J.Fd Hyg.Safety 20(2), 83-88 (2005)

중학생의 혈액 중 중금속 모니터링

박희라† · 김미혜 · 권기성 · 김순기* · 허수정 · 김광진 · 염태경 · 최광식 · 김수연
국립독성연구원, *인하대학교 의과대학

The Monitoring of Heavy Metals in Human Bloods of Middle School Students

Hee Ra Park†, Ki-Sung Kwun, Meehye Kim, Soon Ki Kim*, Soo Yeon Kim and Kwang Sik Choi
National Institute of Toxicological Research Food & Drug Exposure Assessment Division
*Inha University Medical School 5 Nokbun-dong, Eunpyung-Ku Seoul, 122-704, Korea
(Received February 23, 2005; Accepted April 4, 2005)

ABSTRACT - This study was conducted to estimate the contents of heavy metals including lead, cadmium, zinc, copper as well as iron status (serum iron, total iron binding capacity, ferritin etc) in blood samples of middle school students (n=300). The contents of heavy metals were determined using the GF-AAS (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer). The microwave digestion method and dilution method were compared. The dilution method showed the better recovery and detection limit than microwave digestion method. The values of toxic metals in whloe blood of boys & girls were 3.46 & 3.05 for Pb, 0.063 & 0.065 for Cd respectively (ug/dL). Also the values of trace metals in serum of boys & girls were 105.9 & 92.6 for Zn, 98.3 & 99.0 for Cu respectively (ug/dL). The prevalence of iron deficiency was 7.5% in 146 boys and 14.3% in 156 girls. The mean values of lead in girls were higher in iron deficiency, iron deficiency anemia and anemia groups than normal group. The mean values of lead and zinc were higher in boys compared to those in girls (P<0.05), the mean values of cadmium and copper in boys were similar to those in girls. Our results of toxic metals such as Pb & Cd showed lower to CDCs (Centers for Disease Control) blood lead levels of concern for children, 10 ug/dL.

Key words: Lead, cadmium, zinc, coppor, iron, whole blood, serum

서 론

현대사회의 급속한 환경오염은 유해중금속 등 다양한 원인에 의해 일어나고 있으며, 특히 중금속은 분해가 되지 않아 생태계에 오랫동안 잔류되어 대기나 음식물 등을 통해 체내로 흡입, 섭취되면서 인체에 다양한 질병을 유발하고 있다. 그 중에서도 납, 카드뮴, 수은 등과 같은 중금속들은 가장 유해한 물질로서 인식되고 있다. 중금속이란 화학적으로 비중 4.0 이상의 무거운 금속으로 이중 철, 아연, 구리 등은 인체에 필요한 물질이나, 납, 카드뮴, 수은 등은 생물체에 유해할 뿐만 아니라 체내에서 대사되지 않고 축적되므로 주의를 기울여야 한다. 유해중금속이 체내에 축적되면 호르몬 대사 및 혈관축적에 영향을 주어 고혈압, 동맥경화증, 류머티즘의 원인이 될 뿐 만 아니라, 암을 유발시키고, 태아숙성에 크게 영향을 미치며 기형의 원인이 되며, 철분 등의 흡수를 저해하여 변형 등을 유발하는 것으로 보고되어 있어 국민건강 측면에서 위해성 문제가 종종 논란이 되고 있다. 또한 납, 카드뮴, 수은은 일본 노동후생성에서 67종의 내분비장애물질중의 하나로 분류되었을 뿐 만 아니라, 세계생태보전기금 (World Widlife Fund, WWF)의 142종의 내분비장애물질에도 분류되어져 있다.[1)]

인체에 중금속이 노출될 수 있는 경로는 매우 다양하고 개인마다 흡수 및 대사, 노출시간 등이 달라서 식품 및 환경에서 직접 정량하는 방법이 생체 내 노출량을 반영한다고 볼 수 없다. 따라서 인체의 중금속 노출평가를 하기 위해서는 생물학적 지표를 이용하여 보다 정확한 노출정도를 예측하고 위험도를 평가하는 것이 바람직하다.[2)]

생물학적 모니터링은 생체시료 중에 함유된 유해물질이나 그 대사산물 등을 분석하여 오염의 정도를 평가하는 것을 말하는 것으로 노출량평가에서 출발하였으나, 최근 유해물질이 인간에 미치는 영향을 측정하고 폭로의 정도, 건강 위험도를 평가하여 예방에 도움이 되도록 하는 것도 영향평가로서 생물

†Author to whom correspondence should be addressed.

학적 모니터링의 범주안에 추가 되었다.[3] 또한 생물학적 모니터링은 적절한 생체 시료를 선택하는 것이 매우 중요하다. 생체시료로는 보통 혈액, 뇨, 머리카락 등이 있으며 분석하고자 하는 물질에 따라 적절하게 선택하여야 한다. 그 중 혈액은 채혈량이 제한되는 단점이 있지만, 전 장기에서 일정한 상태로 순환하며 대표성 있는 농도를 나타내고 구성성분의 개인차가 적다는 장점이 있어 가장 많이 사용되고 있는 시료이다.

우리나라에서는 1985년부터 농산물, 수산물 및 여러 가지 식품 중 미량 금속함량에 관한 모니터링을 계속 수행해오고 있으나,[4-6] 인체 혈액을 대상으로 중금속함량 및 분석방법에 관한 연구는 많지 않으며, 또한 중금속과 질병과의 상관성에 관한 연구도 미흡한 실정이다. 산업체 근로자를 대상으로 납 등 중금속 함량에 대한 조사는 일부 있지만,[7,8] 정상인 특히 청소년의 혈중 납 등 중금속 농도에 대한 국내연구는 미흡하다. 또한 빈혈은 영유아기 및 사춘기 여아에 많이 발생하는 것으로 알려져 있으며,[9] 그 원인은 철분의 불충분한 섭취, 빠른 성장 등을 들 수 있지만 납중독에 의해서도 발생할 수 있다고 보고되고 있으며, 또한 철 결핍 시 장내 납의 흡수를 촉진한다는 보고도 있다.[10,11] 따라서, 본 연구에서는 중학생 남, 녀 300명을 대상으로 혈액의 전혈 중 납, 카드뮴, 혈청 중 철분, 구리, 아연 등에 대하여 측정방법을 확립하고, 혈액 내 중금속과 미량원소와의 상관성 및 빈혈과의 상관성 등을 분석하고 위해성평가를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

가. 조사대상

인천시에 거주하는 중학생 1-2학년 300명을 대상으로 중금속 및 빈혈검사를 포함한 혈액검사 등을 실시하였으며, 대상자에 대한 정보는 Table 1에 나타내었다.

나. 대상금속

납, 카드뮴, 구리, 아연, 철 등

다. 시약 및 시액

본 연구에 사용한 시약은 모두 유해중금속 측정용, 반도체용급 이상의 시약을 사용하였으며, Triton X-100은 Sigma에서 구입하여 사용하였다. 기기확인을 위한 Certified Reference Material(CRM)으로 Seronorm (Osio, Norway), Bio-rad (California, USA)에서 구입하였으며, 각 원소별 modifier는 Perkin Elmer에서 구입하여 사용하였다.

시약조제 및 전처리에 사용된 모든 초자기구는 20% 질산에 24시간 담근 후 초순수 증류수로 여러번 세척하여 사용하였다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Variables	Female (n=154)	Male (n=146)
Age	13~14	13~14
Height (cm)	156.1±5.4	159.7±8.2
Weight (kg)	49.5±8.8	53.9±11.9

라. 표준용액

각 중금속의 표준용액은 표준원액 (Waco Pure Chemical Industry Ltd.)을 사용하여 각 원소별 농도에 맞게 희석하여 사용하였다.

측정기기

가. 분석기기 및 장치

중금속 및 무기질을 분석하기 위해 사용한 기기는 AAS로 Perkin Elmer Analyst 800 (Model 800, Perkin Elmer, Co. USA, with zeeman corrector & THGA)을 이용한 flameless 방법을 사용하였으며, 전처리 비교를 위하여 microwave digestion closed type (Mile stone, Italy)을 사용하였다.

Table 2. The operating condition of graphite furnace-atomic absorption spectrophotometry

Metals	AAS (Perkin Elmer Analyte 800)	
	Classification	Condition
Pb	Wavelength (nm)	283.3
	Temperature (°C)	
	pyrolysis	600
	atomization	2000
	Modifier	$PO_4 + Mg(NO_3)_2$
	Wavelength (nm)	228.8
	Temperature (°C)	
Cd	pyrolysis	500
	atomization	1500
	Modifier	$PO_4 + Mg(NO_3)_2$
	Wavelength (nm)	213.9
	Temperature (°C)	
Zn	pyrolysis	700
	atomization	1800
	Modifier	$Mg(NO_3)_2$
	Wavelength (nm)	324.8
	Temperature (°C)	
Cu	pyrolysis	1200
	atomization	2000
	Modifier	$Pd + Mg(NO_3)_2$

나. AAS 분석조건

혈액 중 납 등 **중금속** 및 **미**량원소를 분석하**기** 위한 방법은 표준물 첨가법(method of additions calibrate, system-prepared)을 이용하여 **정**량하였으며 각 원소에 대한 분석조건은 Table 2에 나타내었다.

시험방법

가. 시료채취

혈액 중 납, 카드뮴, 철, 구리, 아**연** 등 **중금속** 및 무**기**질을 **정**량하**기** 위하여 헤파린 처리된 유리관(vacutainer glass tube)를 이용하여 채**혈**하였으며, 일부는 원심분리하여 **혈**청을 분리하였다. 시료는 분석 전 -70℃에**서** 냉동보관 하였으며, 전**혈**은 납, 카드뮴 분석에 사용하였고 **혈**청은 철, 구리, 아**연** 분석에 사용하였다.

나. **혈액**시료 전처리

1) Microwave 분해

전**혈** 및 **혈**청 각 1 ml를 취해 튜브에 넣고 microwave digestion을 이용하여 분해시켰으며, 분해시킨 **액**은 25 ml 메스플**라**스크에 옮**기**고 물로 **정**용하여 **중금속** 측**정**을 위한 시료로 사용하였다.

microwave 분석조건은 Table 3에 나타내었다.

2) **희**석방법

측**정**하고자 하는 **중금속**에 따**라** 0.2% triton-X 100을 이용하여 각각 원소별 측**정** 농도로 **희**석하여 표준물첨가법에 따**라** 측**정**하였으며, **중금속** 원소별 표준**액의** 농도는 Table 4에 나타내었다.

다. 회**수**율 및 검출한계 시험

1) 회**수**율시료 조제 및 검출한계 측**정**

전**혈**에 납, 카드뮴 표준**액**을 첨가하고 **혈**청에 철, 구리, 아**연** 표준**액**을 첨가하여 일**정** 농도가 되도록 조제한 후 각 시험법에 따**라** 전처리하여 회**수**율을 측**정**하였다. 또한 농도별 Seronorm (Osio, Norway) 및 Bio Rad (California, USA)에**서** 판매하는 blood CRM을 구입하여 납, 카드뮴에 대한 측**정**방법 신뢰**성**을 확보하였으며, 회**수**율 측**정**시료를 **희**석하여 검출한계를 측**정**하였다.

Table 3. Microwave digestion condition

Step	Time (min)	Temperature (℃)	Microwave power
1	2	85	up to 1.0 watt
2	3.5	135	up to 1.0 watt
3	4.5	230	up to 1.0 watt
4	15	230	up to 1.0 watt

Table 4. The standard calibration concentration **단위** (μg/dL)

	Pb	Cd	Cu	Zn
Std1	0.5	0.5	1	1
Std2	1.0	0.75	3	3
Std3	1.5	1.0	5	5

라. **혈액**분석

자동**혈액**분석**기**를 이용하여 **혈액의** 전**혈**에**서** hemoglobin (Hb), hematocrit, mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), 백**혈**구 및 **혈**소판**수**를 분석하였으며, **혈**청을 분리하여 철, ferritin 등을 측**정**하였다.

마. 통계처리

시료조제 및 분석은 **모**두 3반복으로 행해졌으며, data는 JMP Software (Version 4.02)를 이용하여 분석 후, ANOVA test를 사용하여 평균값들간**의** 유**의성**을 검**정**하였다 ($P<0.05$).

결과 및 고**찰**

혈액의 전처리비교 및 시험방법 검증

혈액시료**의** 전처리방법으로는 microwave digestion 방법과 triton-X 100를 이용하여 원소별 농도에 맞게 **희**석하여 측**정**하는 방법을 비교검토 하였으며, 그 결과는 Table 5, Table 6에 나타내었다. 측**정**결과 **혈액**을 **희**석하여 측**정**한 방법이 microwave digestion방법보다 측**정**원소(납, 카드뮴, 철, 구리, 아**연**)에**서** 회**수**율 및 검출한계가 **모**두 우**수**했으며, 또한 CRM을 이용하여 확인한 결과도 **혈액희**석법이 실제값과 거**의** 유사한 결과를 보여 microwave digestion방법보다 더 우**수**한 결과를 나타내었다. 특히, **혈액** 내 납, 카드뮴**의** 농도는 매우 낮아 측**정** 시 검출한계 및 회**수**율이 매우 **중**요하며 시료**의** 전처리방법에 영향을 많이 받는다. 또한 **혈액**은 시료**의** 양에도 제한을 받으므로 **희**석하여 GF-AAS로 측**정**하는 방법이 유리하리**라 생**각된다.

Table 5. Detection limit & recovery of heavy metals in blood using microwave digestion & dilution method

Metals	Detection limit (μg/dL)		Recovery (%)	
	Microwave	Dilution	Microwave	Dilution
Pb	2.5	0.1	73.8±0.56	101±0.33
Cd	0.25	0.01	76.9±0.79	105±0.04
Cu	2.5	0.5	78.2±1.02	100±3.05
Zn	2.5	0.02	91.2±0.49	102.1±1.19

Table 6. Comparision of Dilution method/Microwave Digestion method using the CRM unit (μg/dL)

Metals	Seronorm batch 1		Seronorm batch 2		Seronorm batch 3		Bio-rad 1	
	recommended	analyzed	recommended	analyzed	recommended	analyzed	recommended	analyzed
Pb (dilution)	3.4	3.6	68.5	38.9	66.0	66.8	0.84	0.80
Pb (microwave)	(3.1-3.9)	2.7	(37.5-39.3)	28.0	(66.1-68.7)	48.7	(0.67-1.01)	-
Cd (dilution)	0.07	0.078	0.64	0.80	1.07	1.07	0.43	0.46
Cd (microwave)	(0.067-0.076)	-	(0.63-0.79)	0.51	(1.06-1.15)	0.71	(0.34-0.51)	0.30

Table 7. The trace metal concentration in whole blood and serum unit (μg/dL)

Metals	Male (n = 146)			Female (n = 154)		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
Pb	3.48*	9.58	0.46	3.06	7.05	0.08
Cd	0.06	0.25	0.02	0.06	0.23	0.03
Cu	98.3	154.7	59.5	99.1	162.1	10.8
Zn	105.9*	331.4	37.4	92.8	239.3	21.5
Fe	98.1	182.2	23.1	93.2	254.0	17.0

*Significantly different from the normal ($P<0.05$).

혈액중 중금속 함량

인천지역 **중학생** 1~2**학**년을 대상으로 **혈액 중 중금속**에 대해 측**정**한 결과를 Table 7에 나타내었다. 측**정**결과, 납과 아**연**에**서** 남**학생**이 여**학생**에 비해 유**의**적으로 높은 결과를 나타냈으며 ($p<0.05$), 카드뮴은 **성**인에 비해 낮은 **수**치를 나타내었고[2,17], 아**연**과 구리는 **정**상**수**치를 나타내었다.

가. 납

혈중 납**의** 농도는 남**학생** (n=146)**에서** 평균 3.46 μg/dL로, 여**학생** (n=154)**의** 3.05 μg/dL에 비하여 유**의**적으로 더 높은 **수**치를 나타내었다 ($p<0.05$). 이는 Tripathi R.M.[12]**의** 8.0 μg/dL, Binns H.J.[13]**의** 10~20 μg/dL 및 Moreno M.A[14]**의** 4.0~15.0 μg/dL 보다 비교적 낮은 **수**치를 나타내었고, Barany E.[15]**의** 2.0 μg/dL보다는 다소 높은 결과를 보였다. **김** 등[16]은 **혈중 중금속의** 위해**성**평가에 관한 **연**구에**서** 납**의** 농도는 나이와 **성**별에 따**라** 다소 차이가 있는 것으로 보고하고 있으며 분석**기기**에 따**라서**도 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 본 실험**의** 결과 **중학생의 혈중** 납 농도는 WHO**의** 20 ug/dL보다 낮은 **수**치이며, **미국의** 질병관리센**터** (Centers for Disease Control, CDC)**의** 어린이에 대한 **기**준치 (10 μg/dL)보다도 낮은 **수**치로 **정**상범위에 해당하는 것으로 사료된다[21].

나. 카드뮴

카드뮴**의 경**우 남**학생** 평균 0.063 μg/dL, 여**학생**은 0.065 μg/dL으로 두 군간**의** 통계적 차이는 없었다. 이러한 결과는 청소년을 대상으로 조사한 Barany, E.[15]**의** 0.028 μg/dL보다는 다소 높은 결과를 나타내었으나, **성**인을 대상으로 조사한 이 등**의** 0.096 μg/dL 및 0.107 μg/dL 보다는 낮은 **수**치를 나타내었다[2,17]. 카드뮴**의** 농도는 출**생** 시 거**의** 존**재**하지 않다가 **성**장에 따**라** 소화**기** 및 호흡**기**를 통하여 체내에 흡**수**되고 축적되는 **중금속**으로 **연**령 및 흡**연**과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다[20]. 따**라서** 본 실험**의** 대상자는 **중학생**으로 흡**연** 등 외부로부**터의** 영향을 덜 받아 **혈중** 카드뮴**의** 농도가 낮은 것으로 판단된다.

다. 아**연**

혈청**의** 아**연** 농도는 남**학생** 105.9 μg/dL, 여**학생** 92.6 μg/dL,으로 남**학생**이 여**학생**에 비해 유**의**적으로 높은 **수**치를 나타내었으며, 이는 Barany E. et al.[15]**의** 100 μg/dL와 유사한 결과를 나타내었으며, **혈**청 **정**상치인 64-118 μg/dL 범위 내로 나타났다.

라. 구리

혈청**의** 구리농도는 남**학생** 평균 98.3 μg/dL, 여**학생** 99.0 μg/dL로 두 그룹간**의** 유**의**적 차이는 없었으며, 10-14세 **혈**청 **정**상**수**치인 80-121 μg/dL 범위내 **수**치이다. Tripathi R.M.[12]**의** 86.5 μg/dL 보다는 다소 높았으나 Barany E.[15]**의** 110 μg/dL 보다는 다소 낮은 결과를 보였다.

빈**혈집**단과 **정**상**집**단**의** 비교

본 **연**구에**서** 빈**혈**은 DaIlman[18]등이 제시한 **기**준치에 준해**서** 12-14세 남**학생의 경**우 **혈**색소 12.5 g/dL**미**만일 때 여**학생**은 12.0 g/dL **미**만으로 **정의**하였으며, 대상자 **중** 빈**혈**을

Table 8. Concentrations of Pb, Cd, Zn, Cu and Fe in the blood of subjects unit (μg/dL)

Metals	Male (n=146)		Female (n=154)	
	Normal (n=125)	†Anemia (n=21)	Normal (n=122)	Anemia (n=32)
Pb	3.45 ± 1.5	3.50 ± 2.02	2.93 ± 1.39	3.48 ± 1.66
Cd	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.005	0.06 ± 0.03	0.07 ± 0.04
Zn	106.39 ± 52.11	102.92 ± 48.6	92.3 ± 4.29	93.59 ± 8.37
Cu	97.61 ± 20.68	102.27 ± 16.85	99.39 ± 18.99	97.73 ± 18.52
Fe	101.17 ± 32.74	80.29 ± 31.17*	100.25 ± 32.71	65.38 ± 30.33*

*Significantly different from the normal ($P<0.05$).
†Anemia: IDA or ID or Anemia

Table 9. Correlation analysis between heavy metals

Variable	Correlation coefficient				
	Fe	Pb	Cd	Zn	Cu
Fe	1	-0.1937	-0.0644	-0.0648	-0.1808
Pb	-0.1937	1	-0.0811	0.2543	0.1108
Cd	-0.0644	-0.0811	1	-0.0747	-0.081
Zn	-0.0648	0.2543	-0.0747	1	0.0969
Cu	-0.1808	0.1108	-0.081	0.0969	1

보인 **학생**은 남**학생** 11명, 여**학생** 13명이었다. 또한 철결핍**성**빈**혈** (Iron Deficiency Anemia, IDA)는 남**학생** 2명, 여**학생**은 7명으로 여**학생**이 유**의**적으로 높았다 ($p<0.001$). 철 결핍 (Iron Deficiency, ID)**의 경**우도 남**학생** 7.5% (11/146), 여**학생** 14.3% (22/154)로 여**학생**에**서** 유**의**하게 높은 결과를 나타내었다 ($P<0.001$). 빈**혈집**단 (amenia, IDA, ID)과 **정**상**집**단에**서 중금속** 함량에 대한 상관**성** 결과는 Table 8에 나타내었다. **최** 등[19]**의** 결과에**서**는 IDA 청소년에**서 혈중** 납 농도가 유**의**적으로 높았으나, 본 실험에**서**는 여**학생의** 빈**혈집**단에**서 정**상보다 납**의** 함량이 다소 높았으나 통계적 유**의성**은 없었다.

중금속과 다른 **미**량원소와**의** 상관관계

혈액의 전**혈 중** 납, 카드뮴**의** 농도와 **혈**청 **중** 철, 구리, 아**연**에 대한 상관관계를 알아본 결과는 Table 9에 나타내었다. 철분이 결핍된 사람**의** 장내에**서** 납**의** 흡**수**를 촉**진**한다는 **연**구가 있으나 본 실험**의** 결과 철분과 납 사이에는 유**의**적인 음**의** 관계를 보였지만 상관계**수**는 낮았다 ($P<0.001$). 그러나 철분 부족**의 학생**을 대상으로 하면 음**의** 상관관계가 다소 상승하였다. 또한 납과 아**연의 경**우 양**의** 상관관계를 나타내었는데 ($P<0.001$), 이는 더 많은 **연**구가 필요하리**라 생**각된다. 그 밖**의** 카드뮴, 구리와 같은 다른 **금속** 간에는 유**의**적인 상관관계가 나타나지 않았다.

국문요약

1. **혈액 중 중금속** 분석방법을 확립하**기** 위하여 GF-AAS를 이용하여 microwave digestion 방법과 **혈액희**석법**의** 검출한계 및 회**수**율을 비교 검토한 결과 **혈액희**석법이 검출한계 및 회**수**율이 우**수**하였으며, 표준시료 (CRM)를 이용한 시험방법에 대한 검증에**서** 만족스런 결과를 나타내었음. 2. **중학생** 300명을 대상으로 **혈액 중 중금속**함량을 GF-AAS를 이용하여 측**정**한 결과 납과 아**연**에**서** 남**학생**이 여**학생**에 비해 유**의**적으로 높은 **수**치를 보였으며, 납**의** 함량은 남**학생** 약 4 ug/dL, 여**학생** 약 3 ug/dL으로 WHO**의 권**고치 20 ug/dL, **미**국질병관리센**터의** 어린이에 대한 **권**고치 10 ug/dL에 **미**달하는 **수**준이었음. 3. 카드뮴은 남, 여 **모**두 평균 0.06 ug/dL으로 WHO**의** 일반인 **권**고치 0.5 ug/dL보다 훨씬 낮은 **수**치를 나타내었음. 4. 또한 아**연의 경**우 남**학생** 약 106 ug/dL, 여**학생** 약 93 ug/dL으로 **혈**청 **정**상치인 64-118 ug/dL에 해당하는 **수**치이었음. 5. 구리는 남·여**학생 모**두 약 99 ug/dL로 **혈**청 **정**상치인 80-121 ug/dL 범위내로 나타났음. 6. 남·녀 **학생 중** 빈**혈집**단과 **정**상인과**의 중금속**함량을 분석한 결과 여**학생의** 빈**혈집**단에**서 정**상**집**단 보다 납 함량이 다소 높게 나타났음 ($P>0.05$). 7. **혈액 중** 납과 철분 간에 음**의** 상관관계가, 납과 아**연**간에는 양**의** 상관관계가 관**찰**되었음 ($P<0.001$).

참고문헌

1. 최덕일 : 내분비계장애물질이란, 국립환경연구원.
2. 김선희 : 한국인의 체내 중금속 오염도 조사 연구, The Annual Report of KNTP, Vol 1, 497-519 (2002).
3. Pirkle, JL., Needham, L L. and Sexton, K. : 5. Improving exposure assessment by monitoring human tissues for toxic chemicals. J of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 5(3), 405-424 (1995).
4. 소유섭, 김정수, 정소영, 김미혜, 홍무기 : 우리나라 어패류 중 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양학회지, 29(4), 549-554 (2000).
5. 정소영, 김미혜, 소유섭, 원경풍, 홍무기 : 우리나라 채소류 중 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양학회지, 30(1), 32-36 (2001).
6. 김미혜, 장문익, 정소영, 소유섭, 홍무기 : 우리나라 곡류, 두류 및 서류중의 미량금속함량 및 안전성 평가. 한국식품영양학회지, 29(3), 364-368 (2000).
7. 이병국, 이광묵, 안규동 : 모 연취급장 사업장에서의 보건사업이 근로자 건강증진에 미치는 효과. 한국의산업의학, 26, 63-72 (1987).
8. 신해림, 김준연 : 연폭로 지표들의 정상치에 관한 연구. 예방의학회지, 19, 167-176 (1986).
9. Oski, FA. and Honing, A S.: The effects of therapy on the developmental scores of iron deficient infants. J. Pediatr, 92, 21-25 (1978).
10. Mahaffey, K R., Annest, JL., Roberts, J. and Murphy, R S.: National estimates of blood lead levels. United States, 1976-1980, association with selected demographic and socioeconomic factors. N. Engl, J. Med, 307, 573-579 (1982).
11. Clark, M., Royal, J. and Seeler, R.: Interaction of iron deficiency and lead and the hematologic findings in children with severe lead poisoning. Pediatr, 81, 247-254 (1988).
12. Tripathi, R M., Raghunath, R., Mahapatra, S. and Sadasivan, S.: Blood lead and its effect on Cd, Cu, Zn, Fe and hemoglobin levels of children. Sci Total Environ, 277, 161-168 (2001).
13. Binns, H. J., Lebailly, S A., Fingar, A R. and Saunders, S.: Evaluation of risk assessment questions used to target blood lead screening in Illinois. Pediatr, 103, 100-106 (1999).
14. Moreno, M A., Marin, C., Vinagre, F., Ostapczuk, P.: Trace element levels in whole blood samples from residents of the city Badajoz. Spain, Sci Total Environ, 229, 209-215 (1999).
15. Barany, E., Bergdahl, IA., Bratteby, L E., Lundh, T., Samuelson, G., Schutz, A., Skerfving, S. and Oskarsson, A.: Trace element levels in whole blood and serum from Swedish adolescents. Sci Total Environ, 286, 129-141 (2002).
16. 김종석, 안승구 : 중금속의 위해성 평가에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 8(4), 269-276 (1992).
17. 이용학, 박종안, 이석기, 장봉기, 손부순, 이종화 : 직업적 폭로가 없는 일부 남성의 혈액 및 뇨 중 카드뮴 함량. 한국환경위생학회지, 25(1), 89-95 (1999).
18. Dallman, PR., Yip, R. and Oski, FA.: Iron deficiency and related nutritional anemias. In Nathan, D G. and Oski, FA., eds. Hematology of infancy and childhood, 4th ed. Philadelphia, W B Saunders, 413-450 (1993).
19. Choi, JW. and Kim, S K.: Association between blood lead concentrations and body iron status in children. Arch Dis Child, 88, 791-792 (2003).
20. Mortada, W I., Sobh, M A. and El-Defrawy, M M.: The exposure to cadmium, lead and mercury from smoking and its impact on renal integrity. Med Sci Monit, 10(3), CR. 112-116 (2004).
21. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. : Second National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, January (2003).