

생체지표를 활용한 일반인구집단의 오염물질 노출평가

아주대 예방의학교실 장재연

우리는 다양한 노출경로를 통하여 오염물질에 노출되고 있다. 여러 노출경로의 상대적 기여도에 대한 정량적 평가는 오염물질로 인한 인체의 건강장해를 효과적으로 예방하는데 유용한 정보를 제공한다. 오염물질의 정량적 노출평가를 위해서 노출이 발생한 시점의 오염물질의 농도를 직접 실측하는 방법과 노출과 관련된 노출변수에 관한 정보와 오염물질의 노출량에 관한 정보를 결합시켜 간접적인 노출량을 측정하는 시나리오 평가방법이 활용될 수 있다. 또한 인체에 대한 노출을 종합적으로 평가하는 방법으로 생체지표를 이용한 노출량의 평가가 활용되고 있다.

각각의 노출평가 기법은 각기 독립적이면서 또한 장,단점을 내포하고 있다. 발생 시점의 오염물질의 노출농도를 실측하는 경우 직접적인 노출량 측정은 가능하나 고비용과 조사규모의 제한점이 문제가 된다. 노출 시나리오를 활용한 방법은 농도와 시간으로 분리되어 얻어진 정보를 결합하여 적은 비용으로 대규모 집단의 노출정보에 대한 추계가 가능한 반면 사용된 시나리오의 불확실성이 문제가 된다. 또한 생체지표를 활용한 노출평가의 경우 직접적인 인체노출량의 평가가 가능한 것은 장점이나, 아직 모든 물질에 대한 적용이 가능한 것은 아니라는 점과 노출경로별 평가가 어렵다는 한계를 갖고 있다. 따라서 노출이나 위해도 평가에 있어 최상의 결과를 얻기 위해서는 조사대상 집단의 규모 및 연구자원 등을 고려하여 각 노출평가 기법을 적절하게 결합하는 방법을 생각할 수 있다.

본 연구는 일반 인구집단을 대상으로 오염물질 노출과 관련있는 노출지표들을 점검하고자 계획되었다. 조사대상자의 생체지표를 조사하고 노출 시나리오 연구 등에 활용되고 있는 각종 노출지표를 조사하여 이들의 상관성을 통계적으로 분석하였다. 생체노출지표로서는 분석 및 평가기법이 정립되어 있는 혈액중의 납과 카드뮴, 그리고 소변중의 1-hydroxypyrene을 조사대상 물질을 선정하였다. 조사대상 노출지표는 국내외 조사에 활용된 각종 노출지표들을 총망라하여 조사하였다.

오염물질의 생물학적 지표에 영향을 미치는 노출지표는 혈중 납의 경우 성별, 나이와 돼지고기 구이, 설렁탕, 쌀밥 등의 변수들이 관련성이 높은 것으로 확인되었다(overall model $R^2=0.20$, $p<0.001$). 혈중카드뮴의 경우 흡연, 연령, 우거지국, 돼지고기 구이, 최근 한달간의 한약섭취 유무 등의 변수들이 가장 영향력 있는 변수로 조사되었다(overall model $R^2=0.38$, $p<0.001$).

소변중의1-hydroxypyrene의 경우는 배, 닭튀김, 실외머무름 시간, 사과, 요구르트 섭취에 의한 영향을 많이 받는 것으로 조사되었다(overall model $R^2=0.16$, $p<0.05$). 사과와 배의 섭취의 경우는 다른 변수들과 달리 소변중의1-hydroxypyrene의 농도를 낮추는 효과가 있는 것으로 나타났다.

이번 조사 결과 오염물질의 생체노출량에 영향을 미칠 가능성이 높은 변수들 중에 특히 식품섭취와 관련된 변수들은 앞으로 좀 더 정량적으로 평가되면 오염물질의 주요 노출경로를 확인하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

Multiple Exposure Pathways for pollutants

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jang

생체지표를 활용한 일반인구집단의 오염물질 노출평가

아주대학교 예방의학교실 장재연

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jang

Exposure Assessment Method

- Approach to quantification of exposure

Point of Contact Measurement

노출이 발생하는 시점의 노출농도 측정
- 장점: 직접적인 노출량 평가 가능
- 단점: 고비용 / 조사규모의 제한

Scenario Evaluation

용도와 시간으로 분리된 정보를 결합하여 노출량 평가
- 장점: 적은 비용, 지료가 부족한 경우에도 수행 가능
- 단점: 시나리오의 적절성, 무확실성에 불확실성 존재

Reconstruction Dose

생체지표를 통한 노출의 역진적 평가
- 장점: 과거 오염행위의 노출과 흡수량의 상세적 평가
- 단점: 모든 물질에 대한 적용이 불가능, 경로별 노출량 평가 어려움

공급의 목표

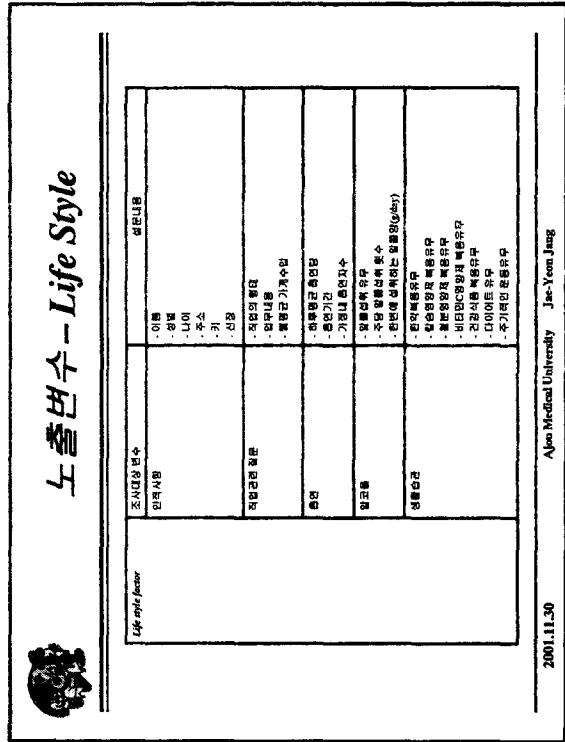
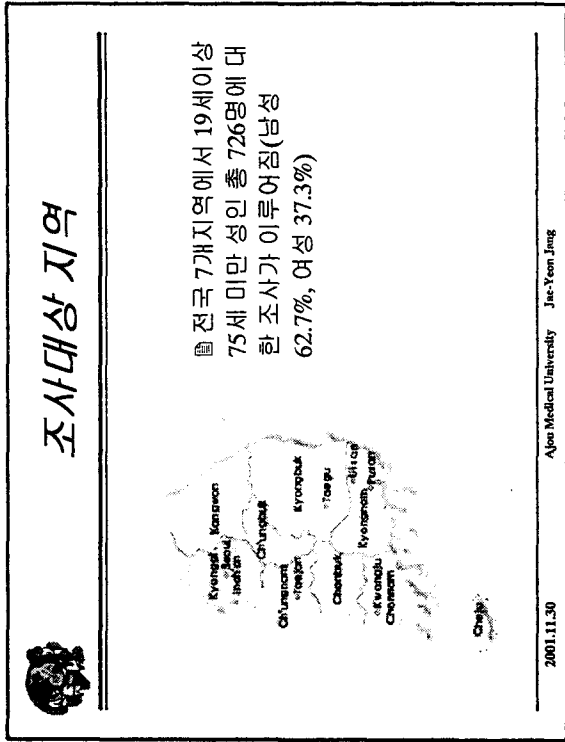
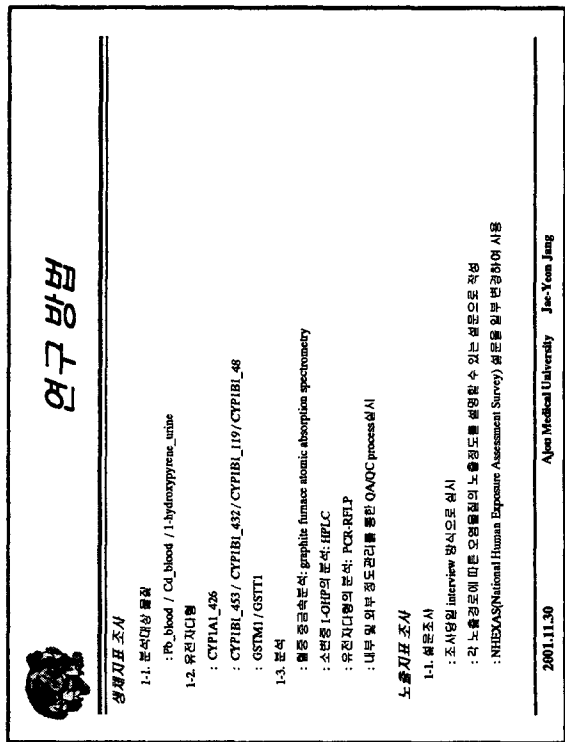
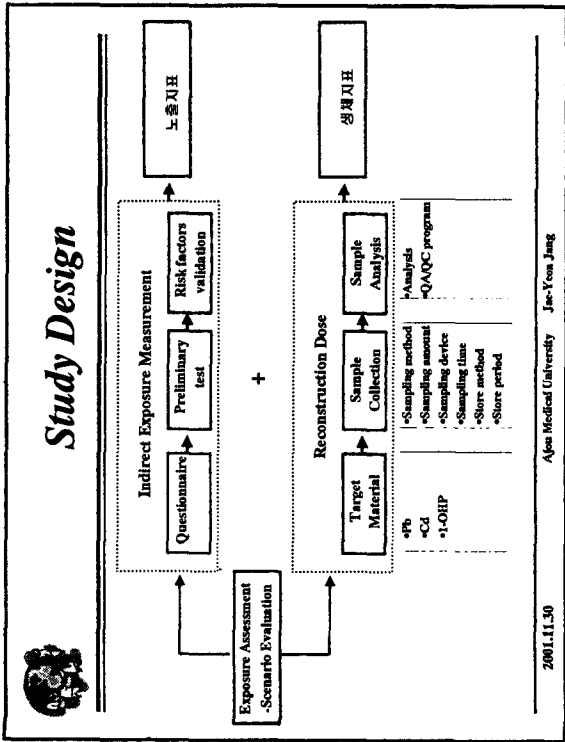
2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jang

Multi-pathway exposure assessment

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jang



노출변수 - Air

AP	조사대상 변수 가장특성	<p>영양상태</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식이섭취량 - 식이섭취빈도 - 식이섭취량 변화 - 체중 변화 - 체중 변화 속도 - 체중 변화 정도 - 체중 변화 원인 - 체중 변화 시기 - 체중 변화 장소 - 체중 변화 방법 - 체중 변화 도구 - 체중 변화 시간 - 체중 변화 환경 - 체중 변화 사람 - 체중 변화 동물 - 체중 변화 식물 - 체중 변화 미생 - 체중 변화 기타 <p>직업특성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 직업의 난이도 - 직업의 위험도 - 직업의 스트레스 - 직업의 환경 - 직업의 시간 - 직업의 장소 - 직업의 방법 - 직업의 도구 - 직업의 사람 - 직업의 동물 - 직업의 식물 - 직업의 미생 - 직업의 기타
----	-----------------	---

노출변수 - Air : Time Activity Pattern(1-OHP)

AP	조사대상 변수 특성	<p>영양상태</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식이섭취량 - 식이섭취빈도 - 식이섭취량 변화 - 체중 변화 - 체중 변화 속도 - 체중 변화 정도 - 체중 변화 원인 - 체중 변화 시기 - 체중 변화 장소 - 체중 변화 방법 - 체중 변화 도구 - 체중 변화 시간 - 체중 변화 환경 - 체중 변화 사람 - 체중 변화 동물 - 체중 변화 식물 - 체중 변화 미생 - 체중 변화 기타 <p>직업특성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 직업의 난이도 - 직업의 위험도 - 직업의 스트레스 - 직업의 환경 - 직업의 시간 - 직업의 장소 - 직업의 방법 - 직업의 도구 - 직업의 사람 - 직업의 동물 - 직업의 식물 - 직업의 미생 - 직업의 기타
----	---------------	---

노출변수 - Fluid (Water 포함)

Fluid (water 포함)	조사대상 변수 특	<p>영양상태</p> <ul style="list-style-type: none"> - 섭취량 - 섭취 빈도 - 섭취량 변화 - 체중 변화 - 체중 변화 속도 - 체중 변화 정도 - 체중 변화 원인 - 체중 변화 시기 - 체중 변화 장소 - 체중 변화 방법 - 체중 변화 도구 - 체중 변화 시간 - 체중 변화 환경 - 체중 변화 사람 - 체중 변화 동물 - 체중 변화 식물 - 체중 변화 미생 - 체중 변화 기타 <p>직업특성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 직업의 난이도 - 직업의 위험도 - 직업의 스트레스 - 직업의 환경 - 직업의 시간 - 직업의 장소 - 직업의 방법 - 직업의 도구 - 직업의 사람 - 직업의 동물 - 직업의 식물 - 직업의 미생 - 직업의 기타
------------------	--------------	--

노출변수 - Food

Food	조사대상 변수 특성	<p>영양상태</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식이섭취량 - 식이섭취빈도 - 식이섭취량 변화 - 체중 변화 - 체중 변화 속도 - 체중 변화 정도 - 체중 변화 원인 - 체중 변화 시기 - 체중 변화 장소 - 체중 변화 방법 - 체중 변화 도구 - 체중 변화 시간 - 체중 변화 환경 - 체중 변화 사람 - 체중 변화 동물 - 체중 변화 식물 - 체중 변화 미생 - 체중 변화 기타 <p>직업특성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 직업의 난이도 - 직업의 위험도 - 직업의 스트레스 - 직업의 환경 - 직업의 시간 - 직업의 장소 - 직업의 방법 - 직업의 도구 - 직업의 사람 - 직업의 동물 - 직업의 식물 - 직업의 미생 - 직업의 기타
------	---------------	---

Effective factors on blood lead levels in a Korean general populations

Exposure pathway	Effective factors
Life style	<ul style="list-style-type: none"> 성별 연령 BMI 흡연유무(+) 술섭취량(+) 환의복용유무(+) 원주먹거주빈수(+)
Air	<ul style="list-style-type: none"> 우유섭취유무(+) 커피섭취유무(+) 화장품 미시는 커피의 양(+) 과일주스 섭취유무(+) 성에서 수도 미시는 불종류
Fluid(water)	<ul style="list-style-type: none"> 커피섭취유무(+) 화장품 미시는 커피의 양(+) 과일주스 섭취유무(+) 성에서 수도 미시는 불종류
Food	<ul style="list-style-type: none"> 지방식사량 원주먹거주빈수, 풍나물국, 두부국, 된장찌개, 돼지고기찌개, 쇠창살, 돼지 고기구이, 고등어조림, 해추김치, 갈비찜, 국수, 밀국수, 떡장미, 돼지고기 볶음, 개장, 불판김, 시금치나물, 상추, 고추, 양파, 고추장, 된장, 시고, 콩, 감, 콩 (+)

2001.11.30

Ajeon Medical University Jae-Yeon Jang

Blood lead levels in relation to lifestyle factors

Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
성별			
남성	439	3.44 ± 1.16	p = 0.000
여성	263	2.58 ± 1.10	
연령			
20세미만	199	2.60 ± 0.93	p = 0.000
20세이상 - 30세미만	263	3.25 ± 1.27	
30세이상 - 40세미만	156	3.32 ± 1.12	
40세이상 - 50세미만	58	3.70 ± 1.12	
50세이상	28	3.12 ± 1.21	
흡연유무			
흡연자	260	3.46 ± 1.12	p = 0.000
비흡연자	419	2.91 ± 1.22	
최근한달간 한약복용 유무			
복용함	107	3.44 ± 1.25	p = 0.003
복용하지 않음	597	3.06 ± 1.20	

2001.11.30

Ajeon Medical University Jae-Yeon Jang

Blood lead levels in relation to fluid(water) factors

Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
Water			
가정에서 마시는 물종류			
수돗물 그대로	12	3.40 ± 1.75	p = 0.012
정수기온 정수한 물	144	2.86 ± 1.17	
수돗물 끓인것	366	3.09 ± 1.17	
시판되는 생수	36	3.40 ± 1.11	
개인적으로 펴온 생수	137	3.32 ± 1.29	
Fluid			
우유섭취 (-)			
섭취함	458	2.93 ± 1.15	p = 0.002
섭취하지 않음	246	3.22 ± 1.23	
과일주스 (+)			
섭취함	595	2.89 ± 1.00	p = 0.033
섭취하지 않음	109	3.16 ± 1.24	
커피			
섭취함	487	3.18 ± 1.16	p = 0.037
섭취하지 않음	217	2.98 ± 1.31	

2001.11.30

Ajeon Medical University Jae-Yeon Jang

Blood lead levels in relation to food factors

Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
지방			
지방			
섭취함	554	3.18 ± 1.22	p = 0.005
섭취하지 않음	142	2.87 ± 1.25	
콩밥			
섭취함	114	3.54 ± 1.35	p = 0.032
섭취하지 않음	582	3.08 ± 1.19	
김치국			
섭취함	344	3.24 ± 1.19	p = 0.011
섭취하지 않음	352	3.01 ± 1.23	
풍나물국			
섭취함	287	3.26 ± 1.18	p = 0.014
섭취하지 않음	469	3.02 ± 1.24	
두부국			
섭취함	154	3.30 ± 1.26	p = 0.037
섭취하지 않음	542	3.07 ± 1.20	
된장찌개			
섭취함	511	3.20 ± 1.20	p = 0.006
섭취하지 않음	185	2.91 ± 1.26	
돼지고기찌개			
섭취함	131	3.33 ± 1.05	p = 0.032
섭취하지 않음	563	3.07 ± 1.25	

2001.11.30

Ajeon Medical University Jae-Yeon Jang

Blood lead levels in relation to food factors

Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
성명	117	3.53 ± 1.18	p = 0.000
성별	579	3.04 ± 1.21	p = 0.000
성취하지 않음	265	3.40 ± 1.30	p = 0.000
돼지고기 구이	431	2.95 ± 1.13	p = 0.017
성취함	121	3.36 ± 1.34	p = 0.000
성취하지 않음	575	3.07 ± 1.19	p = 0.000
배추김치	596	3.19 ± 1.20	p = 0.020
성취함	100	2.72 ± 1.23	p = 0.025
성취하지 않음	191	3.29 ± 1.26	p = 0.001
김치	505	3.05 ± 1.19	p = 0.001
성취함	177	3.30 ± 1.19	p = 0.001
성취하지 않음	519	3.06 ± 1.22	p = 0.001
국수	229	3.34 ± 1.23	p = 0.001
성취함	467	3.01 ± 1.20	
성취하지 않음			

2001.11.30 Ajou Medical University Jae-Yoon Jang

Blood lead levels in relation to food factors

Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
문서부	197	3.33 ± 1.19	p = 0.005
성취함	499	3.04 ± 1.22	p = 0.014
성취하지 않음	160	3.33 ± 1.41	p = 0.040
돼지고기 볶음	536	3.06 ± 1.15	p = 0.029
성취함	599	3.36 ± 1.37	p = 0.000
성취하지 않음	123	3.34 ± 1.14	p = 0.000
명란국	575	3.07 ± 1.23	p = 0.000
성취함	322	3.31 ± 1.23	p = 0.000
성취하지 않음	374	2.95 ± 1.19	p = 0.000
시금치나물	468	3.24 ± 1.22	p = 0.001
성취함	208	2.83 ± 1.17	p = 0.001
성취하지 않음	296	3.30 ± 1.19	
고추	400	2.98 ± 1.22	
성취함			
성취하지 않음			

2001.11.30 Ajou Medical University Jae-Yoon Jang

Blood lead levels in relation to food factors

Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
성명	148	3.33 ± 1.18	p = 0.018
성별	548	3.06 ± 1.23	p = 0.001
성취하지 않음	434	3.24 ± 1.23	p = 0.002
돼지고기 구이	262	2.92 ± 1.18	p = 0.001
성취함	340	3.27 ± 1.19	p = 0.001
성취하지 않음	356	2.98 ± 1.23	p = 0.001
배추김치	410	3.25 ± 1.19	p = 0.003
성취함	286	2.94 ± 1.24	p = 0.008
성취하지 않음	278	3.24 ± 1.24	p = 0.019
김치	418	3.04 ± 1.20	
성취함	154	3.35 ± 1.18	
성취하지 않음	542	3.06 ± 1.22	
국수	168	3.31 ± 1.18	
성취함	528	3.06 ± 1.23	
성취하지 않음			

2001.11.30 Ajou Medical University Jae-Yoon Jang

Results of multiple regression analysis - Lead in blood -

Dependent variable	Independent Variable	B	SE	P-value
Pb_B	Constant	3.007	0.300	0.000
	성명	0.749	0.108	0.000
	나이	0.022	0.005	0.000
	돼지고기구이	0.305	0.100	0.002
	배추김치	0.272	0.130	0.037
	명란	0.259	0.127	0.042

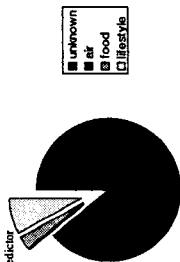
Overall model R²=0.204 p=0.000

2001.11.30 Ajou Medical University Jae-Yoon Jang

Predictors of Lead concentration - Explanation of variance -

Predictor	Lead concentration in blood
성별	$\beta^* = 3.7\%$
나이	$\beta^* = 2.5\%$
도시/교외/귀이	$\beta^* = 1.2\%$
생식량	$\beta^* = 0.9\%$
휴먼	$\beta^* = 0.7\%$

β = standardized regression coefficient
 r = bivariate correlation of cadmium and predictor
 β^* = proportion of variance explained by predictor
 P = significance of regression coefficient



2001.11.30

Alpen Medical University Jae-Yeon Jang

Effective factors on blood Cadmium levels in a Korean general populations

Exposure pathway	Effective factors
Life style	<ul style="list-style-type: none"> 성별 나이 휴먼유무 (+) 종교/종교 (+) 가정내/간접흡연 유무 (+) 최근 1개월간 환약복용 유무 (+) 고령수단 이용시 흡연 또는 간접흡연 노출시간 (+)
Air	
Fluid(water)	
Food	<ul style="list-style-type: none"> 밥: 찰국밥 (+) 국밥: 시래기국 (+) / 우거지국 (+) 탕류: 보신탕 (+) 구이류: 돼지고기 구이 (+) 분식류: 국수 (+) 젓갈류: 영남젓 (+) 나물류: 가지나물 (+) 복숭아는 아재류: 당근 (+) / 오이 (+) / 미나리 (+)

2001.11.30

Alpen Medical University Jae-Yeon Jang

Blood cadmium levels in relation to lifestyle factors

Variables	N	Mean \pm S.D.	P-value
성별	266	1.33 \pm 0.85	p = 0.002
나이	441	1.14 \pm 0.71	
연령	202	1.02 \pm 0.63	p = 0.000
20세미상 - 30세미하	265	1.33 \pm 0.85	
30세미상 - 40세미하	155	1.45 \pm 0.90	
40세미상 - 50세미하	59	1.26 \pm 0.64	
50세미상	28	1.24 \pm 0.89	
휴먼유무	260	1.44 \pm 0.90	p = 0.000
비휴먼유무	424	1.15 \pm 0.71	
가정내/간접흡연 유무	392	1.33 \pm 0.89	p = 0.010
가정내/간접흡연 없음	305	1.17 \pm 0.66	
최근 1개월간 환약복용 유무	109	1.47 \pm 0.94	p = 0.003
복용함	600	1.22 \pm 0.77	
복용하지 않음			

2001.11.30

Alpen Medical University Jae-Yeon Jang

Blood cadmium levels in relation to food factors

Variables	N	Mean \pm S.D.	P-value
밥/분	136	1.40 \pm 0.80	p = 0.023
성취하지 않음	565	1.23 \pm 0.80	
국밥	147	1.40 \pm 0.95	p = 0.024
시래기국	554	1.23 \pm 0.78	
성취하지 않음	109	1.54 \pm 1.10	p = 0.000
우거지국	592	1.21 \pm 0.73	
성취하지 않음	81	1.48 \pm 1.03	p = 0.009
보신탕	620	1.24 \pm 0.77	
성취하지 않음	265	1.36 \pm 0.91	p = 0.014
돼지고기 구이	436	1.21 \pm 0.73	
성취하지 않음	179	1.39 \pm 0.91	p = 0.017
국수	522	1.22 \pm 0.76	
성취하지 않음	124	1.49 \pm 0.93	p = 0.001
영남젓	577	0.022 \pm 0.77	
성취하지 않음			

2001.11.30

Alpen Medical University Jae-Yeon Jang



Results of multiple regression analysis - Cadmium in blood -

Dependent variable	Independent variable	B	SE	P-value
Cd _B	Constant	1.291	0.060	0.000
	성별	0.227	0.065	0.000
	연령	0.010	0.003	0.000
	우거지국	0.273	0.084	0.001
	돼지고기구이	0.160	0.062	0.010
	한약복용	0.195	0.083	0.019

Model overall R²=0.38 p<0.001

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jaeng



Blood cadmium levels in relation to food factors

인구분	Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
기타인구	성취함	86	1.49 ± 0.89	p = 0.006
	성취하지 않음	515	1.23 ± 0.79	
양근	성취함	160	1.38 ± 0.90	p = 0.040
	성취하지 않음	541	1.23 ± 0.77	
소마	성취함	278	1.37 ± 0.93	p = 0.006
	성취하지 않음	423	1.20 ± 0.70	
미나리	성취함	62	1.59 ± 0.75	p = 0.001
	성취하지 않음	639	1.23 ± 0.80	

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jaeng



Predictors of Cadmium concentration - Explanation of variance -

조사대상 변수	Cadmium concentration in blood	
	Predictor	Percentage of the variance of cadmium levels explained by the predictor
Life style	음식유무	β* = 5.2%
	나이	β* = 2.1%
	한약복용유무	β* = 1.8%
Food	우거지국	β* = 1.2%
	돼지고기 구이	β* = 0.6%

β = standardized regression coefficient

r = bivariate correlation of cadmium and predictor

β* = proportion of variance explained by predictor

P = significance of regression coefficient



2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jaeng



Effective factors on urinary 1-hydroxypyrene in a Korean general populations

Exposure pathway	Effective factors
Life style	성별 · 음식유무 (+) · 조사진행 용이성(+)
Air	· 실내에 머무른시간 (-) · 실외에 머무른시간 (+) · 이동시간 (+) · 이동시 용연 및 간접용연 노출시간 (+)
Fluid(water)	· 요구르트 섭취유무 (-)
Food	· 양튀김 (+) · 곡수 (+) · 시금치, 사과, 배 (-)
Genetic polymorphism	· GSTT1

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yoon Jaeng

Urinary 1-OHP levels in relation to lifestyle and genetic factor



Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
성별			
남성	439	0.12 ± 0.24	P = 0.003
여성	263	0.07 ± 0.10	
GSTT1			
Present	260	0.11 ± 0.25	P = 0.034
Null	419	0.09 ± 0.13	

All statistical tests were performed by kruskal-wallis test

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yeon Jang

Urinary 1-OHP levels in relation to fluid and food factors



Variables	N	Mean ± S.D.	P-value
Fluid			
요구르트 섭취유무	142	0.11 ± 0.27	P = 0.012
섭취하지 않음	476	0.08 ± 0.13	
Food			
담뱃질	17	0.15 ± 0.18	P = 0.022
섭취하지 않음	596	0.10 ± 0.25	
국수	39	0.14 ± 0.18	P = 0.044
섭취하지 않음	574	0.10 ± 0.25	
시금치	84	0.07 ± 0.12	P = 0.040
섭취하지 않음	529	0.11 ± 0.26	
시과	106	0.08 ± 0.14	P = 0.0099
섭취하지 않음	507	0.11 ± 0.26	
배	30	0.04 ± 0.08	P = 0.002
섭취하지 않음	583	0.10 ± 0.25	

All statistical tests were performed by kruskal-wallis test

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yeon Jang

Results of multiple regression analysis - Urinary 1-hydroxypyrene -



Dependent variable	Independent variable	B	SE	P-value
1-OHP	Constant	-1.637	0.057	0.000
	배	-0.629	0.195	0.001
	담뱃질	0.809	0.260	0.002
	실외 머무름 시간	0.038	0.017	0.020
	사과	-0.250	0.112	0.026
	요구르트섭취	-0.212	0.098	0.031

Model overall R²=0.16 p<0.05

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yeon Jang



Predictors of 1-OHP concentration - Explanation of variance -

조식대상 변수	1-OHP concentration in urine
Predictor	Percentage of the variance of cadmium levels explained by the predictor
Air	실외머무름시간 β ² =0.7%
Fluid	요구르트 β ² =0.3%
Food	배 β ² =1.8%
	담뱃질 β ² =1.2%
	사과 β ² =0.6%

β²= standardized regression coefficient

r = bivariate correlation of cadmium and predictor

β²= proportion of variance explained by predictor

P = significance of regression coefficient



■ unknown
■ air
■ food
■ fluid

2001.11.30

Ajoon Medical University Jae-Yeon Jang