

혈중 납 농도와 역학적 요인 및 체내 철 수준과의 관련성

박상우, 김기영, 김동원, 최성진, 김현숙, 최병선, 최미경¹, 박정덕*

중앙대학교 의과대학 예방의학교실, ¹청운대학교 식품영양학과

The Relation between Blood Lead Concentration, Epidemiologic Factors and Body Iron Status

Sang-Woo Park, Ki-Young Kim, Dong-Won Kim, Seong-Jin Choi,
Hyun-Sook Kim, Byung-Sun Choi, Mi-Kyeong Choi¹ and Jung-Duck Park*

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Chung-Ang University,
Seoul 156-756, Korea

¹Department of Human Nutrition & Food Science, Chungwoon University,
Hongseong 350-701, Korea

ABSTRACT

Essential metals have been known to interact with non-essential toxic metals in the aspects of absorption, transport and deposition in the body. Iron deficiency has been reported to increase lead and/or cadmium absorption. The relation between iron and lead has been understood well in children but not in adults. Two hundred seventy adults (118 males and 152 females) were recruited from 3 different residential areas (rural, coastal and urban) to investigate the effects of environmental lead exposure on body iron status. The subjects were interviewed for life-style and diet of the last 24 hours, and measured for blood lead and body iron. The lead concentration in the whole blood was determined by a flameless method using an atomic absorption spectrophotometry. The body iron was evaluated with values of hemoglobin, hematocrit, RBCs, serum total iron, unsaturated iron binding capacity, total iron binding capacity and ferritin. The mean concentration of blood lead in adult was 3.31 $\mu\text{g/dL}$. The concentration was higher in male (3.97 $\mu\text{g/dL}$) than in female (2.86 $\mu\text{g/dL}$). The blood lead was influenced by residential area, life-style, smoking and drinking, occupation and diet habit of subjects, but not by age. A positive correlation was observed between the blood lead level and the serum iron or ferritin. These results suggest that environmental lead exposure in Korean adult may not be higher than other developed and developing countries. It is further indicated that blood lead in adult could be influenced by life-style, and environmental and genetic factors but no inverse relation with body iron as shown in children.

Key words : body iron, blood lead, life-style, diet habit, genetic factor

서 론

철(iron, Fe)은 생체에서의 물질대사에 필수적인 금속이온(essential metal)으로서 인체의 항상성(homeostasis)을 유지하기 위하여 적절한 영양공급

※ To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-2-820-5668, Fax: +82-2-815-9509
E-mail: jdpark@cau.ac.kr

을 통한 적정 농도의 체내 유지가 요구되는 금속이지만(Andrews, 1999), 납(lead, Pb)은 인체의 물질대사에 전혀 불필요한 유해금속물질(toxic and non-essential metal)로서 미량이지만 장기간 노출되는 경우 체내에서 축적되는 경향이 있으며 다양한 종류의 급성 및 만성 비발암성 독성(non-carcinogenic toxicity)을 유발한다(Mahaffey, 1983; ATSDR, 1999). 필수 금속과 유해 독성금속 간에는 체내로의 흡수, 이동, 조직내 축적 및 독성에 있어서 상호작용(metal-metal interaction)이 있는 것으로 알려져 있다(Goyer, 1997).

인체가 중금속에 노출되는 경로는 호흡기, 소화기계 및 피부나 피부를 통한 흡수는 매우 미미하다. 철과 같은 필수 금속의 체내 흡수경로는 소화기계(oral exposure)에 국한된다. 유해 중금속인 납은 산업장 근로자의 경우 금속 흡을 통하여 호흡기계로 노출되거나 직업적으로 중금속에 노출되지 않는 일반 인구집단에서는 오염된 물과 토양, 그리고 농축산물 및 식품 등을 통한 소화기계가 주된 경로이며, 오염된 대기를 통해서도 일부 노출된다. 철은 소장(small intestine)의 상부인 십이지장에서 주로 흡수되며, 소장 상피세포(intestinal epithelial cell)의 기저부(basal portion)에서 혈중 transferrin-bound Fe의 수준을 감지함으로써 체내 철 상태를 인지하여 부족한 경우 장관내로부터 철의 흡수를 증가시킴으로써 항상성을 유지한다(Trinder *et al.*, 2000; Srail *et al.*, 2002). 철 결핍은 microcytic hypochromic anemia를 일으킬 뿐만 아니라, 동물실험에서 체내 철량이 결핍된 경우 카드뮴과 납 등 독성 중금속의 흡수로 혈중 농도가 높다는 것이 관찰된 바 있다(Ragan, 1977; Flanagan *et al.*, 1978; Park *et al.*, 2002; Ryu *et al.*, 2004). 철 결핍 실험동물모델을 이용한 연구에서 체내에서 철이 결핍될 경우 소화기계로 노출된 유해 독성금속인 카드뮴의 흡수가 증가되었다. 즉, 철 결핍시 카드뮴 흡수가 증가되는 것은 소장에서 철 흡수 기전의 하나로서 철 결핍시 장관내 상피세포의 apical portion에 분포하는 divalent metal transporter 1 (DMT1)과 basolateral portion에 분포하는 metal transporter protein 1 (MTP1)의 발현이 증가되고 이들 금속이동단백질(DMT1과 MTP1)을 통해 장관내로부터 장관 상피세포내로, 장관 상피세포에서 혈액내로 철이 흡수·이동되는데 카드뮴의 흡수도 이들 금속단백질을 통해

증가됨이 보고(Ryu *et al.*, 2004)된 바 있다. 또한, *in vitro* 연구에서 철 이동단백질인 DMT1은 철뿐만 아니라 필수금속인 아연과 망간, 그리고 카드뮴, 납과 같은 유해금속도 통과하는 것으로 보고(Gunshin *et al.*, 1997)되어 있으며 동물실험에서 철 결핍시 혈중 납의 농도가 높은 것으로 제시된 바 있다. 이러한 자료들은 필수 금속인 철이 부적절하게 공급되거나 체내에서 요구량이 증가되는 경우 동일한 유해 중금속에 노출(external exposure dose)되는 환경일지라도 장관에서 흡수정도의 차이로 인해 상대적으로 유해 중금속의 내부 노출량(internal exposure dose)이 증가될 수 있어 이들 금속의 독성에 민감할 수 있음을 시사한다. 체내 철의 결핍은 국민보건관리측면에서 영양학적으로 매우 중요하나, 이로 인한 독성 유해 중금속의 흡수에도 영향을 줄 수 있어 독성학적인 면에서도 그 의의가 높을 것으로 사료된다. 그러나 아직까지 한국인에 있어서 체내 철의 수준과 납의 흡수 사이의 관련성에 대해 제시된 자료는 거의 찾아 볼 수 없다. 체내에서 필수 금속과 유해 중금속간의 관련성 및 이동기전 등에 대한 이해는 향후 중금속 오염과 독성 및 예방에 대한 관리방안 수립에 있어서 꼭 필요하다고 생각한다. 또한, 철 결핍시 혈중 납 농도의 증가는 소아들에서는 비교적 잘 이해되고 있으나(Wright *et al.*, 1999; Bradman *et al.*, 2001) 성인에서 철과 납과의 관련성에 대한 자료나 이해는 매우 부족한 실정이다(Alabdullah *et al.*, 2005).

이번 연구에서는 주거지역의 특성이 서로 다른 도시, 농촌 및 해안 지역에 거주하고 있는 성인 인구를 대상으로 체내 필수 이온인 철의 수준 파악과 유해 중금속인 납에 대한 노출수준을 평가하고, 생체내 필수 금속이온인 철의 수준에 따른 혈중 납과의 관련성을 알아보려 하였다.

연구 및 방법

1. 조사 대상지역 및 조사대상자 선정

일반 인구집단에서 인체에 대한 납의 노출은 거주지역, 생활양상 및 식이 등에 의해 영향을 받을 수 있으므로 생활양상과 식이습관이 다를 것으로 판단되는 지역의 특성에 따라 농촌지역, 해안지역 및 도시지역 각각 1곳을 임의로 선정하였다. 즉, 농

Table 1. Distribution of study population by district and sex

| District | Male | Female | Total |
|--------------|------|--------|-------|
| Rural area | 38 | 56 | 94 |
| Coastal area | 43 | 54 | 97 |
| Urban area | 37 | 42 | 79 |
| Total | 118 | 152 | 270 |

촌지역은 농업인구가 주된 인구인 경기도 지역의 2개 마을, 어촌지역은 어업에 종사하고 있는 주민이 주를 이루고 있는 충청남도 해안지역의 2개 마을, 그리고 도시지역은 비교적 규모가 크고 교통량이 많은 도시의 2개 동 지역을 대상으로 선정하였다. 조사 대상지역으로부터 직업적으로 특별히 납에 노출된 적이 없으며 해당 지역에 3년 이상 거주하였으며, 30세 이상인 성인을 조사대상자로 임의·선정하였다. 이번 조사에 참여한 조사대상자는 270명(남자 118명, 여자 152명)이었고, 지역별로는 농촌지역 94명(남자 38명, 여자 56명), 어촌지역 97명(남자 43명, 여자 54명), 도시지역 79명(남자 37명, 여자 42명)이었다(Table 1).

2. 설문조사 및 시료채취

조사대상자들에게 이번 연구의 목적과 내용 및 진행과정을 충분히 설명한 후 조사에 참여할 것을 동의한 사람 270명(남자: 118명, 여자: 152명)을 대상으로 미리 작성된 설문지를 이용하여 개인 면접 방법으로 설문 조사하였다. 설문내용은 조사대상자의 인적사항을 포함하여 직업력, 질병력, 흡연력 및 음주력 등에 대한 항목으로 구성하였으며, 식이를 함께 조사하였다. 조사대상자들에 대한 식이조사는 조사 전날 24시간 동안 섭취한 식이를 아침, 점심, 저녁 식사를 중심으로 시간대별로 간식을 포함하여 섭취한 식이의 식품 또는 음식의 종류 및 각각의 섭취량을 조사하였다. 설문조사 후 조사대상자로부터 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 분석항목에 따라 혈청 또는 전혈을 분리하여 이용하였다.

3. 조사대상자의 체내 철 수준 평가

조사대상자의 체내 철 수준을 평가하기 위한 항목으로서 전혈내 적혈구 수, 헤모글로빈, 헤마토크

리트와 혈청내 총 Fe량, unsaturated iron binding capacity (UIBC), total iron binding capacity (TIBC) 및 혈청내 ferritin 등을 이용하였다. 전혈내 적혈구 수와 헤모글로빈 및 헤마토크리트는 coulter counter를 이용하여 분석하였고, 혈청내 총 Fe와 UIBC는 Sigma Diagnostic Kit (USA)를 이용하여 정량하였으며 TIBC는 정량한 총 Fe와 UIBC를 이용하여 산출하였다. 혈청내 ferritin은 Omega Diagnostic Kit (UK)를 이용하여 enzyme immunoassay (EIA) 방법으로 정량하였다.

4. 혈중 납 정량

전혈중 납 농도는 Fernandez (1975)의 방법을 다소 수정·보완하여 분석하였다. 즉, 전혈을 0.2% triton x-100, 0.2% sodium phosphate, 0.1% HNO₃ 용액에 10배 희석한 다음 Zeeman 방식의 graphite furnace (Perkin Elmer 5100ZL, Zeeman Furnace Module)가 부착된 원자흡광분광광도계 (atomic absorption spectrophotometer, Perkin Elmer Model 5100)를 이용하여 flameless 방법으로 분석하였다. 원자흡광기를 이용한 혈중 납의 분석단계는 100°C에서 60초간 건조, 600°C에서 30초 회화 및 1,400°C에서 4초간 원자화 과정을 거쳐 분석하였다. 정화가 스로서는 argon가스를 이용하였으며, 납 표준용액은 1,000 ppm 원자흡광분석용 용액 (Sigma)을 희석하여 이용하였다. 이때 혈중 납 분석에 있어서 정확성을 도모하기 위하여 3단계 수준의 혈액 표준 시료 (Lymphocheck[®] Whole blood Metals Control, Bio-Rad)를 이용하여 정도·관리하였다.

5. 자료정리 및 분석

조사대상자로부터 얻은 자료로부터 우리나라 사람들의 성인에 있어서 필수 금속이온인 체내 철 수준 파악과 납에 대한 노출정도를 지역에 따라 평가하고, 연령과 인적특성 및 역학적 요인들과 함께 비교·분석하여, 체내 필수 금속이온인 철과 유해 중금속인 납과의 관련성을 평가하였다. 조사대상자의 혈중 납 농도 분포의 기하평균과 기하표준편차를 산출하였다. 연구결과 얻은 자료의 평균치 비교는 unpaired t-test 또는 ANOVA와 Duncan's multiple comparison test를 이용하였고, 변수들 사이의 관련성은 Pearson의 상관분석방법을 이용하였

Table 3. Daily food intakes of study population

| Items | Rural area | Coastal area | Urban area | Significance |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Food intake, (g) | 1133.5 ± 790.5 | 1025.6 ± 486.0 | 1187.3 ± 604.9 | F=1.48 |
| Energy, (kcal) | 1612.2 ± 827.7 | 1473.2 ± 623.9 | 1546.2 ± 557.3 | F=0.98 |
| Cereals | 289.8 ± 173.8 | 250.1 ± 112.3 | 246.0 ± 110.3 | F=2.96* |
| Potatoes and starches | 42.7 ± 71.5 | 40.3 ± 95.1 | 32.2 ± 61.1 | F=0.42 |
| Sugars and sweeteners | 4.2 ± 7.1 | 4.9 ± 5.1 | 9.0 ± 10.3 | F=9.78* |
| Pulses | 36.5 ± 42.6 | 27.1 ± 41.7 | 43.5 ± 59.1 | F=2.63 |
| Nuts and seeds | 3.1 ± 9.9 | 1.8 ± 7.9 | 4.9 ± 18.2 | F=1.41 |
| Vegetables | 312.5 ± 211.8 | 247.8 ± 151.8 | 294.2 ± 180.6 | F=3.17* |
| Fungi and mushrooms | 1.1 ± 5.1 | 0.8 ± 4.0 | 1.5 ± 5.1 | F=0.47 |
| Fruits | 140.0 ± 354.2 | 121.2 ± 277.8 | 204.8 ± 438.1 | F=1.28 |
| Meats | 72.1 ± 111.7 | 43.4 ± 66.5 | 53.3 ± 74.8 | F=2.66 |
| Eggs | 9.5 ± 19.1 | 9.0 ± 19.8 | 12.6 ± 22.6 | F=0.79 |
| Fishes and shellfishes | 29.6 ± 43.4 | 98.9 ± 140.6 | 48.5 ± 56.2 | F=14.03* |
| Seaweeds | 2.4 ± 6.6 | 3.9 ± 9.9 | 3.0 ± 7.6 | F=0.81 |
| Milks | 46.2 ± 133.9 | 27.4 ± 65.5 | 78.3 ± 109.5 | F=5.95* |
| Oil and fats | 5.4 ± 7.3 | 4.1 ± 5.5 | 10.5 ± 34.2 | F=2.67 |
| Beverages | 105.1 ± 503.5 | 119.5 ± 199.3 | 120.0 ± 186.1 | F=0.06 |
| Seasonings | 31.6 ± 29.9 | 25.6 ± 22.9 | 25.5 ± 17.1 | F=1.93 |

* : p<0.05

으며 그 외 자료의 특성에 따라 적절한 통계적 기법을 이용하였다.

연구 결과

1. 조사대상자의 역학적 특성

조사대상 지역별 조사대상자들의 연령, 거주기간, 흡연력과 음주력 및 직업 등 역학적 특성은 Table 2와 같다. 즉, 조사대상자들의 평균 연령은 농촌지역(남자: 60.6세, 여자: 57.2세)과 해안지역(남자: 59.2세, 여자: 57.0세)이 도시지역(남자: 50.3세, 여자: 50.0세)보다 많았고, 조사대상지역에서의 거주기간도 농촌과 해안지역 거주대상자들이 도시지역 대상자들보다 길었다. 조사대상자들의 흡연력은 농촌, 해안 및 도시지역 주민들 간에 비슷하였으나, 음주력은 남자에서 도시지역이 높았다. 조사대상자들의 직업 분포를 볼 때 농촌지역에서는 농업인구가 가장 많았고, 해안지역에서는 어업, 그리고 도시지역에서는 사무기능직이 가장 많은 것으로 나타나서 조사대상자들의 거주지역에 대한 특성을 잘 반영하고 있다.

2. 조사대상자의 식이 특성

설문조사 전날 24시간 동안의 식이섭취량을 조사한 지역별 조사대상자들의 1일 평균 식품별 섭취량은 Table 3과 같다. 즉, 조사대상자들의 1일 평균 총 식품섭취량과 식이로 인한 칼로리 섭취량은 지역별로 각각 농촌지역 1,133.5 g, 1,612.2 kcal, 해안지역 1,025.6 g, 1,473.2 kcal, 도시지역 1,187.3 g, 1,546.2 kcal로서 지역간에 거의 비슷한 수준이었다. 그러나 일부 식품 즉, 농촌지역에서는 채소류와 곡류 등의 섭취량이 다른 조사대상자들에 비해 상대적으로 많았고, 해안지역에서는 어패류의 섭취량, 도시지역에서는 당류와 우유 등의 섭취량이 상대적으로 많은 것으로 관찰되었다.

3. 조사대상자의 체내 철 수준

조사대상자들의 체내 철 수준을 반영해 줄 수 있는 혈액지표들의 소견은 Table 4와 같다. 즉, 조사대상자들의 전혈중 평균 헤모글로빈과 헤마토크리트 및 적혈구 수는 각각 13.2 g/dL, 41.7% 및 4,353,420/mm³이었고, 성별로는 헤모글로빈의 경우 남자 14.2 g/dL 여자 12.4 g/dL, 헤마토크리트 남자 44.7% 여자 39.4%, 적혈구 수 남자 4,589,480/mm³ 여자

Table 4. Body iron parameters in study population

| Items | Rural area | | Coastal area | | Urban area | | Total | | |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Male | Female | Male | Female | Male | Female | Male | Female | Total |
| Hb(g/dL) | 14.3±1.5 | 12.4±1.1 | 13.7±1.4 | 12.4±0.9 | 14.6±1.0 | 12.5±1.0 | 14.2±1.4 | 12.4±1.0 | 13.2±1.5 |
| Hct (%) | 45.6±4.7 | 39.9±3.3 | 43.4±4.1 | 39.0±2.6 | 45.2±3.3 | 39.3±3.2 | 44.7±4.2 | 39.4±3.1 | 41.7±4.4 |
| RBC (×1000, mm ³) | 4646.8 ±498.4 | 4216.8 ±405.5 | 4403.1 ±449.5 | 4083.8 ±324.5 | 4748.1 ±370.2 | 4219.8 ±343.5 | 4589.5 ±463.7 | 4170.0 ±364.0 | 4353.4 ±459.7 |
| sFe (µg/dL) | 155.6±50.8 | 108.9±38.3 | 141.0±64.4 | 112.8±38.5 | 134.3±41.4 | 106.3±40.2 | 143.2±54.1 | 109.5±38.8 | 124.0±48.8 |
| UIBC (µg/dL) | 181.7±63.2 | 215.5±63.3 | 178.0±62.4 | 204.9±50.6 | 178.9±51.8 | 212.3±62.0 | 179.4±59.0 | 210.8±58.5 | 197.3±60.6 |
| TIBC (µg/dL) | 337.3±59.3 | 324.4±49.0 | 319.0±39.4 | 317.7±39.9 | 313.1±32.6 | 318.6±59.9 | 322.6±45.3 | 320.3±49.3 | 321.3±47.5 |
| Ferritin (µg/dL) | 125.6±100.0 | 51.2±36.5 | 117.0±107.7 | 59.0±62.2 | 82.7±62.2 | 48.2±52.0 | 108.4±93.6 | 53.2±51.2 | 76.8±77.3 |

Table 5. Mean concentrations of lead in whole blood (µg/dL) by demographic factors in study population

| Items | | Male | | Female | | Total | | Significance |
|------------|-----------------------|------|------|--------|------|-------|------|--------------|
| | | GM | GSD | GM | GSD | GM | GSD | |
| Residence | Rural area | 4.02 | 1.39 | 2.43 | 3.51 | 2.99 | 2.76 | F=4.09* |
| | Coastal area | 4.45 | 1.68 | 3.50 | 1.56 | 3.89 | 1.64 | |
| | Urban area | 3.45 | 1.44 | 2.72 | 1.49 | 3.04 | 1.49 | |
| Age(yrs) | 30~44 | 4.03 | 1.39 | 2.83 | 1.49 | 3.22 | 1.51 | F=0.56 |
| | 45~59 | 4.38 | 1.48 | 2.99 | 2.38 | 3.49 | 2.09 | |
| | Above 60 | 3.65 | 1.60 | 2.74 | 2.69 | 3.16 | 2.19 | |
| Smoking | Current | 4.05 | 1.45 | 4.12 | 1.13 | 4.05 | 1.44 | F=5.93* |
| | None | 3.80 | 1.59 | 2.81 | 2.32 | 3.00 | 2.19 | |
| | Ex-smoker | 4.09 | 1.59 | 5.72 | 1.62 | 4.21 | 1.60 | |
| Drinking | Yes | 3.98 | 1.56 | 3.31 | 1.58 | 3.71 | 1.58 | t=3.08* |
| | No | 3.96 | 1.45 | 2.63 | 2.69 | 2.84 | 2.50 | |
| Occupation | Agriculture | 3.71 | 1.54 | 1.79 | 6.02 | 3.03 | 2.84 | F=3.83* |
| | Fishing | 5.53 | 1.52 | 4.16 | 1.72 | 4.93 | 1.63 | |
| | Service | 3.93 | 1.47 | 3.10 | 1.46 | 3.44 | 1.48 | |
| | Business | 3.86 | 1.41 | 2.42 | 1.45 | 3.14 | 1.53 | |
| | Labor or Housekeeping | 3.19 | 1.51 | 2.94 | 2.28 | 2.99 | 2.14 | |
| | Total | 3.97 | 1.54 | 2.86 | 2.31 | 3.31 | 2.03 | t=3.82* |

* : $p < 0.05$, Data are expressed as geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD).

4,170,000/mm³로서 모두 남자에서 여자보다 높았으나, 조사대상자들의 거주지역에 따른 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 조사대상자들의 혈청소견으로서 평균 총 철, UIBC, TIBC 및 ferritin량은 각각 124.0 µg/dL, 197.3 µg/dL, 321.3 µg/dL 및 76.8 µg/dL이었다. 성별로는 총 철의 경우 남자가 143.2 µg/dL로서 여자 109.5 µg/dL에 비해 높았고($p < 0.05$), UIBC는 여자가 210.8 µg/dL로서 남자 179.4 µg/dL에 비해 높았으나($p < 0.05$) TIBC는 비슷한 수준(남자 : 322.6 µg/dL, 여자 : 320.3 µg/dL)이었다.

혈청 ferritin은 남자(108.4 µg/L)에서 여자(53.2 µg/L)보다 높은 수준으로 관찰되었다($p < 0.05$).

4. 혈중 납 농도

1) 평균 혈중 납 농도

조사대상자들의 역학적 요인에 따른 평균 혈중 납 농도는 Table 5와 같다. 즉, 전체 조사대상자들의 평균 혈중 납 농도는 3.31 µg/dL(산술평균치 : 3.82 ± 1.86 µg/dL)이었고, 성별로는 남자 3.97 µg/dL

Table 6. Pearson's correlation coefficients between blood lead and body iron parameters

| | Hb | Hct | RBC | sFe | UIBC | TIBC | sFerritin | Pb |
|-----------|--------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------|---------|
| Hb | 1.0000 | 0.9487* | 0.8242* | 0.4171* | -0.3287* | 0.0097 | 0.4087* | 0.1825* |
| Hct | | 1.0000 | 0.8523* | 0.4027* | -0.2840* | 0.0519 | 0.4044* | 0.1789* |
| RBC | | | 1.0000 | 0.2243* | -0.0090 | 0.2193* | 0.1864* | 0.1273* |
| sFe | | | | 1.0000 | -0.6420* | 0.2087* | 0.3619* | 0.1711* |
| UIBC | | | | | 1.0000 | 0.6159* | -0.3863* | -0.1017 |
| TIBC | | | | | | 1.0000 | -0.1199 | 0.0459 |
| sFerritin | | | | | | | 1.0000 | 0.1280* |
| Pb | | | | | | | | 1.0000 |

* : p<0.05

(산술평균치: $4.35 \pm 1.92 \mu\text{g/dL}$) 여자 $2.86 \mu\text{g/dL}$ (산술평균치: $3.41 \pm 1.70 \mu\text{g/dL}$)로서 남자에서 여자보다 높았다($p < 0.05$). 거주지역별로는 해안지역 조사대상자의 평균 혈중 납 농도가 $3.89 \mu\text{g/dL}$ 이었고 도시지역 $3.04 \mu\text{g/dL}$ 및 농촌지역 $2.99 \mu\text{g/dL}$ 로서, 도시와 농촌지역에 비해서 해안지역주민들에서 혈중 납 농도가 높은 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 조사대상자의 연령군별 혈중 납 농도는 45~59세군이 $3.49 \mu\text{g/dL}$ 이었고, 60세 이상군 $3.16 \mu\text{g/dL}$ 및 30~44세군 $3.22 \mu\text{g/dL}$ 로서 연령군에 따른 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 조사대상자의 흡연력에 따른 혈중 납 농도는 비흡연군에서는 $3.00 \mu\text{g/dL}$ 이었으나 과거흡연과 현재 흡연군에서는 각각 $4.21 \mu\text{g/dL}$ 및 $4.05 \mu\text{g/dL}$ 로서 비흡연군에 비해 높았다($p < 0.05$). 음주력에 따른 혈중 납 농도의 경우 음주군($3.71 \mu\text{g/dL}$)에서 비음주군($2.84 \mu\text{g/dL}$)에 비해 높은 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 혈중 납 농도는 조사대상자들의 직업군에 따라서도 차이가 있어, 어업에 종사하는 군에서의 평균 혈중 납 농도가 $4.93 \mu\text{g/dL}$ 로서 다른 직업군에 비해 높은 것으로 관찰되었다($p < 0.05$).

2) 체내 철 수준과 혈중 납과의 관련성

조사대상자들의 혈중 납과 체내 철 수준을 반영할 수 있는 혈액지표들과의 관련성은 Table 6과 같다. 즉, 조사대상자들에 있어서 혈중 납 농도는 전혈중 헤모글로빈과 헤마토크리트 및 적혈구 수와는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 혈중 납은 혈청 총 철량 및 ferritin과는 양의 상관관이 있으나 UIBC 및 TIBC와는 통계적으로 유의한 관련성이 관찰되지 않았다.

3) 식이와 혈중 납과의 관련성

조사대상자들의 각 식품별 섭취량과 혈중 납 농도와의 관련성을 분석해 본 결과, 전체 조사대상자들에 있어서 혈중 납은 버섯류의 섭취량과는 음의 상관($r = -0.1347$, $p = 0.0293$)이 있었고, 육류 섭취량과는 양의 관련($r = 0.1112$, $p = 0.0753$)이 있는 것으로 관찰되었다. 혈중 납 농도를 성별에 따른 식품섭취량과 비교해 볼 때 남자에서는 버섯류 섭취량과는 음의 상관($r = -0.1894$, $p = 0.0426$) 어패류 섭취량과는 양의 상관($r = 0.1854$, $p = 0.0472$), 여자에서는 육류 섭취량과 통계적으로 유의한 양의 상관($r = 0.1693$, $p = 0.0411$)이 있는 것으로 관찰되었다.

고 찰

농촌지역, 해안지역 및 도시지역으로부터 임의·선정한 270명(남자: 118명, 여자: 152명)을 대상으로 혈중 납 농도를 분석한 이번 연구에서 조사대상자들의 혈중 평균 납 농도는 $3.31 \mu\text{g/dL}$ 이었고, 성별로는 남자 $3.97 \mu\text{g/dL}$, 여자 $2.86 \mu\text{g/dL}$ 이었다. 이번 연구에서 제시된 혈중 납 농도는 기존에 특별히 직업적으로 납에 노출되지 않은 인구집단을 대상으로 보고된 연구결과 즉, 일반 성인을 대상으로 한 신태림과 김준연(1986)의 $17.17 \mu\text{g/dL}$, 젊은 성인을 대상으로 한 박정덕과 정규철(1985)의 $14.06 \mu\text{g/dL}$, Kim and Cho(1994)가 한국인의 혈중 납 농도에 대한 메타분석 결과 제시한 남자 $18.03 \mu\text{g/dL}$, 여자 $13.10 \mu\text{g/dL}$, 도시지역주민을 대상으로 한 김동일 등(1992)의 $23.8 \mu\text{g/dL}$, 일반 사무직 근로자를

대상으로 한 이남희 등(1995)의 14.7 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 등에 비해서는 매우 낮은 수준이다. 그러나 Yang *et al.* (1996)의 일반 인구집단을 대상으로 한 연구에서 한국인의 평균 혈중 납 농도로서 5.7 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이 제시되었고, 도시지역 성인을 대상으로 한 연구에서 제시된 6.32 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (김호현 등, 2004), 고성군 폐광산 지역 주민과 대조군 주민들을 대상으로 한 연구 (2004)에서 각각 2.59 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 2.71 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 그리고 정중학 등(2005)이 폐금속 광산 인근 주민과 대조군 지역주민을 대상으로 한 연구에서 각각 4.89 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 4.10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 등 비교적 최근에 보고된 자료에 비해서는 다소 낮거나 비슷한 수준이다.

특별히 납에 폭로되지 않은 우리나라 일반 지역 주민들의 혈중 납에 대한 기존 보고들과 이번 연구결과를 비교·검토해 볼 때 일반 인구집단에서의 혈중 납 농도가 감소추세에 있음을 알 수 있다. 직업적으로 납에 폭로되지 않은 일반 인구집단에서의 납에 대한 노출평가에 대한 외국의 보고에서도 80년대 이후 납에 대한 노출지표로서 혈중 납의 수준이 감소되고 있는 추세이다 (Bono *et al.*, 1995; Pirkle *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2000). 일반 인구집단에서 납에 노출되는 주된 경로는 오염된 공기, 물 및 식품 등에 의한 것으로 이해되고 있다. 국내에서 일반 지역주민들의 납에 대한 노출이 감소되는 요인으로서 80년대부터 무연휘발유의 사용에 의한 대기중 납 농도의 점차적인 감소와 무연페인트 안료의 사용 및 국민들의 보건수준 향상으로 오염된 물과 식품에 대한 노출 기회의 감소가 주요 요인으로 작용하였으리라 생각된다. 외국 주요 국가들의 일반 인구집단에서의 혈중 납의 수준은 중국의 경우 성인 남자에서 9.23 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 여자 7.16 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Qu *et al.*, 1993), 타이완 성인 6.8 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Wu *et al.*, 1997), 일본의 경우 성인 여성에서 2.02 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Zhang *et al.*, 2000), 프랑스 성인 남자 7.4 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 여자 4.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Leroyer *et al.*, 2001), 이탈리아 성인 남자 4.51 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 여자 3.06 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Apostoli *et al.*, 2002), 스웨덴 50세 이상의 성인에서 2.7 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Baecklund *et al.*, 1999) 및 미국의 가임 연령의 여성에서 1.78 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Lee *et al.*, 2005) 등으로 보고되었다. 이번 연구결과를 외국의 자료들과 비교해 볼 때 우리나라 일반 인구집단에서의 최근 납에 대한 노출은 여러 선진국이나 개발도상국들에 비해 높지 않은 수준으로 평가된다.

30세 이상의 성인을 대상으로 한 이번 연구에서 조사대상자들의 역학적 요인에 따른 평균 혈중 납 농도를 분석한 결과, 조사대상자들의 주거지역에 따라 차이가 있는 것으로 관찰되었다. 즉, 해안지역 주민들의 혈중 납 농도가 도시와 농촌지역 대상자들에 비해 높았다. 조사대상자들의 성별에 따른 평균 혈중 납 농도는 남자에서 여자에 비해 높았으나, 연령군에 따른 차이는 관찰되지 않았다. 개인의 생활습관으로서 흡연력이 있는 사람이 비흡연자에 비해 혈중 납 농도가 높았고, 음주력이 있는 사람이 비음주자에 비해 높은 것으로 관찰되었다. 조사대상자들의 직업군에 따른 혈중 납 농도는 어업에 종사하는 군에서 다른 직업군에 비해 높은 것으로 관찰되었다. 조사대상자의 거주지역에 따른 납 노출에 대한 연구에서 대중 교통수단이 혼잡한 도시 지역 주민이 농촌이나 어촌지역에 비해 혈중 납 농도가 높은 것으로 다수 보고된 바 있으나, 혈중 납 수준은 도시화 정도와 반비례하거나 지역에 따른 차이가 없다는 보고도 있다 (Liou *et al.*, 1996; Apostoli *et al.*, 2002). 이번 연구에서 해안지역주민들에서 도시 또는 농촌지역주민들에 비해 혈중 납 농도가 높게 관찰된 것에 대해서는 향후 좀 더 연구되어야 할 것으로 사료되나, 무연 휘발유의 사용으로 도시지역에서의 대기중 납에 대한 주 오염원의 절대적인 감소와 아직까지 농촌과 어촌지역에서의 운송수단 등에 이용되는 연료에 의한 공기오염도 한 요인으로 생각할 수 있다. 또한, 이번 조사대상자들의 주거지역의 특성에 따라 직업군이 뚜렷하게 구분되어 어업에 종사한 사람들에서 혈중 납 농도가 높은 것도 한 요인으로 작용하리라 사료된다. 어업에 종사하는 군에서 상대적으로 혈중 납 농도가 높게 관찰된 것은 주로 사용하고 있는 소형선박의 운행에 이용되는 연료에 의한 오염기회의 증가와 다량의 어패류 섭취 등과 같은 생활행태의 차이도 요인의 일부로 생각된다. 체내에서 축적효과가 있으며 반감기가 긴 중금속의 연령에 따른 체내 분포양상은 일반적으로 연령이 증가함에 따라 증가되다가 약 50~60세 이후에는 감소되는 것으로 알려져 있다. 이는 금속이온의 체내 반감기 또는 연령에 의한 코호트 효과로 일부 설명되고 있다 (Baecklund *et al.*, 1999; 박정덕 등, 2000). 이번 연구에서 조사대상자의 연령과 혈중 납 농도 간에는 직접적인 연관성이 관찰되지는 않았으나,

45~59세군에서 30~44세군에 비해 상대적으로 높은 수준으로 유지되다가 60세 이후군에서는 감소되는 것으로 관찰되어 이전의 연구자들이 보고한 연령에 따른 체내 분포양상과 비슷한 결과로 생각된다(Baecklund *et al.*, 1999). 개인의 생활행태로서 흡연 또는 음주력과 혈중 납 수준과의 관련성에 대한 연구결과는 여러 연구자들에 의한 이전 보고와 일치되는 결과이다(Watanabe *et al.*, 1985; Berode *et al.*, 1991; Leroyer *et al.*, 2001; Apostoli *et al.*, 2002).

남자에서 혈중 납 농도가 여자에 비해 높게 나타난 것은 성에 따른 생활행태의 차이와 직업 등 사회적인 노출기회가 남자가 여자보다 많은 것으로 일부 해석되고 있다(Qu *et al.*, 1988; Berode *et al.*, 1991; Liou *et al.*, 1996). 그러나 혈중 납의 약 90% 이상이 적혈구에 존재하므로 혈중 적혈구 수, 헤모글로빈 량 또는 헤마토크리트 수준에 따라 영향을 받을 수 있다(Baecklund *et al.*, 1999). 이번 연구의 조사대상자에서도 여자에 비해 남자에서 헤모글로빈과 헤마토크리트 및 적혈구 수가 높게 나타났으며, 혈중 납 농도도 이들 지표와 통계적으로 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 관찰되었다. 이러한 결과는 혈중 납 농도가 남자에서 여자보다 높은 것은 이들 지표가 한 요인으로 작용함을 시사한다. 이번 연구결과로부터 혈중 납 농도를 헤모글로빈으로 보정한 경우 남·녀간에 있어서 혈중 납 농도의 유의한 차이는 관찰되지 않았다(자료는 제시되지 않았음). 이번 연구결과에서 혈중 납 농도는 개인의 식이습관에 따라서도 영향을 받을 수 있는 것으로 관찰되어 남자에서는 버섯류의 섭취량과는 음의 상관 및 어패류 섭취와는 양의 상관, 그리고 여자에서 육류 섭취량과는 양의 상관성이 있는 것으로 관찰되었다. 그러나 이번 조사에서 24시간 회상법을 이용한 식이조사는 음식을 통한 장기간의 납 노출 정도를 정확히 평가하기에는 다소 제한점이 있을 것으로 사료된다.

이전의 역학조사와 동물실험에서 체내 철이 결핍된 경우 카드뮴 또는 납 등 유해 중금속의 체내 흡수와 혈중 농도가 높게 관찰된 바 있다(Six and Goyer, 1972; Ragan, 1977; Flanagan *et al.*, 1978; Bradman *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2002). 이는 철 결핍 시 소장에서 철뿐만 아니라 카드뮴과 납 등 2가 유해 중금속의 이동에도 관여하는 것으로 알려진

금속이동단백질(DMT1)의 발현이 증가됨으로서 장관내의 2가 금속이온들이 체내로의 흡수가 증가되는 것으로 이해되고 있다(Trinder *et al.*, 2000; Srai *et al.*, 2002). 체내에서 철의 결핍이 초래되는 경우는 외부로부터의 부적절한 철의 공급이나 철의 체내 요구량이 증가하는 경우이다. 우리나라의 경우 성장이 왕성한 유아 및 청소년에서 철 결핍이 아직까지 비교적 많은 편이며, 체내 철 요구량이 급격히 증가되는 임신부의 경우 철 결핍이 초래될 수 있는 위험군이 다수 존재한다. 철 결핍이 초래된 사람이 산업장 또는 환경오염지역에 거주하면서 체내 철이 정상 수준인 사람과 동일한 량의 유해 중금속에 노출되었을 때 상대적으로 체내로의 흡수량이 증가될 수 있어 공중보건학적으로도 관심이 요구되는 바이다. 30세 이상의 성인을 대상으로 한 이번 연구에서 조사대상자의 혈중 납 농도는 혈청 총 철 및 ferritin과는 양의 상관성이 있었고, UIBC 및 TIBC와는 유의한 관련성이 관찰되지 않았다. 이는 철 결핍 시 금속이동단백질의 발현 증가로 체내로의 납 흡수가 증가됨으로 인해 체내 철 수준과 혈중 납은 음의 상관성이 있을 것이라는 기대와는 다른 결과이다. 이와 같은 결과는 납에 특별히 폭로되고 있지 않은 성인에 있어서의 혈중 납 농도는 혈청 철 수준과 반비례적인 관계에 있지 않을 수 있음을 시사한다. 이는 이번 조사대상자의 체내 철수준이 대부분 정상범위에 있으며, 납에 대한 노출이 상대적으로 낮은 것도 한 요인으로 작용할 것으로 추정된다. 이번 연구결과를 요약하면, 우리나라에서 직업적으로 납에 노출되지 않는 일반 인구집단에 있어서 납에 대한 노출은 선진국이나 개발도상국에 비해 높지 않은 것으로 평가되며, 성인에서의 혈중 납 농도는 혈청 철 수준과 반비례적인 관계는 아니며 환경요인과 개인 생활행태 및 유전적인 요인에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

결 론

필수 금속(essential metals)과 유해 독성 금속간에는 체내의 흡수, 이동 및 축적에 있어서 상호작용(metal-metal interaction)이 있으며, 철 결핍(iron deficiency)은 유해금속인 납과 카드뮴의 흡수를 증

가시키는 것으로 알려져 있다. 체내 철과 납과의 관련성은 소아에서는 비교적 잘 이해되고 있으나, 아직까지 성인에 대한 자료와 이해는 부족한 실정이다. 이번 연구에서는 주거지역의 특성이 다르며 납에 특별히 노출된 적이 없는 30세 이상의 지역 주민 270명(남자: 118명, 여자: 152명)을 대상으로 혈중 납 농도를 평가하고, 납 노출 관련 인자 분석 및 체내 철 수준과의 관련성을 분석하였다. 조사대상자에 대한 설문조사와 혈액을 채취하였으며, 이때 24시간 회상법을 이용하여 식이를 조사하였다. 체내 철 수준은 Hb, Hct, RBC, 혈청 총 Fe, UIBC, TIBC 및 ferritin 등으로 평가하였고, 혈중 납은 원자흡광분광도계를 이용하여 flameless방법으로 분석하였다. 조사대상자들의 혈중 평균 납 농도는 3.31 µg/dL이었고, 남자(3.97 µg/dL)에서 여자(2.86 µg/dL)보다 높았다. 혈중 납은 거주지역과 흡연, 음주력, 직업력 및 식이행태에 따라 차이가 있었으나 연령에 따른 차이는 관찰되지 않았다. 성인에서 혈중 납은 혈청 총 철 및 ferritin과는 양의 관련성이 있는 것으로 관찰되었다. 이상의 연구결과를 종합해 볼 때, 우리나라 성인의 경우 납에 대한 노출은 다른 선진국이나 개발도상국에 비해 높지 않은 것으로 평가되며, 성인에서의 혈중 납은 소아에서와는 달리 혈청 철 수준과 반비례적인 관계는 아니며 환경요인과 생활행태 및 유전적인 요인 등에 복합적으로 영향을 받는 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- 고성군. 경남 고성군 병산마을 폐광산의 건강영향 조사, 고성군, 2004.
- 김동일, 김용규, 김정만, 정갑열, 김준연, 장형심, 이영호, 최안홍. 건강한 일부 도시지역 주민의 혈중 연 및 zinc protoporphyrin 농도. *예방의학회지* 1992; 25: 287-302.
- 김호현, 임영옥, 양지연, 호분기, 신동천. 도심지역 성인의 혈중 중금속 농도 분포. *환경독성학회지* 2004; 19: 327-333.
- 박정덕, 정규철. 한국인 젊은이의 혈중 연농도. *중양의대지* 1985; 10: 353-361.
- 박정덕, 최병선, 권일훈, 홍연표, 장임원. 한국인의 신장과 간장조직내 카드뮴함유량의 참고치. *산업의학회지* 2000; 12: 346-355.
- 신해림, 김준연. 연폭로 지표들의 정상치에 관한 연구. *예방의학회지* 1986; 19: 167-176.
- 이남희, 이종태, 신해림, 박인근, 이채연. 연취급 근로자의 혈중 연농도와 청력손실에 관한 연구. *대한산업의학회지* 1995; 7: 10-20.
- 정종학, 강복수, 김창윤, 이경수, 황태윤, 김규태, 박종서, 박시영, 김대섭, 임우택, 사공준. 경상북도 일부 폐금속광산 인근지역 주민들의 혈중 연, 요중 카드뮴 농도 및 건강영향조사. *대한산업의학회지* 2005; 17: 225-237.
- Alabdullah H, Bareford D, Braithwaite R and Chipman K. Blood lead levels in iron-deficient and noniron-deficient adults, *Clin Lab Haem* 2005; 27: 105-109.
- Andrews NC. Disorders of iron metabolism, *New Eng J Med* 1999; 341: 1986-1995.
- Apostoli P, Baj A, Bavazzano P, Ganzi A, Neri G, Ronchi A, Soleo L, Di LL, Spinelli P, Valente T and Minoia C. Blood lead reference values: the results of an Italian polycentric study, *Sci Total Environ* 2002; 287: 1-11.
- ATSDR. *Toxicological Profile for Lead*. Washington DC, U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999.
- Baecklund M, Pedersen NL, Bjorkman L and Vahter M. Variation in blood concentrations of cadmium and lead in the elderly, *Environ Res* 1999; 80: 222-230.
- Berode M, Wietlisbach V, Rickenbach M and Guillemin MP. Lifestyle and environmental factors as determinants of blood lead levels in a Swiss population, *Environ Res* 1991; 55: 1-17.
- Bono R, Pignata C, Scursatone E, Rovere R, Natale P and Gilli G. Updating about reductions of air and blood lead concentrations in Turin, Italy, following reductions in the lead content of gasoline, *Environ Res* 1995; 70: 30-34.
- Bradman A, Eskenazi B, Sutton P, Athanasoulis M and Goldman LR. Iron deficiency associated with higher blood lead in children living in contaminated environments, *Environ Health Perspect* 2001; 109: 1079-1084.
- Fernandez FJ. Micromethod for lead determination in whole blood by atomic absorption, with use of the graphite furnace, *Clin Chem* 1975; 21: 558-561.
- Flanagan PR, McLellan JS, Haist J, Cherian MG, Chamberlain MJ and Valberg LS. Increased dietary cadmium absorption in mice and human subjects with iron deficiency, *Gastroenterology* 1978; 74: 841-846.

- Goyer RA. Toxic and essential metal interactions, *Ann Rev Nutr* 1997; 17: 37-50.
- Gunshin H, Mackenzie B, Berger UV, Gunshin Y, Romero MF, Boron WF, Nussberger S, Gollan JL and Hediger MA. Cloning and characterization of a mammalian proton-coupled metal-ion transporter, *Nature* 1997; 388: 482-488.
- Kim H and Cho SH. Estimation of the geometric means and the reference values of blood lead levels among Koreans, *J Kor Med Sci* 1994; 9: 304-312.
- Lee MG, Chun OK and Song WO. Determinants of the blood lead level of US women of reproductive age, *J Am Coll Nutr* 2005; 24: 1-9.
- Leroyer A, Hemon D, Nisse C, Bazerques J, Salomez JL and Haguenoer JM. Environmental exposure to lead in a population of adults living in northern France: lead burden levels and their determinants, *Sci Total Environ* 2001; 267: 87-99.
- Liou SH, Wu TN, Chiang HC, Yang T, Yang GY, Wu YQ, Lai JS, Ho ST, Guo YL, Ko YC, Ko KN and Chang PY. Three-year survey of blood lead levels in 8828 Taiwanese adults, *Int Arch Occup Environ Health* 1996; 68: 80-87.
- Mahaffey KR. Biototoxicity of lead: influence of various factors, *Fed Proc* 1983; 42: 1730-1734.
- Park JD, Cherrington NJ and Klaassen CD. Intestinal absorption of cadmium is associated with divalent metal transporter I in rats, *Toxicol Sci* 2002; 68: 288-294.
- Pirkle JL, Kaufmann RB, Brody DJ, Hickman T, Gunter EW and Paschal DC. Exposure of the U.S. population to lead, 1991-1994, *Environ Health Perspect* 1998; 106: 745-750.
- Qu JB, Jin C, Liu YT, Yin SN, Watanabe T, Nakatsuka H, Seiji K, Inoue O and Ikeda M. Blood lead levels of the general populations of three Chinese cities, *Sci Total Environ*. 1988; 77: 35-44.
- Qu JB, Xin XF, Li SX and Ikeda M. Blood lead and cadmium in a general population in Jinan City, China, *Int Arch Occup Environ Health* 1993; 65: S201-S204.
- Ragan HA. Effects of iron deficiency on the absorption and distribution of lead and cadmium in rats. *J Lab Clin Med* 1977; 90: 700-706.
- Ryu DY, Lee SJ, Park DW, Choi BS, Klaassen CD and Park JD. Dietary iron regulates intestinal cadmium absorption through iron transporters in rats, *Toxicol Lett* 2004; 152: 19-25.
- Six KM and Goyer RA. The influence of iron deficiency on tissue content and toxicity of ingested lead in the rat, *J Lab Clin Med* 1972; 79: 128-136.
- Srai SK, Bomford A and McArdle HJ. Iron transport across cell membrane molecular understanding of duodenal and placental iron uptake, *Best Pract Res Clin Haematol* 2002; 15: 243-259.
- Trinder D, Oates PS, Thomas C, Sadleir J and Morgan EH. Localisation of divalent metal transporter I (DMT1) to the microvillus membrane of rat duodenal enterocytes in iron deficiency, but to hepatocytes in iron overload, *Gut* 2000; 46: 270-276.
- Watanabe T, Fujita H, Koizumi A, Chiba K, Miyasaka M and Ikeda M. Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers, *Arch Environ Health* 1985; 40: 170-176.
- Wright RO, Shannon MW, Wright RJ and Hu H. Association between iron deficiency and low-level lead poisoning in an urban primary care clinic, *Am J Public Health* 1999; 89: 1049-1053.
- Wu TN, Shen CY, Liou SH, Yang GY, Ko KN, Chao SL, Hsu CC and Chang PY. The epidemiology and surveillance of blood lead in Taiwan (ROC): a report on the PRESS-BLL project, *Int Arch Occup Environ Health* 1997; 69: 386-391.
- Yang JS, Kang SK, Park IJ, Rhee KY, Moon YH and Sohn DH. Lead concentrations in blood among the general population of Korea, *Int Arch Occup Environ Health* 1996; 68: 199-202.
- Zhang ZW, Moon CS, Shimbo S, Watanabe T, Nakatsuka H, Matsuda-Inoguchi N, Higashikawa K and Ikeda M. Further reduction in lead exposure in women in general populations in Japan in the 1990s, and comparison with levels in east and south-east Asia, *Int Arch Occup Environ Health* 2000; 73: 91-97.