

한국 성인에 있어서 식이를 통한 비소 노출 평가

임 룯¹⁾, 염현철¹⁾, 김동원¹⁾, 배혜선¹⁾, 안수주¹⁾,
류덕영²⁾, 최병선¹⁾, 박정덕^{1)*}

¹⁾중앙대학교 의과대학 예방의학교실, ²⁾서울대학교 수의과대학

Dietary Exposure Assessment of Arsenic in Korean Adults

Ruth Im¹⁾, Hyun-Cher Youm¹⁾, Dong-Won Kim¹⁾, Hye-Sun Bae¹⁾, Su-Ju Ahn¹⁾,
Doug-Young Ryu²⁾, Byung-Sun Choi¹⁾ and Jung-Duck Park^{1)*}

¹⁾Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Chung-Ang University
²⁾College of Veterinary Medicine, Seoul National University

ABSTRACT

Objectives : Arsenic (As) is ubiquitously distributed in the environment and has been known as a human carcinogen. The main source of arsenic exposure in general population is an oral route through As-contaminated water and foods. This study was performed to estimate the daily intake of As from diet and associated factors in Korean adults.

Methods : We investigated 590 adults, 249 males and 341 females, with age of 20 years and older, who had not been exposed to the As occupationally. Study subjects were interviewed for demographic characteristics, lifestyles and diets during the last 24 hours. The estimation of As intake daily was based on amount of food consumption and As concentration in each food by using database of As concentrations in 117 food species.

Results : Daily As intake was estimated as 56.46 $\mu\text{g}/\text{day}$, 56.60 $\mu\text{g}/\text{day}$ in male and 56.36 $\mu\text{g}/\text{day}$ in female. As intake was not significant from sex, age group, smoking and alcoholic habits, while was by occupation with the most intake of As in fishery. The daily As intakes was positively correlated with the total food consumption, specifically related with fishes and shellfishes, seaweeds, oils, grains and flavors. About 75% of As intake from diet was contributed by seafoods, such as 32.07 $\mu\text{g}/\text{day}$ from fishes & shellfishes and 10.05 $\mu\text{g}/\text{day}$ from seaweeds. However, it is necessary to evaluate if the dietary As intake affects on the levels of As in the body.

Conclusions : The amount of As intake daily in Korean adults was estimated as 56.46 $\mu\text{g}/\text{day}$, and is determined mainly by diet behavior. The seafoods, such as fishes & shellfishes and seaweeds, is major source of As exposure from diet in Korean.

Key words : Arsenic (As), Daily intake, Lifestyles, Seafoods, Korean adults

접수일: 2010년 12월 9일, 채택일: 2010년 12월 20일

*Corresponding author:

Tel: +82-2-820-5668, Fax: +82-2-815-9509

E-mail: jdpark@cau.ac.kr

서 론

비소(Arsenic)는 다양한 형태의 화합물로서 지하에서 광범위하게 존재하는 주요 환경오염물질이다. 비소는 인간발암물질(human carcinogen, IARC Group I)로 분류되어 있을 뿐만 아니라 피부질환, 심혈관계질환, 호흡기계질환, 소화기계질환, 신경계질환 등 인체에 위해성이 높은 금속물질로서 알려져 있다[1].

비소는 반도체 산업, 유리제품 생산, 합금 등 다양한 산업장에서 사용되고 있으며, 1940년대부터 살충제, 제초제 등에도 사용되었으나 1960년대부터 농약에서의 비소 사용이 사라지기 시작되면서 사용이 중단되었다[2,3]. 또한 비소는 의학분야에서도 오래 전부터 사용되었으며 최근까지 acute promyelocytic leukemia (APL)의 치료제로도 사용되었다[4-6]. 과거 놀이기구, 책상, 울타리, 바닥재 등에 방부제로서 비소화합물인 copper chrome arsenic (CCA)의 사용은 생활환경 중에서의 비소 노출원의 하나이다[7].

비소의 인체노출 경로는 경구, 호흡기 및 피부 등이다. 그러나 피부를 통한 비소의 인체노출은 매우 미미하다. 이 중 비소에 직업적으로 노출되고 있지 않은 일반인들에게 있어서 비소의 주요 노출원은 비소에 오염된 물과 토양 및 농·수산식품 등 식이에 의한 경구노출이다. 오염된 물과 공기를 통한 비소 노출은 주로 3가와 5가의 무기비소형태이나, 특별히 비소에 노출되지 않은 일반 인구집단에서의 비소 섭취는 비소 함유량이 높은 생선과 해산물 등 수산식품을 통해 노출되는 비소로서 주로 유기화합물 형태의 비소이다[8]. 우리나라는 3면이 바다로서 일상 식생활에서 어패류와 해조류 등 수산식품의 섭취를 통한 비소 노출이 많을 것으로 사료된다. 비소의 독성은 비소의 형태에 따라 차이가 있는데 주로 무기비소(Arsenite, Arsenate)가 유기비소(Arsenobetaine, Arsenocholine, Arsenosugars)에 비해 독성이 강하며, 3가 비소가 5가 비소에 비해 독성이 강하다[1]. 따라서 인구집단에서 비소에 노출되는 노출원에 따라 비소의 독성이 다르게 나타날 수 있다.

인체의 비소에 대한 노출정도는 식이섭취 조사를 통한 외적 노출(external exposure)과 체내 생물학적 지표를 이용한 내적 노출(internal exposure) 수준을 평가할 수 있다. 식이를 통한 노출 평가는 조사 전 24시간 동안 조사대상자가 섭취한 총 식이를 조사

하는 24시간 회상법(24 hour recall method)이 많이 사용되고 있다. 비소의 생물학적 노출 평가는 요, 혈액 및 머리카락·손톱·발톱 중 비소농도가 이용되고 있다. 이 중 요중 비소는 가장 널리 이용되는 노출지표로서 비교적 최근의 비소에 대한 노출 정도를 잘 반영한다. 머리카락·손톱·발톱은 비교적 과거의 비소노출을 반영하는 지표로 이용되며, 혈중 비소는 최근 고농도의 비소 노출 평가에 이용될 수 있으나 일반 인구집단에서의 노출 평가 지표로서는 그 유용성이 제한적이다[3,9].

한국인에 있어서 비소에 의한 인체 위해성 평가를 위해서는 우선적으로 노출수준에 대한 역학적 자료가 요구된다. 따라서 직업적으로 비소에 노출되지 않는 일반 인구집단에 있어서 비소에 대한 노출수준 평가에 있어서는 주된 노출원인 식이를 통한 노출량의 평가가 우선적이다. 지금까지 국내에서도 여러 연구자들에 의해 한국인의 비소 섭취량에 대한 자료가 보고되었으나[10-16], 지역사회 인구집단을 대상으로 조사대상자들의 인구학적 요인이나 생활행태 등에 따른 비소 노출수준 평가 자료는 매우 부족한 실정이다. 이번 연구에서는 직업적으로 비소에 노출되지 않은 성인을 대상으로 식이를 통한 1일 비소 섭취량을 추정하여 식이를 통한 노출수준을 평가하고, 조사대상자들의 성, 연령 등 인적요인과 음주, 흡연, 직업 등 생활행태 및 식이양상 등 역학적 요인들과의 관련성을 분석하였다.

연구대상 및 방법

1. 조사대상자

임의로 선정한 도시지역 2개의 시와 농촌지역의 2개 군 및 2곳의 어촌지역을 대상으로 하였다. 조사대상지역에 거주하고 있으며 직업적으로 비소에 노출된 적이 없는 일반 인구집단을 대상으로 연구 목적, 조사방법과 내용 및 진행절차 등을 설명하고, 조사에 참여하기로 동의한 20세 이상의 성인을 대상으로 하였다. 조사에 동의하는 경우 미리 작성된 연구 참여 동의서를 이용하여 다시 보완 설명을 한 후 자필 서명한 사람을 조사대상자로 선정하였다. 조사에 참여한 사람은 남자 249명, 여자 341명으로서 총 590명을 조사대상자로 하였다.

2. 설문조사

연구의 목적에 따라 작성된 설문지를 이용하여 미리 훈련된 연구원들이 개인 면접을 통하여 설문 조사하였다. 설문내용은 일반 인구학적 특징, 흡연과 음주 등 생활습관, 24시간 회상법을 이용한 식이설문 등을 포함하였다. 24시간 회상 식이 설문조사는 조사 전날 24시간 동안 아침, 점심, 저녁식사를 중심으로 시간대별로 간식을 포함하여 섭취한 식품 또는 음식의 종류와 각각의 섭취량 등 모든 식이 내용을 조사하였다. 이때 식이섭취에 대한 조사를 표준화하기 위하여 미리 준비한 그릇모형, 음식사진 등을 이용하여 조사대상자가 섭취한 음식의 종류와 양을 정확하게 기억해 낼 수 있도록 유도하였다.

3. 식이에 의한 비소 섭취량 추정

조사대상자들의 조사 전 24시간 동안의 식이를 통한 비소 섭취량을 추정하였다. 조사대상자들이 섭취한 식품별 섭취량은 국내 다소비 식품을 중심으로 117종의 식품을 이용한 설문조사 자료로부터 산출하였다. 이때 식이조사에서 이용된 117종 식품들 중 비소 함유량은 국내에서 보고된 각 식품 중 비소 함유량에 관한 15편의 논문으로부터 얻었다. 이번 연구에서 이용된 15편의 논문은 최근 10년간 발표된 논문을 우선순위로 하고 학진 등재유무, 자

료의 대표성 등을 고려하여 최종 선정하였다. 117종의 식품류는 곡류, 서류, 당류, 두류, 채소류, 과일류, 육류, 어패류, 해조류, 유지류, 우유류, 음료류, 조미료류, 난류 및 기타 등의 16개 식품군으로 분류하였다. 조사대상자의 1인당 1일 총 비소 섭취량 ($\mu\text{g}/\text{day}$)과 개인별 체중으로 보정한 체중 kg 당 1일 총 비소 섭취량 ($\mu\text{g}/\text{kg body weight}/\text{day}$)은 식품별 1일 섭취량 (g)과 식품 중 비소 함유량 (mg/kg)으로부터 산출하였다.

4. 자료정리 및 분석

조사대상자들로부터 24시간 회상법으로 조사된 식이섭취자료는 CAN-Pro 3.0(한국영양학회)을 이용하여 섭취한 식품으로부터 1일 총 에너지 섭취량과 식품별 섭취량을 분석하였다. 조사 결과 얻은 자료는 엑셀을 이용하여 정리하였고, 통계적 분석은 SPSS (SPSS INC., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 식이 섭취량과 식이 중 비소 섭취량은 평균± 표준편차로 표시하였고, 평균치 비교는 t-검정 또는 ANOVA를 사용하였으며 Duncan 사후분석을 시행하였다. 범주형 자료는 빈도와 분율로 나타내었고 chi-square 검정을 이용하여 분포를 비교하였다. 식이와 비소 섭취량과의 관련성은 Pearson의 상관분석을 이용하였다. 분석된 자료의 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 평가하였다.

Table 1. Characteristics of the study subjects

Group	Male (n=249)	Female (n=341)	Total (n=590)	Statistics	
Age (years)	~ 39	23 (9.2%)	44 (12.9%)	67 (11.4%)	$\chi^2=2.19$
	40~59	109 (43.8%)	150 (44.0%)	259 (43.9%)	
	60~	117 (47.0%)	147 (43.1%)	264 (44.7%)	
	Average	57.2 ± 13.7	56.4 ± 14.6	56.7 ± 14.3	t=0.66
Smoking	Current	100 (40.2%)	10 (2.9%)	110 (18.6%)	$\chi^2=292.59^\dagger$
	Ex-smoker	81 (32.5%)	8 (2.4%)	89 (15.1%)	
	None	68 (27.3%)	323 (94.7%)	391 (66.3%)	
Alcohol drinking	Yes	190 (76.3%)	126 (37.0%)	316 (53.4%)	$\chi^2=89.61^\dagger$
	No	59 (23.7%)	215 (63.1%)	274 (46.4%)	
Occupation	Officer	44 (17.7%)	33 (9.7%)	77 (13.1%)	$\chi^2=58.58^\dagger$
	Farmer	85 (34.1%)	57 (16.7%)	142 (24.1%)	
	Fishery	48 (19.3%)	48 (14.1%)	96 (16.3%)	
	Service	22 (8.8%)	43 (12.6%)	65 (11.0%)	
	Simple labor	50 (20.1%)	160 (46.9%)	210 (35.6%)	

* $p < 0.05$, $^\dagger p < 0.01$.

연구 결과

1. 조사대상자들의 인구학적 특성

이번 조사대상자는 남자 249명, 여자 341명으로 총 590명이었고 연령, 흡연력, 음주력, 직업력 등 인구학적 특성은 Table 1과 같다. 즉 전체 조사대상자들의 평균 연령은 56.7세 이었고, 성별로는 남자 57.2세, 여자 56.4세로서 남녀 간 차이는 없었다. 연령별로는 40세 미만 11.4%, 40~59세 43.9%, 60세 이상 44.7%이었고, 성별에 따른 연령분포의 차이는 관찰되지 않았다. 흡연력은 남자의 경우 현재 흡연자 40.2%, 과거흡연자 32.5%, 비흡연자 27.3%이었으나, 여성에서는 대부분 비흡연자로서 94.7%를 차지하였다. 음주력은 남자에서 76.3%로서 여자에서의 37.0%보다 높았다. 조사대상자들의 직업분포를 보면 남자에서는 농업인구가 34.1%로 가장 많았고 단순노무 20.1%, 어업 19.3%, 사무직 및 기능원 17.7%, 서비스 8.8% 등 이었고, 여자에서는 단순노무 및 주부 46.9%, 농업인구 16.7%, 어업 14.1%, 서비스 12.6%, 사무직 및 기능원 9.7% 등으로서 남

녀 간에 직업력 분포는 차이가 있었다.

2. 조사대상자들의 식이행태

조사대상자들의 식품군별 1일 평균섭취량은 Table 2와 같다. 즉, 조사대상자들의 1일 평균 에너지 섭취량과 총 식품 섭취량은 남자에서 1779.1 kcal와 1285.7 g, 여자 1461.6 kcal 및 1085.1 g로서 남자가 여자보다 많이 섭취하였다($p < 0.01$). 식품군별로 볼 때 곡류, 종실류, 채소류, 육류 및 기타 식품은 남자가 많이 섭취하였고, 우유류는 여자가 많이 섭취하는 것으로 나타났다.

3. 식이를 통한 1일 총 비소 섭취량

이번 연구에서 조사대상자들이 식이를 통해 섭취한 식품군별 총 비소 섭취량은 Table 3과 같다. 즉, 조사대상자들의 식이를 통한 1일 평균 총 비소 섭취량은 56.46 $\mu\text{g/day}$, 0.93 $\mu\text{g/kg/day}$ 이었고, 성별로는 남자 56.60 $\mu\text{g/day}$, 0.84 $\mu\text{g/kg/day}$, 여자 56.36 $\mu\text{g/day}$, 0.99 $\mu\text{g/kg/day}$ 로서 성별에 따른 총 비소 섭취량의 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 각 식품군에 따른 1일 총 비소 섭취량은 어패류를 통한 섭취량이

Table 2. Daily intakes of each food group in the study subjects

(Unit: g/day)

Group	Male (n=249)	Female (n=341)	Total (n=590)	Statistics
Grains	269.6 ± 89.8	229.9 ± 105.2	246.6 ± 100.8	t=4.93 [†]
Potatoes	32.1 ± 71.7	35.4 ± 78.3	34.0 ± 75.5	t=-0.52
Sugars	6.8 ± 9.4	5.8 ± 13.1	6.2 ± 11.6	t=1.13
Pulse	45.3 ± 58.8	34.8 ± 54.9	39.3 ± 56.4	t=2.23*
Seeds	2.2 ± 7.7	1.6 ± 7.5	1.9 ± 7.6	t=1.01
Vegetables	323.1 ± 219.2	256.1 ± 170.9	284.3 ± 195.4	t=4.01 [†]
Fruits	152.9 ± 355.9	171.7 ± 343.2	163.8 ± 348.4	t=-0.65
Meats	73.5 ± 134.9	43.9 ± 69.2	56.4 ± 103.1	t=3.17 [†]
Fishes and shellfishes	60.2 ± 91.1	51.8 ± 78.8	55.3 ± 84.2	t=1.17
Seaweeds	2.4 ± 7.4	3.3 ± 9.1	2.9 ± 8.4	t=-1.39
Oils	4.6 ± 6.5	5.2 ± 6.7	5.0 ± 6.6	t=-0.95
Milks	36.2 ± 78.2	68.4 ± 138.6	54.8 ± 118.0	t=-3.58 [†]
Beverages	100.6 ± 175.5	76.9 ± 244.7	86.9 ± 218.3	t=1.37
Condiments	30.1 ± 25.1	26.8 ± 23.4	28.1 ± 24.2	t=1.62
Eggs	12.5 ± 28.1	13.1 ± 28.3	12.9 ± 28.2	t=-0.27
Others	133.7 ± 369.0	60.5 ± 203.0	91.4 ± 287.1	t=3.08 [†]
Total food intake	1285.7 ± 674.1	1085.1 ± 616.9	1169.8 ± 648.7	t=3.75 [†]
Energy (kcal/day)	1779.1 ± 661.1	1461.6 ± 606.9	1595.6 ± 649.1	t=6.04 [†]

* $p < 0.05$, [†] $p < 0.01$, data presented as mean and standard deviation.

Table 3. Daily intakes of total arsenic from each food group in the study subjects (Unit: $\mu\text{g As/day}$)

Group	Male (n=249)	Female (n=341)	Total (n=590)	Statistics
Grains	9.35 ± 4.51 (16.5%)	8.00 ± 4.60 (14.2%)	8.57 ± 4.61 (15.2%)	t=3.54 [†]
Potatoes	1.36 ± 3.05 (2.40%)	1.50 ± 3.24 (2.7%)	1.44 ± 3.16 (2.6%)	t=-0.56
Sugars	0.003 ± 0.004 (0.01%)	0.003 ± 0.006 (0.01%)	0.003 ± 0.006 (0.01%)	t=1.01
Pulse	1.46 ± 1.94 (2.6%)	1.11 ± 1.70 (1.9%)	1.26 ± 1.81 (2.2%)	t=2.22*
Seeds	0.15 ± 0.53 (0.3%)	0.04 ± 0.13 (0.07%)	0.09 ± 0.36 (0.2%)	t=2.92 [†]
Vegetables	0.53 ± 0.39 (0.9%)	0.46 ± 0.34 (0.8%)	0.49 ± 0.37 (0.9%)	t=2.24*
Fruits	0.57 ± 1.51 (1.0%)	0.69 ± 1.55 (1.2%)	0.64 ± 1.53 (1.1%)	t=-0.95
Meats	0.13 ± 0.23 (0.2%)	0.11 ± 0.18 (0.2%)	0.12 ± 0.20 (0.2%)	t=1.16
Fishes and shellfishes	29.97 ± 72.69 (52.9%)	33.61 ± 99.83 (59.6%)	32.07 ± 89.34 (56.8%)	t=-0.51
Seaweeds	11.96 ± 46.69 (21.1%)	8.66 ± 23.69 (15.4%)	10.05 ± 35.28 (17.8%)	t=1.02
Oils	0.002 ± 0.003 (0.01%)	0.003 ± 0.003 (0.01%)	0.002 ± 0.003 (0.01%)	t=-0.96
Milks	0.65 ± 0.58 (1.2%)	1.75 ± 4.92 (3.1%)	1.28 ± 4.13 (2.3%)	t=-3.50 [†]
Beverages	0.06 ± 0.11 (0.1%)	0.05 ± 0.16 (0.09%)	0.05 ± 0.14 (0.09%)	t=1.10
Condiments	0.32 ± 0.26 (0.6%)	0.30 ± 0.30 (0.5%)	0.31 ± 0.28 (0.6%)	t=1.10
Eggs	0.009 ± 0.02 (0.02%)	0.01 ± 0.02 (0.02%)	0.01 ± 0.02 (0.02%)	t=-0.21
Others	0.08 ± 0.29 (0.1%)	0.05 ± 0.31 (0.09%)	0.06 ± 0.30 (0.1%)	t=1.17
Total ($\mu\text{g As/day}$)	56.60 ± 88.74 (100.0%)	56.36 ± 102.30 (100.0%)	56.46 ± 96.73 (100.0%)	t=0.03
($\mu\text{g As/kg/day}$)	0.84 ± 1.22	0.99 ± 1.87	0.93 ± 1.63	t=-1.17

* $p < 0.05$, [†] $p < 0.01$, data presented as mean and standard deviation.

Table 4. Daily intakes of total arsenic by age and life-styles in the study subjects

Group	Male		Female		Total		
	($\mu\text{g As/day}$)	($\mu\text{g As/kg/day}$)	($\mu\text{g As/day}$)	($\mu\text{g As/kg/day}$)	($\mu\text{g As/day}$)	($\mu\text{g As/kg/day}$)	
Age (years)	~ 39	61.76 ± 65.23	0.91 ± 1.00	57.92 ± 67.66	1.01 ± 1.16	59.24 ± 66.36	0.98 ± 1.10
	40 ~ 59	65.35 ± 114.28	0.94 ± 1.50	63.09 ± 120.13	1.05 ± 2.13	64.04 ± 117.48	1.00 ± 1.89
	60 ~	47.43 ± 60.87	0.74 ± 0.94	49.02 ± 90.51	0.92 ± 1.77	48.32 ± 78.63	0.84 ± 1.46
	Statistics	F=1.19	F=0.78	F=0.71	F=0.16	F=1.76	F=0.66
Smoking	Current	61.61 ± 106.22	0.90 ± 1.41	53.36 ± 90.76	0.92 ± 1.58	71.96 ± 135.00	1.15 ± 2.31
	Ex-smoker	53.05 ± 66.58	0.82 ± 1.01	175.40 ± 289.02	3.54 ± 5.82	50.86 ± 64.13	0.79 ± 0.98
	None	53.46 ± 84.37	0.79 ± 1.17	53.36 ± 90.76	0.92 ± 1.58	53.38 ± 89.58	0.90 ± 1.51
	Statistics	F=0.27	F=0.19	F=7.48 [†]	F=10.35 [†]	F=1.76	F=1.37
Alcohol drinking	Yes	56.94 ± 87.91	0.84 ± 1.20	43.03 ± 41.16	0.74 ± 0.68	51.39 ± 73.19	0.80 ± 1.03
	No	55.51 ± 92.09	0.83 ± 1.30	64.17 ± 124.38	1.14 ± 2.29	62.31 ± 118.07	1.08 ± 2.12
	Statistics	t=-0.11	t=-0.08	t=2.29	t=2.37	t=1.33	t=1.91
Occupation	Officer	55.88 ± 75.50	0.81 ± 1.09	57.65 ± 71.10	0.96 ± 1.11	56.64 ± 73.17	0.87 ± 1.09
	Farmer	40.83 ± 47.23	0.62 ± 0.72	60.57 ± 92.62	1.10 ± 1.56	48.76 ± 69.50	0.81 ± 1.15
	Fishery	77.49 ± 138.11	1.11 ± 1.78	101.52 ± 222.09	1.80 ± 4.14	89.51 ± 184.35	1.45 ± 3.19
	Service	74.85 ± 78.56	1.06 ± 1.08	55.25 ± 65.59	0.92 ± 1.05	61.88 ± 70.25	0.97 ± 1.05
	Simple labor	55.96 ± 95.28	0.89 ± 1.36	41.34 ± 42.10	0.72 ± 0.76	44.82 ± 59.29	0.76 ± 0.94
	Statistics	F=1.58	F=1.49	F=3.32*	F=3.15*	F=3.91 [†]	F=3.26 [†]

* $p < 0.05$, [†] $p < 0.01$, data presented as mean and standard deviation.

32.07 $\mu\text{g/day}$ 로서 가장 많았고, 해조류 10.05 $\mu\text{g/day}$, 곡류 8.57 $\mu\text{g/day}$ 등 순이었다. 즉, 식품 섭취를 통해

노출되는 비소의 약 75%가 어패류와 해조류 등의 수산식품을 통해 노출되었으며, 곡류, 서류, 종실류

등 농작물을 통해 약 20%가 노출되는 것으로 나타났다.

4. 조사대상자들의 인구학적 요인에 따른 1일 총 비소 섭취량

조사대상자들의 성별, 연령, 흡연, 음주, 직업 등의 인구학적 요인과 생활형태에 따른 1일 총 비소 섭취량은 Table 4와 같다. 즉, 조사대상자들의 연령군에 따른 1일 총 비소 섭취량은 남자의 경우 40세 미만군에서는 61.76 µg/day이었고 40~59세군에서는 65.35 µg/day로서 다소 증가되었으나 60세 이상군에서 47.43 µg/day로 감소되었다. 여자에서도 40세 미만군 57.92 µg/day, 40~59세군 63.09 µg/day, 60세 이상군 49.02 µg/day로서 남자와 비슷한 양상이었다. 그러나 1일 평균 총 비소 섭취량은 남자와 여자 모두에서 연령군에 따른 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 1일 총 비소 섭취량은 흡연 및 음주행태에 따라서도 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 조사대상자들의 사회적 활동영역이 비교적 잘 반영 될 수 있는 직업에 따른 1일 총 비소 섭취량은 전체 조사대상자 중 어업종사자 89.51 µg/day, 서비스업 61.88 µg/day, 사무직 및 기능원 56.64 µg/day, 농업종사자 48.76 µg/day, 단순노무 및 주부 44.82 µg/day 등 순으로서 어업종사자에서 기타 직업군에 비해 식이를 통한 총 비소 섭취량이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < 0.01$). 성별로도 남, 여 모두에서 어업종사자에서 가장 높게 관찰되었다.

5. 식이와 총 비소 섭취량과의 관련성

조사대상자들의 1일 총 비소 섭취량과 식품군별 식품섭취량 간의 관련성을 분석한 결과 Table 5와 같다. 즉, 식이를 통한 1일 총 비소 섭취량은 남자에서는 에너지 섭취량 및 총 식이 섭취량과 유의한 양의 관련성이 있었다. 식품군에 따라서는 어패류의 섭취량($r=0.743$)이 1일 총 비소 섭취량과 가장 높은 양의 상관성이 있었으며, 해조류($r=0.514$)와 유지류($r=0.354$)의 섭취량과도 유의한 관련성이 있는 것으로 관찰되었다. 여자에서는 에너지 섭취량과 유의한 양의 상관성이 있으며 식품군에 따라서는 남자에서와 같이 어패류의 섭취량($r=0.768$)이 1일 총 비소 섭취량과 가장 높은 양의 상관성이 있었으며,

Table 5. Pearson's correlation coefficients between total arsenic intakes and food intakes from each food group in the study subjects

Food groups	Male	Female	Total
Energy (kcal)	0.215 [†]	0.177 [†]	0.186 [†]
Total food intakes	0.131*	0.106	0.114*
Grains	0.04	0.117*	0.089*
Potatoes	0.01	-0.018	-0.008
Sugars	0.06	0.023	0.033
Pulse	0.04	-0.045	-0.010
Seeds	-0.07	0.002	-0.024
Vegetables	-0.04	-0.018	-0.028
Fruits	0.03	-0.036	-0.011
Meats	-0.07	0.011	-0.030
Fishes and shellfishes	0.743 [†]	0.768 [†]	0.749 [†]
Seaweeds	0.514 [†]	0.244 [†]	0.335 [†]
Oils	0.354 [†]	0.122*	0.210 [†]
Milks	0.119	0.042	0.060
Beverages	-0.054	-0.006	-0.021
Condiments	0.064	0.115*	0.094*
Eggs	0.048	-0.032	-0.001
Others	0.039	0.006	0.022

* $p < 0.05$, [†] $p < 0.01$.

해조류($r=0.244$), 유지류($r=0.122$), 곡류($r=0.117$) 및 조미료류($r=0.115$) 등의 섭취량과도 유의한 관련성이 있는 것으로 나타났다.

고 찰

이번 연구에서는 특별히 비소에 노출된 적이 없는 590명(남자 249명, 여자 341명)의 일반 인구집단을 대상으로 식이를 통한 1일 비소 총 섭취량을 추정하였고, 인구학적 요인과 생활행태 및 식이습관 등에 따른 비소 섭취량을 분석하였다. 이번 조사에서 한국 성인의 식이를 통한 1일 총 비소 섭취량은 56.46 µg/day, 0.93 µg/kg/day이었고, 성별로는 남자 56.60 µg/day, 0.84 µg/kg/day, 여자 56.36 µg/day, 0.99 µg/kg/day이었다. 본 연구에서 1일 총 비소 섭취량은 총 에너지 및 식품 섭취량과는 유의한 양의 상관성이 있었고, 식품군에 따라서는 어패류, 해조류, 유지류, 곡류 및 조미료류와 유의한 관련이 있었다. 이번 조사에서 식이를 통한 1일 총 비소 섭취량의 56.8%는 어패류를 통해 섭취되었으며, 해조류 17.8%, 곡류 15.2%로서 일반 인구집단에서 주

로 식이를 통해 노출되는 비소의 주요 노출원은 수산식품인 것으로 나타났다. 또한 아시아 국가의 주된 섭취식품인 곡류도 비소의 노출원으로서 어느 정도 기여를 하는 것으로 해석된다. 조사대상자들의 성별, 연령 및 흡연과 음주 등 생활행태에 따른 1일 총 비소 섭취량은 통계적으로 차이가 없었다. 반면 직업력에 따른 1일 총 비소 섭취량은 어업종사자에서 89.51 $\mu\text{g}/\text{day}$ 로서 다른 직업군보다 높게 나타났다. 이는 수산식품을 자주 접할 수 있는 직업적 특성에 따라 영향을 받는 것으로 사료된다. 이와 같은 결과를 종합하여 볼 때, 식이를 통한 1일 총 비소 섭취량은 주로 개개인의 식이행태에 의해 영향을 받으며 수산식품이 비소노출의 주된 원인인 것으로 판단된다.

한국인의 1일 총 비소 섭취량은 국내 보고된 자료에 따라 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 보고자마다 연구대상자의 연령분포 및 적용된 식품의 종류와 수, 식품 중 비소 함유량 참고치의 추정방법 및 식품 중 비소 함유량 분석방법과 분석계절 등의 차이에 일부 기인하는 것으로 사료된다. 즉, 이번 연구결과에서 추정된 식이를 통한 1인당 1일 총 비소 섭취량을 그동안 국내에서 실시된 전국의 전 연령층을 연구대상자로 한 국민건강영양조사에서 얻은 자료를 이용하여 식품의약품안전청(KFDA)에서 매년 보고된 총 식이조사 보고 자료와 비교해 볼 때, 2000년의 119 $\mu\text{g}/\text{day}$ [10]과 2004년도 자료의 125 $\mu\text{g}/\text{day}$ [14]를 제외하고는 38.5 $\mu\text{g}/\text{day}$, 39.0 $\mu\text{g}/\text{day}$, 42.3 $\mu\text{g}/\text{day}$, 9.0 $\mu\text{g}/\text{day}$, 26.5 $\mu\text{g}/\text{day}$ [11-13,15,16]로서 본 연구결과가 다소 높거나 비슷한 수준이어서 우리나라 성인의 식이를 통한 총 비소 섭취량의 추정자료로서 적절한 것으로 판단된다. 국외 자료와의 비교에 있어서도 각 국가별 비소 섭취량은 각 연구자의 연구설계, 분석방법 등에 따라 다양하므로 직접적인 비교에 있어서 다소 제한적이나 우리나라 성인의 식이를 통한 비소노출량은 수산식품 섭취량이 높은 일본(182 $\mu\text{g}/\text{day}$, [17]), 중국(220 $\mu\text{g}/\text{day}$, [18])이나 스페인(286 $\mu\text{g}/\text{day}$, [19]), 노르웨이(101 $\mu\text{g}/\text{day}$, [20]), 프랑스(109 $\mu\text{g}/\text{day}$, [21]) 등 유럽 국가들에 비해서는 낮은 수준이나 캐나다(38.1 $\mu\text{g}/\text{day}$, [22]), 벨기에(11.5 $\mu\text{g}/\text{day}$, [23]), 네덜란드(38 $\mu\text{g}/\text{day}$, [24]), 인도(10 $\mu\text{g}/\text{day}$, [25]) 및 미국(2~92 $\mu\text{g}/\text{day}$, [26]) 등에 비해서는 다소 높은 것으로 판단된다.

식을 통한 비소 노출의 참고치로서 FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가 위원회(JECFA, FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives)는 비소의 주간잠정섭취허용량(PTWI: provisional tolerable weekly intake)으로서 무기비소의 경우 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week, 총 비소는 350 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week을 제시하고 있다 [27]. 본 연구의 한국 성인 1일 총 비소 섭취량으로부터 산출한 주간 잠정 섭취량은 6.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week로서 JECFA의 안전기준인 PTWI 총 비소 350 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week와 비교해 볼 때, 우리나라 성인에 있어서 식이를 통한 총 비소에 대한 노출은 상대적으로 안전한 것으로 나타났다. 이번 연구에서 얻은 식이를 통한 비소 노출량은 지역주민들을 대상으로 한 역학조사에서 개인면접에 의해 얻어진 개개인의 식품섭취량을 근거로 추정된 대표값으로서 그 의의가 있다고 할 수 있다. 그러나 이번 조사에서 이용된 24시간 회상법에 의한 식이조사는 조사 전 1일간의 식이섭취만이 반영되었으며 건강기능식품 및 한약제 등을 통한 섭취는 반영되지 않은 제한점이 있다. 또한 직업적으로 비소에 노출되지 않은 일반인구집단에서 음용수는 주요 비소 노출원이 될 수 있으나 이번 연구에서 음용수를 통한 노출량은 고려되지 못하였다. 향후 비소의 인체 위해성 평가를 위해서는 다양한 노출원을 반영한 우리나라 사람들에서 비소의 총 외부 노출량의 평가가 요구되며, 이런 외부 노출 수준 및 식품군에 따른 비소 섭취량을 내부 노출 수준을 반영하는 요 중 비소 및 비소의 형태에 따른 분리·정량자료와 비교·분석해 봄으로써 한국인에 있어서 비소에 대한 노출과 그 위해성을 평가할 수 있는 기본 자료가 마련 될 수 있을 것으로 기대된다.

요약하면, 이번 연구에서 비소에 특별히 노출되지 않은 일반인구집단에서 식이를 통한 비소에 대한 노출은 주로 수산식품 섭취에 기인된 것으로서 개개인의 비소 노출수준은 개인의 식이행태와 밀접한 관련성이 있을 것으로 판단되며, 우리나라 성인의 경우 식이를 통한 총 비소에 대한 노출량은 상대적으로 안전한 수준인 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재

원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임. (#2008-0061280)

참 고 문 헌

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for arsenic. Atlanta: GA. ATSDR; 2007.
- Sanok WJ, Ebel JG Jr, Manzell KL, Gutenmann WH, Lisk DJ. Residues of arsenic and lead in potato soils on Long Island. *Chemosphere* 1995; 30(4): 803-806.
- World Health Organization. Environmental Health Criteria 224: Arsenic and Arsenic Compounds. 2nd ed. Geneva: WHO; 2001.
- Miller M. Scientists explore use of arsenic in therapy. *J Natl Cancer Inst* 1998; 90(24): 1866-1867.
- National Research Council. Arsenic in Drinking Water. NRC. Washington DC: National Academy Press; 1999.
- Wang ZY. Arsenic compounds as anticancer agents. *Cancer Chemother Pharmacol* 2001; 48(Suppl 1): S72-S76.
- Shalat SL, Solo-Gabriele HM, Fleming LE, Buckley BT, Black K, Jimenez M, *et al.* A pilot study of children's exposure to CCA-treated wood from playground equipment. *Sci Total Environ* 2006; 367(1): 80-88.
- Hsueh YM, Hsu MK, Chiou HY, Yang MH, Huang CC, Chen CJ. Urinary arsenic speciation in subjects with or without restriction from seafood dietary intake. *Toxicol Lett* 2002; 133(1): 83-91.
- Valentine JL, Kang HK, Spivey G. Arsenic levels in human blood, urine, and hair in response to exposure via drinking water. *Environ Res* 1979; 20(1): 24-32.
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Risk Assessment on Heavy Metals in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2000. (Korean)
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Intake and Risk Assessment on Heavy Metals in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2001. (Korean)
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Intake and Risk Assessment of Contaminants in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2002. (Korean)
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Intake and Risk Assessment of Contaminants in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2003. (Korean)
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Intake and Risk Assessment of Contaminants in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2004. (Korean)
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Intake and Risk Assessment of Contaminants in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2006. (Korean)
- Korea Food & Drug Administration. Dietary Intake and Risk Assessment of Contaminants in Korean Foods. Seoul: KFDA; 2007. (Korean)
- Mohri T, Hisanaga A, Ishinishi N. Arsenic intake and excretion by Japanese adults: a 7-day duplicate diet study. *Food Chem Toxicol* 1990; 28(7): 521-529.
- Li XW, Gao JQ, Wang YF, Chen JS. 2000 Chinese total dietary study-the dietary arsenic intakes. *Wei Sheng Yan Jiu* 2006; 35(1): 63-66. (Chinese)
- Urieta I, Jalón M, Eguilero I. Food surveillance in the Basque Country (Spain). II. Estimation of the dietary intake of organochlorine pesticides, heavy metals, arsenic, aflatoxin M1, iron and zinc through the Total Diet Study, 1990/91. *Food Addit Contam* 1996; 13(1): 29-52.
- Meltzer HM, Mundal HH, Alexander J, Bibow K, Ydersbond TA. Does dietary arsenic and mercury affect cutaneous bleeding time and blood lipids in humans? *Biol Trace Elem Res* 1994; 46(1-2): 135-153.
- Leblanc JC, Malmauret L, Guérin T, Bordet F, Boursier B, Verger P. Estimation of the dietary intake of pesticide residues, lead, cadmium, arsenic and radionuclides in France. *Food Addit Contam* 2000; 17(11): 925-932.
- Dabeka RW, McKenzie AD, Lacroix GM, Cleroux C, Bowe S, Graham RA, *et al.* Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by Canadian adults and children. *J AOAC Int* 1993; 76(1): 14-25.
- Buchet JP, Lauwerys R, Vandevoorde A, Pycke JM. Oral daily intake of cadmium, lead, manganese, copper, chromium, mercury, calcium, zinc and arsenic in Belgium: a duplicate meal study. *Food Chem Toxicol* 1983; 21(1): 19-24.
- van Dokkum W, de Vos RH, Muys T, Wesstra JA. Minerals and trace elements in total diets in The Netherlands. *Br J Nutr* 1989; 61(1): 7-15.
- Tripathi RM, Raghunath R, Krishnamoorthy TM. Arsenic intake by the adult population in Bombay city. *Sci Total Environ* 1997; 208(1-2): 89-95.
- Tao SS, Bolger PM. Dietary arsenic intakes in the United States: FDA Total Diet Study, September 1991-December 1996. *Food Addit Contam* 1999; 16(11): 465-472.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series 44, International Programme on Chemical Safety and WHO. Geneva; 2000. pp. 271-391.