smoking status

과는 양의 상관관계를 보였다. 폐경 후 여성에서 카드뮴 농도는 헤모글로빈, 헤마토크릿 농도와 양의 상관관계를 보였다.

#### 혈중 중금속 농도와 식품군별 섭취빈도와의 상관성

청소년, 폐경 전, 폐경 후 여성의 혈중 중금속 농도와 식품군별 일일 섭취빈도와의 상관성을 Table 6에 제시하였다. 청소년 그룹에서 혈중 납 농도는 우유 및 유제품 섭취

**Table 6.** Associations between blood heavy metal concentrations and food consumption frequency (servings/day)

	Adolescent girls (n = 268)		Premenopausal women (n = 1,157)		Postmenopausal women (n = 446)	
	$\beta^{1)}$	$p^{2)}$	$\beta$	$p$	$\beta$	$p$
<b>Lead (<math>\mu\text{g}/\text{dL}</math>)</b>						
Grains	0.009	0.651	-0.012	0.202	-0.006	0.633
Soy and soybean products	-0.050	0.108	-0.011	0.387	0.011	0.461
Potatoes	-0.050	0.423	-0.149	0.004	-0.060	0.456
Meat and eggs	-0.034	0.183	-0.057	0.016	-0.037	0.443
Fish and shellfish	0.011	0.701	-0.012	0.605	-0.035	0.245
Vegetables	0.005	0.728	0.0005	0.937	0.012	0.168
Seaweeds	-0.049	0.308	-0.013	0.608	-0.011	0.750
Fruits	-0.011	0.659	-0.047	0.001	-0.023	0.396
Milk and dairy products	-0.114	0.001	-0.023	0.291	-0.062	0.161
Beverages	0.062	0.136	0.011	0.313	-0.009	0.585
Alcoholic beverages	0.277	0.157	0.070	0.359	0.057	0.433
Fast foods and fried foods	0.015	0.876	-0.096	0.260	-0.048	0.049
<b>Mercury (<math>\mu\text{g}/\text{dL}</math>)</b>						
Grains	-0.009	0.788	-0.025	0.045	0.004	0.846
Soy and soybean products	0.084	0.132	-0.028	0.156	-0.005	0.792
Potatoes	0.055	0.740	-0.219	0.0004	-0.264	0.037
Meat and eggs	0.071	0.146	-0.054	0.123	-0.002	0.978
Fish and shellfish	0.178	0.001	0.056	0.041	0.073	0.054
Vegetables	0.004	0.850	0.006	0.583	-0.019	0.285
Seaweeds	0.092	0.254	-0.031	0.408	0.029	0.633
Fruits	-0.008	0.878	-0.024	0.231	0.098	0.016
Milk and dairy products	0.005	0.917	-0.029	0.367	-0.034	0.486
Beverages	-0.046	0.408	-0.010	0.555	-0.009	0.765
Alcoholic beverages	-0.278	0.167	-0.009	0.930	0.140	0.307
Fast foods and fried foods	-0.018	0.343	-0.097	0.318	-0.371	0.386
<b>Cadmium (<math>\mu\text{g}/\text{dL}</math>)</b>						
Grains	-0.073	0.007	0.004	0.769	-0.003	0.875
Soy and soybean products	-0.035	0.525	-0.017	0.374	-0.020	0.314
Potatoes	-0.104	0.439	-0.147	0.026	-0.213	0.062
Meat and eggs	-0.062	0.200	-0.063	0.032	-0.092	0.119
Fish and shellfish	-0.016	0.755	0.034	0.194	-0.029	0.463
Vegetables	-0.013	0.481	0.007	0.459	-0.008	0.496
Seaweeds	-0.121	0.089	0.036	0.355	0.050	0.287
Fruits	-0.049	0.270	-0.026	0.272	-0.025	0.370
Milk and dairy products	-0.092	0.048	-0.040	0.165	-0.064	0.117
Beverages	-0.008	0.914	-0.018	0.221	0.013	0.543
Alcoholic beverages	1.523	< 0.0001	0.127	0.186	0.018	0.850
Fast foods and fried foods	-0.124	0.542	-0.166	0.088	-0.508	0.088

1) Multiple linear regression analysis 2) Adolescent girls : Adjusting for age, BMI, residence area, and drinking status. Premenopausal women and postmenopausal women : Adjusting for age, BMI, residence area, drinking status and smoking status

빈도와 음의 상관관계를 보였고, 혈중 수은 농도는 생선 및 어패류 섭취 빈도와 양의 상관관계를 보였다. 혈중 카드뮴 농도는 곡류, 우유 및 유제품 섭취 빈도의 음의 상관관계를 보였고, 주류 섭취 빈도와는 양의 상관관계를 보였다.

폐경 전 그룹에서 혈중 납 농도는 서류, 육류 및 난류, 과일 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였고, 혈중 수은 농도는

곡류, 서류 섭취 빈도와 음의 상관관계, 생선 및 어패류 섭취 빈도와 양의 상관관계를 보였다. 혈중 카드뮴 농도는 서류, 육류 및 난류 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였다.

폐경 후 그룹에서 혈중 납 농도는 패스트푸드 및 튀긴 음식 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였고, 혈중 수은 농도는 서류 섭취 빈도와 음의 상관관계, 과일 섭취 빈도와 양의

상관관계를 보였다. 생선 및 어패류 섭취빈도와는 양의 상관관계 경향 ( $p = 0.054$ )을 보였다.

## 고 찰

본 연구는 철 결핍을 일으킬 수 있는 월경 여부와, 성장기의 혈액량 증가, 호르몬 변화가 나타나는 폐경 여부를 고려하여 총 1,871명의 초경 후 청소년, 폐경 전·후 여성을 대상으로 철 영양상태 및 식품섭취와 혈중 납, 수은, 카드뮴 농도와의 상관성을 연구하였다. 세 그룹 중 폐경 전 여성에서 철분 결핍 비율이 가장 높았고, 다음으로 초경 후 청소년, 폐경 후 여성 순이었다. 혈중 중금속 농도와 식품섭취 빈도와와의 상관성을 본 결과 중금속의 종류와 초경 후, 폐경 전·후에 따라 다르게 나타났다.

연령의 평균값을 보면 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹으로 갈수록 연령대가 대체로 증가함을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구의 결과는 대상자를 연령에 따라 분류하지는 않았지만, 전반적으로 월경 및 폐경 여부에 따른 차이뿐 아니라 연령대의 변화에 따른 차이도 반영하고 있다. 체중과 체질량지수는 폐경 후, 폐경 전, 청소년 그룹 순으로 유의적으로 높았다. 이는 폐경 전·후의 중년 여성들에게 연간 약 0.8 kg의 체중 증가가 나타난다는 Yeo 등<sup>22</sup>의 선행 연구와 일치하는 경향을 보였다. 반면, 영양소 일일 섭취량 중 에너지, 단백질과 지질의 평균 섭취량은 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹 순으로 높은 결과를 보였다. 국민건강영양조사 제 6기 1차년도 (2013)<sup>23</sup>의 여성의 연령별 영양소 일일 섭취량 결과 역시 12~18세의 청소년, 19~49세의 성인, 50~64세의 성인 순으로 높은 결과를 보이고 있어 본 연구의 결과와 일치했다. 청소년, 폐경 전, 폐경 후 그룹의 평균 철 섭취량은 각각 11.3 mg, 13.1 mg, 15.0 mg으로 한국인 영양섭취기준 (Dietary Reference Intakes for Koreans, KDRIs)<sup>14</sup>에서 제시하는 12~14세, 15~18세, 19~49세, 50~64세 여성 철 권장섭취량 13 mg, 17 mg, 14 mg, 8 mg과 비교하였을 때, 철 권장섭취량을 충족하는 비율은 청소년 그룹이 11.2%, 폐경 전 그룹이 28.7%, 폐경 후 그룹이 72.2%였다. 본 연구의 대상자 중 성장에 필요한 조혈작용<sup>24</sup>과 월경 혈 손실로 인한 철 결핍의 위험이 제일 큰 여자 청소년 그룹은 가장 많은 철분의 섭취가 요구되지만, 실제로 가장 적은 철을 섭취하고 있었다. 이는 여자 청소년 집단이 철 영양 상태에서 가장 취약한 집단이라는 KDRIs의 보고와 일치했다. 반대로 월경 혈 손실이 더 이상 없는 폐경 후 그룹은 권장섭취량의 2배 가량의 철 섭취를 하고 있었고, 최근 1개월 동안 주1회 이상 식이보충제를 복용한 대상자의 비율도 폐경 후 그룹이 유의하게 높았다. 또한 철분 외에도 탄수화물, 식이섬유,

칼륨도 폐경 후 그룹이 유의하게 높은 것으로 보아 연령이 많은 여성일수록 본인의 건강을 위해 바람직한 식습관을 가진다는 Choi 등<sup>25</sup>의 보고와도 동일한 양상의 결과로 판단된다.

청소년, 폐경 전, 폐경 후로 갈수록 혈중 중금속 농도가 모두 유의적으로 증가하였다. 중금속은 낮은 용해성과 이동성을 가져 오랜 시간 동안 동일한 곳에 남아있게 되므로 먹이 사슬의 상위단계인 인간의 경우, 중금속의 농축율이 가장 높아지게 된다. 또한 중금속은 분해가 어려워 자정이 일어나지 않기 때문에 체내에 유입되었을 때, 일부는 배설되지 않고 축적된다. 따라서 연령이 증가함에 따라 중금속의 체내 축적량도 함께 증가했을 것이라고 판단된다. 미국 National Health and Nutrition of Examination (NHANES) 1999~2002의 성인 혈중 납농도에 대하여 Muntner 등<sup>26</sup>이 보고한 연구에서도, 18~39세의 대상은 1.28  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이었고 60~74세의 대상은 2.32  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로 연령의 증가에 따라 혈중 중금속 축적도 약 1.8배 증가했음을 알 수 있다. 이와 같이 체내에 축적되는 환경 속의 중금속은 대기오염, 수질오염으로 식품까지 오염시키는 등 다양한 경로로 인간에게 노출되어 인체에 영향을 미친다.<sup>3</sup>

본 연구의 결과에 의하면 우리나라 여성에서 납과 카드뮴은 수은에 비해 상대적으로 노출 및 체내 축적 상태가 안전한 것을 확인할 수 있다. CDC와 HBMI 권고수준<sup>18,19</sup>을 기준으로 중금속 중독으로 분류되는 대상자를 보면 전체 대상자에서 납은 0명, 카드뮴의 경우 폐경 후 그룹에서 1명으로 나왔지만, 수은의 경우 그룹 별로 3.9%, 14.8%, 24.6%에 해당하는 대상자가 있었다. 이와 같은 결과는 본 연구의 대상자가 직업적 노출이 적은 여성이라는 점에서 납의 노출도 적었을 것으로 사료된다. 미국의 환경보호조사국 (Environmental Protection Agency, EPA)의 2011~2012 조사<sup>27</sup>에 의하면 남성과 여성의 혈중 납 농도는 각각 1.13  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 0.842  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 으로 직업적 노출이 큰 남성의 혈중 중금속 농도가 높았다. 카드뮴의 경우 Kurihara 등<sup>28</sup>의 연구에서 남성과 여성 간의 차이는 크지 않았으나, 미국 NHANES 2009~2010<sup>29</sup>의 평균 혈중 카드뮴 농도인 0.32  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 에 비하면 본 연구의 결과는 세 그룹 모두 훨씬 높은 수준이었다. 반면 수은 중독 비율이 많이 나타난 이유는 최근 환경부에서 보고된 연구<sup>5</sup>에서 나타난 바와 같이 한국 성인이 하루 섭취하는 수은의 양은 18  $\mu\text{g}$ 이며 다른 중금속보다 특히 노출이 쉽다는 점으로 유추할 수 있다. 특히 본 연구에서 폐경 후 그룹에서 24.6% 여성이 수은 중독이라는 결과는 중년 이상의 성인을 대상으로 수은 중독의 위험성에 대한 연구가 필요함을 확인하였다.

그룹 별로 철 영양상태의 평균값과 결핍 대상자의 비율



을 본 결과, 폐경 전 그룹의 철 영양상태가 가장 나쁜 것으로 나타났다. 각각의 철 영양상태 지표를 살펴봐도, 빈혈의 3단계 중 철 결핍 상태가 가장 심각한 3단계를 반영하는 지표인 헤모글로빈과 헤마토크릿<sup>21,30</sup>은 특히 폐경 전 그룹에서 평균값이 낮았으며 철 결핍을 즉시 반영하는 민감한 지표인 페리틴<sup>31</sup>을 비롯한 철과 총 철결합능의 평균값은 여자 청소년 그룹이 제일 낮았다. 본 연구에서 폐경 전 여성이 여자 청소년보다 철 영양상태가 나쁜 이유를 유추하면 다음과 같다. 폐경 전 여성은 여자 청소년 보다 에너지 섭취량은 적었지만 단백질 섭취량은 차이가 없었고 철 섭취량은 높았다. 하지만 철 흡수를 방해하는 차, 커피, 술의 섭취빈도가 청소년 보다 많은 것이 빈혈의 위험을 높인 원인 중 하나일 것으로 사료된다. Mork 등<sup>32</sup>에 의하면 커피를 섭취했을 때, 철분의 흡수가 평균적으로 39% 감소한다고 하였다. 또한 차와 커피가 함유한 폴리페놀 결합물은 식물 기반 식품에서 오는 무기 철의 흡수를 방해한다고 보고된 바가 있다.<sup>33,34</sup> 본 연구에서 청소년 그룹의 녹차, 커피, 주류의 일일 섭취 빈도 평균은 0.12, 0.13, 0.02였고, 폐경 전 그룹은 0.30, 1.27, 0.17로 큰 차이를 보이고 있다. 폐경 전 여성의 철 섭취량이 청소년 보다 높지만 녹차, 커피, 주류의 섭취빈도 역시 높아 철의 흡수를 방해해 헤모글로빈, 헤마토크릿 등의 평균값이 낮게 나타난 것으로 사료된다.

본 연구에서 초경 후 청소년, 폐경 전 여성에서 혈중 카드뮴 농도는 철 영양상태가 좋을수록 감소하는 뚜렷한 역의 상관관계를 보였다. 반면 혈중 납 농도와 혈중 수은 농도는 철 영양상태가 좋을수록 일부 증가했다. 혈중 납과 수은의 농도는 전반적으로 그룹별로 유사한 관계를 보였지만 청소년 그룹은 유의적이지 않았다. 이는 나이가 어릴수록 체내 중금속의 축적도 덜 되어 혈중 농도 자체가 낮아 유의성도 보이지 않은 것으로 사료된다. 한편 이러한 결과는 기존 연구들에서 보고된 철 영양상태가 낮을 때 필수 2가 금속이온인 납의 체내 흡수를 경쟁적으로 증가시킨다는 Kim<sup>35</sup>의 연구결과와 상반되는 결과이기 때문에 향후 이에 관한 연구가 더 필요하다.

혈중 카드뮴 농도가 청소년, 폐경 전 여성에서 유의적인 이유는 혈중 카드뮴 농도와 철 영양상태의 상관관계가 매우 뚜렷하기 때문인 것으로 판단된다. 이는 Ryu 등<sup>36</sup>이 동물실험으로 보고한 바와 같이 카드뮴이 납과 함께 필수 2가 이온으로서 같은 기전을 가지고 있다는 결과와 일치한다. 또한, 폐경 후 여성에서 혈중 카드뮴 농도와 철 영양상태 중 헤모글로빈과 헤마토크릿이 유의적인 양의 상관관계를 보인 것은 폐경기 이후 여성은 가임기 여성에 비하여 철의 필요량이 적어 철분 이용률이 매우 낮기 때문에 흡수

되는 철의 양 역시 적다. 때문에 같은 기전에서 경쟁하는 카드뮴이 어려움 없이 흡수되어 두 가지의 2가 이온이 경쟁하지 않고 양의 관계를 유지한 것이 아닐까 사료되며 페리틴 농도가 높을 때 체내 수은의 흡수도 증가된다는 Choi 등<sup>37</sup>의 선행 연구와 결과가 일치했다.

초경 후 청소년에서 혈중 납 농도와 혈중 카드뮴 농도가 우유 및 유제품류 섭취와 음의 상관관계를 보였으며, 초경 후 청소년, 폐경 전 여성에서 혈중 수은 농도는 생선류 섭취와 양의 상관관계를 보였다. Pounds 등<sup>38</sup>은 우유 및 유제품류에 다량 함유되어있는 칼슘은 납의 결합자리와 수송 자리에서 경쟁하기 때문에 칼슘섭취는 곧 납의 흡수에 영향을 미친다고 보고한 결과가 있는데, 이는 우유의 섭취와 혈청 납과 카드뮴의 농도가 유의적인 음의 상관관계를 보였다는 Kang 등<sup>39</sup>의 연구 결과와도 일치하였다. 본 연구에서 초경 후 청소년에서만 유의성이 나타난 것은 초경 후 청소년의 우유 및 유제품류의 섭취가 제일 많은 것과 관련이 있을 것으로 사료된다. 세 군의 일일 평균 칼슘 섭취량은 차이가 없었는데 이는 한국인의 칼슘 급원<sup>40</sup> 중 주급원인 우유뿐 아니라 배추김치, 멸치, 두부 등의 식품도 급원으로서 영향을 주었기 때문으로 판단된다. 한편, 혈중 수은 농도와 생선류 섭취와의 양의 상관관계는 앞선 연구<sup>10,11</sup>에서 증명된 바와 같이 메틸 수은이 수증 박테리아에 의해 전환되어 생선류에 농축되는 것과 관련이 있다.

초경 후 청소년에서 혈중 카드뮴농도가 곡류 섭취와 음의 상관관계를 보였으나, Watanabe 등<sup>12</sup>의 연구에서 밝힌 바에 의하면 아시아 국가가 서구 국가에 비해 높은 혈중 카드뮴 농도를 보이며 이는 쌀의 섭취가 높기 때문이라고 해 본 연구 결과와 상이함을 알 수 있다. Reeves와 Chaney<sup>41</sup>의 보고에 의하면, 자연적으로 쌀이 함유하고 있는 카드뮴의 영향 (0.25~0.45 mg Cd/kg) 그리고 정제된 쌀의 섭취에서 비롯되는 아연과 철분의 영양학적 부족으로 카드뮴의 흡수를 증가시키는 것을 원인으로 유추하였다. 그러므로 곡류의 무조건적인 섭취가 혈중 카드뮴 농도의 억제에 도움을 주는 것은 아니며 두 인자 간의 명확한 관계성을 알기 위한 향후 연구가 필요할 것이다.

중금속의 체내 축적은 직업 노출 여부가 굉장히 큰 요인으로 작용하지만, 본 연구에서는 그 점에 대하여 고려하지 않은 점이 한계일 수 있으나, 그럼에도 대상자가 여성임으로 그 영향이 더 적을 것이라 판단된다. 한편 식품섭취빈도와 혈중 중금속 농도간의 상관관계를 연구할 때, 자연적인 오염으로 인해 식품자체에 함유된 중금속량을 고려하지 않은 점이 연구의 제한점이다. 하지만 본 연구를 통해 월경 및 폐경 여부에 따른 여성의 철 상태가 중금속의 농도에 어떤 영향을 주는지 초경 후 청소년, 폐경 전 여성, 폐경 후 여

성을 동시에 비교한 첫 연구라는데 의의가 있다.

## 요 약

본 연구는 제5기 (2010~2011) 국민건강영양조사를 이용하여, 초경 후 여자 청소년, 폐경 전 여성과 폐경 후 여성을 대상으로 철 영양상태 및 식품 섭취 빈도와 혈중 중금속 농도와의 상관성을 규명하고자 수행되었고, 그 결과는 다음과 같다.

1) 폐경 후 여성, 폐경 전 여성, 여자 청소년 순으로 혈중 납, 수은, 카드뮴 농도가 높았다. 수은 중독 비율은 폐경 후 여성에서 가장 높았다.

2) 철 영양 상태와 결핍은 초경 후 청소년의 경우, 혈청 페리틴 농도의 평균값이 가장 낮았고, 폐경 전 여성의 경우 헤모글로빈, 헤마토크릿 농도의 평균값이 가장 낮았고, 헤모글로빈, 헤마토크릿, 혈청 페리틴, 철 결핍비율이 가장 높았다.

3) 철 영양상태와 혈중 중금속 농도 관계에서 초경 후 청소년은 철 영양 상태가 나쁠수록 혈중 카드뮴 농도가 높았다. 폐경 전 여성도 철 영양 상태가 나쁠수록 혈중 카드뮴 농도가 높았으나, 혈중 납 농도, 혈중 수은 농도는 낮아 양의 상관관계를 보였다. 폐경 후 여성은 철 영양 상태가 좋을수록 혈중 납 농도는 낮았고, 혈중 수은 농도, 혈중 카드뮴 농도는 높았다.

4) 혈중 중금속 농도와 식품군별 섭취빈도의 상관성은 초경 후 청소년의 경우, 혈중 납 농도는 우유 및 유제품 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였고, 혈중 수은 농도는 생선 및 어패류 섭취 빈도와 양의 상관관계를 보였다. 혈중 카드뮴 농도는 곡류, 우유 및 유제품 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였다. 폐경 전 여성의 경우, 혈중 납 농도와 서류, 육류 및 난류, 과일 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였고, 혈중 수은 농도는 생선 및 어패류 섭취 빈도와 양의 상관관계를 보였고, 곡류, 서류 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였다. 혈중 카드뮴 농도는 서류, 육류 및 난류 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였다. 폐경 후 여성의 경우, 혈중 납 농도는 패스트푸드 및 튀긴 음식 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였고, 혈중 수은 농도는 서류 섭취 빈도와 음의 상관관계를 보였고, 과일 섭취 빈도와 양의 상관관계를 보였다.

이상의 결과로 볼 때, 폐경 후 여성의 혈중 중금속 농도와 중독비율이 다른 여성에 비해 더 높았고, 폐경 전 여성의 철 영양상태가 초경 후 청소년과 폐경 후 여성에 비해 좋지 않았다. 초경 후 청소년은 철 영양상태가 나쁠수록 혈중 카드뮴 농도는 높았으며, 우유 및 유제품의 섭취 빈도는

혈중 납 농도, 혈중 카드뮴 농도와 음의 상관관계에 있었다. 폐경 전 여성의 경우, 철 영양상태가 나쁠수록 혈중 카드뮴 농도는 높았으며, 생선 및 어패류 섭취 빈도가 많을수록 혈중 수은 농도가 높아졌다. 결론적으로 여성의 연령, 월경여부 등으로 인해 철 영양상태가 상이함에 따라 혈중 중금속 종류에 따른 농도와의 상관성이 달랐으며, 식품군 섭취 빈도와 상관관계도 다르게 나타남을 확인하였다.

## References

- Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bull* 2003; 68(1): 167-182.
- Korea Food & Drug Administration. Dietary intake and risk assessment of contaminants in Korean foods. Seoul: Korea Food & Drug Administration; 2004.
- Korea Centers for Disease Control and Prevention. Survey • research of heavy metal concentration in blood [Internet]. Seoul: Ministry of Environment; 2005 [cited 2017 Feb 12]. Available from: <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/F005/000/151341.pdf>.
- Shin HR, Kim JY. A study on the normal values of lead exposure indices. *Korean J Prev Med* 1986; 19(2): 167-176.
- Ministry of Environment (KR). Development of management of the products containing mercury. Seoul: Ministry of Environment; 2005.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). Toxicological profile for cadmium. Washington, D.C.:U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service; 2008.
- Kim Y, Lobdell DT, Wright CW, Gocheva VV, Hudgens E, Bowler RM. Blood metal concentrations of manganese, lead, and cadmium in relation to serum ferritin levels in Ohio residents. *Biol Trace Elem Res* 2015; 165(1): 1-9.
- Lee BK, Kim Y. Iron deficiency is associated with increased levels of blood cadmium in the Korean general population: analysis of 2008-2009 Korean National Health and Nutrition Examination Survey data. *Environ Res* 2012; 112: 155-163.
- Suh YJ, Lee JE, Lee DH, Yi HG, Lee MH, Kim CS, Nah JW, Kim SK. Prevalence and relationships of iron deficiency anemia with blood cadmium and vitamin D levels in Korean women. *J Korean Med Sci* 2016; 31(1): 25-32.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). Public health statement mercury, CAS # : 7439-97-6. Washington, D.C.:Department of Health and Human Services, Public Health Service; 1999.
- Vupputuri S, Longnecker MP, Daniels JL, Guo X, Sandler DP. Blood mercury level and blood pressure among US women: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2000. *Environ Res* 2005; 97(2): 195-200.
- Watanabe T, Zhang ZW, Moon CS, Shimbo S, Nakatsuka H, Matsuda-Inoguchi N, Higashikawa K, Ikeda M. Cadmium exposure of women in general populations in Japan during 1991-1997 compared with 1977-1981. *Int Arch Occup Environ Health* 2000; 73(1): 26-34.
- Ilich-Ernst JZ, McKenna AA, Badenhop NE, Clairmont AC, Andon MB, Nahhas RW, Goel P, Matkovic V. Iron status, men-

- arche, and calcium supplementation in adolescent girls. *Am J Clin Nutr* 1998; 68(4): 880-887.
14. The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans. 1st revision. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2010.
  15. World Health Organization; Centers for Disease Control and Prevention (US). Assessing the iron status of populations. second edition [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2004 [cited 2017 Mar 12]. Available from: [http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/anaemia\\_iron\\_deficiency/9789241596107.pdf](http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/anaemia_iron_deficiency/9789241596107.pdf).
  16. Sim CS, Kim Y, Lee H, Park CY, Ham JO, Lee BK. Iron deficiency increases blood lead levels in boys and pre-menarche girls surveyed in KNHANES 2010-2011. *Environ Res* 2014; 130: 1-6.
  17. Nagata C, Konishi K, Goto Y, Tamura T, Wada K, Hayashi M, Takeda N, Yasuda K. Associations of urinary cadmium with circulating sex hormone levels in pre- and postmenopausal Japanese women. *Environ Res* 2016; 150: 82-87.
  18. Centers for Disease Control and Prevention (US). Fourth national report on human exposure to environmental chemicals. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention; 2009.
  19. Schulz C, Wilhelm M, Heudorf U, Kolossa-Gehring M. Reprint of "Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission". *Int J Hyg Environ Health* 2012; 215(2): 150-158.
  20. UNICEF; United Nations University; World Health Organization. Iron deficiency anaemia: assessment, prevention and control: a guide for programme managers. Geneva: World Health Organization; 2011.
  21. Gibson RS. Principles of nutritional assessment. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press; 2005.
  22. Yeo E. Menopause, aging and obesity. *J Korean Soc Study Obes* 2002; 11(3): 289-298.
  23. Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2013: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VI-1). Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2014.
  24. Walker BL, Tiong JW, Jeffries WA. Iron metabolism in mammalian cells. *Int Rev Cytol* 2001; 211: 241-278.
  25. Choi YJ, Kim SY, Jung KA, Chang YK. The analysis of the factors related to diet quality in the postmenopausal women. *Korean J Nutr* 2002; 35(1): 102-114.
  26. Muntner P, Menke A, DeSalvo KB, Rabito FA, Batuman V. Continued decline in blood lead levels among adults in the United States: the National Health and Nutrition Examination Surveys. *Arch Intern Med* 2005; 165(18): 2155-2161.
  27. Environmental Protection Agency (US). EPA's report on the environment (ROE): blood lead level [Internet]. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency; 2014 [cited 2017 Feb 12]. Available from: <https://cfpub.epa.gov/roe/indicator.cfm?i=63>.
  28. Kurihara I, Kobayashi E, Suwazono Y, Uetani M, Inaba T, Oishiz M, Kido T, Nakagawa H, Nogawa K. Association between exposure to cadmium and blood pressure in Japanese peoples. *Arch Environ Health* 2004; 59(12): 711-716.
  29. Centers for Disease Control and Prevention (US). National Health and Nutrition Examination Survey (2009-2010). Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention; 2010.
  30. Beaton GH, Corey PN, Steele C. Conceptual and methodological issues regarding the epidemiology of iron deficiency and their implications for studies of the functional consequences of iron deficiency. *Am J Clin Nutr* 1989; 50(3 Suppl): 575-585.
  31. Cook JD, Skikne BS. Serum ferritin: a possible model for the assessment of nutrient stores. *Am J Clin Nutr* 1982; 35(5 Suppl): 1180-1185.
  32. Morck TA, Lynch SR, Cook JD. Inhibition of food iron absorption by coffee. *Am J Clin Nutr* 1983; 37 (3): 416-420.
  33. Bothwell TH. Overview and mechanisms of iron regulation. *Nutr Rev* 1995; 53(9): 237-245.
  34. Hercberg S, Galan P. Nutritional anaemias. *Baillieres Clin Haematol* 1992; 5(1): 143-168.
  35. Kim SJ. Relationship between the blood cadmium concentration and urinary N-acetyl-beta-D-glucosaminidase activity [dissertation]. Cheongju: Chungbuk National University; 2008.
  36. Ryu DY, Lee SJ, Park DW, Choi BS, Klaassen CD, Park JD. Dietary iron regulates intestinal cadmium absorption through iron transporters in rats. *Toxicol Lett* 2004; 152(1): 19-25.
  37. Choi B, Yeum KJ, Park SJ, Kim KN, Joo NS. Elevated serum ferritin and mercury concentrations are associated with hypertension; analysis of the fourth and fifth Korea national health and nutrition examination survey (KNHANES IV-2, 3, 2008-2009 and V-1, 2010). *Environ Toxicol* 2015; 30(1): 101-108.
  38. Pounds JG, Long GJ, Rosen JF. Cellular and molecular toxicity of lead in bone. *Environ Health Perspect* 1991; 91: 17-32.
  39. Kang MH, Park SM, Oh DN, Kim MH, Choi MK. Dietary nutrient and food intake and their relations with serum heavy metals in osteopenic and osteoporotic patients. *Clin Nutr Res* 2013; 2(1): 26-33.
  40. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Major food sources of Na and Ca in Korea: Korea National Health and Nutrition Examination Survey [Internet]. Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2010 [cited 2017 Feb 12]. Available from: <http://cdc.go.kr/CDC/cms/cmsFileDownload.jsp?fid=31&cid=12407&fieldName=attach1&index=1>.
  41. Reeves PG, Chaney RL. Bioavailability as an issue in risk assessment and management of food cadmium: a review. *Sci Total Environ* 2008; 398(1-3): 13-19.