



국내역학조사에 기초한 한국인의 카드뮴 PTWI 설정 연구

최찬웅 · 문진현 · 박형수 · 염태경 · 이광호 · 이효민*

식품의약품안전평가원 식품위해평가부 위해분석연구과

A study on the Establishment of Korean PTWI for Cadmium Based on The Epidemiological Data

Chan Woong Choi, Jin Hyun Moon, Hyoung Su Park, Tai Kyung Ryeom,
Kwang Ho Lee and Hyo Min Lee*

Risk Analysis & Research Division, Food Safety Evaluation Department,
National Institute of Food and Drug Safety Evaluation

(Received November 27, 2009/Revised December 5, 2009/Accepted December 9, 2009)

ABSTRACT - There are differences of Cadmium (Cd) urinary concentration which is considered as indicator of renal tubular dysfunction in other countries, so we have reviewed domestic epidemiological data and suggested Korean health based guidance value (HBGV) for Cd to improve an efficiency of risk management. We decided to apply the WHO calculation model which considered the relationship between dietary intake and Cd concentration in urine sample. It is determined that Cd concentration 2.5 ug/g creatinine in urine as the prevalence of renal tubular dysfunction based on epidemiological data, because there is no renal tubular dysfunction and injury/lesion such as proteinuria at the concentration of 11.63 ug/g creatinine which is the highest Cd concentration in urine from the domestic epidemiological data. It is identified that the ratio between the Cd dietary consumption (8.3~10.4 ug/day) and Cd urinary concentration (0.38 ug/g creatinine) in Korean adult who predicting never been exposed to Cd are 21.8~27.3 and then it is applied to the corresponding model suggested by WHO. Also it is applied that 10% of bioavailability and 50% of excretion rate of absorbed to body (the ratio is 24) were assumed. The estimate of daily Cd consumption level which begins tubular dysfunction is 1 ug/kg bw/day, so we suggest the Korean provisional tolerable weekly intake (PTWI) as 7 ug/kg bw/week.

Key words: cadmium, health based guidance value, provisional tolerable weekly intake

인체안전기준(Health based Guidance Value, HBGV)이란 유해물질이 인체에 노출되어도 유해영향이 나타나지 않는다고 판단되는 체중 당 노출허용수준으로 다양한 식품 및 기타매체를 통한 인체노출을 인체안전기준 이하로 관리하려는 정부의 의지가 반영된 값이라 할 수 있다. WHO (World Health Organization)에서는 ADI (Acceptable Daily Intake), TDI (Tolerable Daily Intake), PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake)¹⁾, USEPA (United States Environmental Protection Agency)에서는 RfD (Reference Dose)²⁾, 그리고 ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)에서는 MRL (Maximal Risk Level)³⁾ 등의 용어를

사용하여 각 기관별 고유의 인체안전기준을 제안하고 있다.

국내에서는 2006년 식품의약품안전청에서 다이옥신과 DEHP(Diethylhexyl phthalate)의 TDI를 제안하였고⁴⁾, 2007년에는 알루미늄 TDI 평가 연구사업을 진행한 바 있으나⁵⁾, 현재까지 국내 고유의 인체안전기준이 제안된 사례가 거의 없어 국내 위해평가 사안발생 시 해외기관에서 제안한 인체안전기준을 사용하고 있는 실정이다.

카드뮴은 체내 칼슘 대사에 영향을 주는 중금속으로 알려져 있으며, 뼈 속 칼슘의 골화(mineralization)에 직·간접적으로 작용하여 골다공증을 유발하기도 한다⁶⁾. 이러한 골소실이 악화되어 가장 심각한 경우에는 골다공증 및 구루병을 동반한 ‘이타이이타이병’이 발병되며, 중국인을 대상으로 한 일부 연구에서 뼈 속 무기질 손실과 칼슘 항상성에 대한 영향이 보고되고 있다⁷⁾. 또한 중국과 일본에서 수행된 역학조사 연구에 의하면 환경적으로 노출되는 카드뮴 양이 신장기능장애 발현 전·후에 나타나는 골다공증

*Correspondence to: Hyo-Min Lee, Risk Analysis & Research Division, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Nokbeon-dong, Eunpyeong-gu, Seoul 122-704, Korea
Tel: 82-02-380-1783, Fax: 82-02-389-7007
E-mail: hmlee@kfda.go.kr

의 유발 가능성으로 보고되고 있다⁸⁻¹⁰⁾.

그러나 이러한 뼈의 골소실에 미치는 영향 보다 빠르게 나타나는 것이 카드뮴에 의한 신장 기능의 변화다. 카드뮴의 장기간 노출은 신장 근위세관 상피세포(proximal tubule epithelial cells)의 변성과 같은 신장손상을 야기하며, 형태학적 변형(위축, 간질성 섬유증, 신장 사구체 경화증 및 국소 괴사)을 유발한다¹¹⁾. 주로 신장손상과 관련된 초기 지표는 분자량이 적은 단백뇨(low molecular mass proteinuria), 당뇨(glucosuria) 및 아미노산뇨증(aminoaciduria)이 사용되었다. 본 연구에서는 국제적인 역학조사 결과 용량-반응 상관성이 인정된 몇 안되는 물질 중 하나인 카드뮴의 국내 인체노출량과 단백뇨를 유발하는 카드뮴 수준을 고려한 국내 인체안전기준을 설정하고자 수행되었다.

연구 방법

본 연구에서는 WHO, USEPA, ATSDR의 카드뮴 인체 안전기준 설정 전략을 검토하였으며, 검토 결과 카드뮴 인체안전기준 설정에 필요한 역학조사 결과가 각 나라마다 큰 차이가 있다는 점을 알 수 있었다. 그 결과 국내 인체안전기준 설정을 위한 국내 역학조사 검토의 필요성이 요구되어 국내의 역학조사에 의한 노 중 카드뮴 농도를 결정하고, 우리나라 성인의 식이섭취량에 대한 노 중 카드뮴 수준의 비율을 확인하였다. 이를 통해 결정된 수치들을 WHO에서 제안한 수식 모델에 적용하여 예측된 카드뮴 1일 인체섭취량을 구하여 카드뮴의 PTWI를 설정하고자 하였다.

결과 및 고찰

국외 카드뮴 인체안전기준 설정 사례조사

1989년 WHO에서는 여러 역학조사 결과를 분석하여 카드뮴에 대한 인체 표적장기가 신장이며, PTWI를 설정하기 위한 독성중말점으로 신장이상에 의한 단백뇨를 선정하였다. 또한 결정적 농도(critical concentration)를 50세에서 50 ug Cd/g renal cortex로 정하고, 흡수율 5%, 배설율 0.005%로 가정하여 산출된 1일 인체섭취량 1 ug/kg bw/day를 근거로 PTWI를 7 ug/kg bw/week로 제안한 바 있다¹²⁾.

그 후 2001년 카드뮴 PTWI에 대한 재평가가 수행되었는데, 관련 역학조사 결과에 대한 메타분석 결과 신장기능장애가 증가하기 시작하는 농도를 50 ug/g renal cortex, 2.5 ug/g creatinine으로 결정하였다. 또한 식이섭취량에 대한 노 중 카드뮴 농도의 비율에 대하여 조사한 결과, 일본의 경우 카드뮴 식이섭취량이 26 ug/day(19~51)였고 노 중 카드뮴 농도는 4.4(3~7) ug/g creatine이었으며, 그 비는 6(3~14) 수준이었다. 스웨덴의 경우 카드뮴 식이섭취량이 10 ug/day(5.7~26)였고 노 중 카드뮴 농도는 0.15 ug/g creatine이었으며, 그 비는 40~170 수준이었다. 미국의 총식이조

사(total diet study) 결과 카드뮴 식이섭취량이 5.5 ug/day였고 노 중 카드뮴 농도는 0.5 ug/g creatine이었으며, 그 비는 11 수준이었다(Table 1). 이러한 자료를 근거로 장기간의 식이섭취로 인한 카드뮴 섭취량에 변화가 없다는 가정을 하여 Table 2와 같이 식이섭취량과 신장기능장애의 관계에 대한 수식을 산출하였다. 그 결과 기존의 PTWI 7 ug/kg bw/week를 유지하기로 결정하였다¹³⁾.

USEPA에서는 카드뮴의 인체 장기노출(long-term exposure) 실험결과, 독성중말점으로 신장기능이상으로 인해 나타나는 단백뇨를 선정하였다. 또한 결정적 농도를 50세에서 200 ug Cd/g renal cortex로 정하고, 흡수율을 식품의 경우 2.5%, 음용수의 경우 5%, 배설율 0.005%, 그리고 체중을 70 kg으로 가정하여 산출된 식품의 1일 인체섭취량 10 ug/kg bw/day, 음용수의 1일 인체섭취량 5 ug/kg bw/day에 사람간차이에 따른 불확실성계수(uncertainty factor) 10을 적용하여 식품과 음용수의 RfD를 각각 1 ug/kg bw/day와 0.5 ug/kg bw/day로 제안하였다¹⁴⁾.

ATSDR은 총 6개의 인체 역학자료를 기초로 하여 산출된 UCDL₁₀ (The lowest Urinary Cadmium Dose) 0.5 ug/g creatinine을 고려하여 남성의 카드뮴 흡수율 5%, 여성의 카드뮴 흡수율 10%, 노출기간 55년, 남성체중 70 kg 그리고 여성체중을 58 kg으로 가정하여 ‘약동학적 모델 시뮬레이션’ 결과 산출된 1일 인체섭취량은 여성의 경우 0.33 g/kg bw/day, 남성의 경우 0.70 ug/kg bw/day였다. 여기에 사람간차이에 대한 불확실성계수 3을 적용하여 MRL을 0.1 ug/kg bw/day로 설정하였다³⁾.

국내 식품섭취를 통한 카드뮴 인체노출수준

식품의약품안전청에서 보고한 식품 중 카드뮴 오염도 자료¹⁵⁾와 환경부의 대기오염¹⁶⁾ 및 토양오염도 자료¹⁷⁾를 고려하여 식품 및 환경 노출로 인한 카드뮴 인체노출 수준을 평가한 결과 일반인구집단에서 0.160 ug/kg bw/day(60세 이상 여성)~0.408 ug/kg bw/day(3~6세 남성)수준이었다(Table 3). 또한 우리나라 전체 인구집단을 대상으로 한 식품섭취에 의한 카드뮴 인체노출량을 산출한 결과는 10.39 ug/person/day 수준이었으며¹⁸⁾(Table 4), 한국인의 총식이조사(total diet study) 결과 산출된 카드뮴 1일 섭취량은 8.3 ug/day였다¹⁹⁾.

국내 역학조사 결과 노 중 카드뮴 배출량

노 중 카드뮴 수준에 대한 국내 역학자료는 대규모 인체 역학조사가 진행되고 있는 환경부의 연구보고서 자료를

Table 1. Concentration rate of cadmium in diet and urine

	Dietary intake (ug/day)	Cd urinary excretion (ug/g creatine)	Dietary intake/ Cd urinary excretion ratio
Japan	26(19-51)	4.4(3-7)	6(3-14)
Sweden	10(5.7-26)	0.15	40-170
U.S.A	5.5	0.5	11

Table 2. Relationship between diet and renal dysfunction

Assumption ¹⁾	Urinary excretion of Cd(ug/gCr) ²⁾	Predicted intake of Cd ³⁾		Predicted excess prevalence of renal tubule dysfunction(%)
		ug/day ⁴⁾	ug/kg bw/day ^{4),5)}	
Bioavailability of Cd in diet=10%	2.5	30	0.5	0
Excretion of absorbed Cd in urine=100% ⁶⁾	4.2	50	0.8	4
Bioavailability of Cd in diet=10%	8.2	100	1.7	20
Excretion of absorbed Cd in urine=50% ⁷⁾	2.5	60	1	0
	4.2	100	1.7	4
	8.2	200	3.3	20
Bioavailability of Cd in diet=5%	2.5	120	2	0
Excretion of absorbed Cd in urine=50% ⁸⁾	4.2	200	3.3	4
	8.2	400	6.7	20

¹⁾ In each scenario, it is assumed that there are no significant changes in cadmium dietary intake over time and that 1.2 g of creatinine are excreted per day

²⁾ Values derived primary from studies of occupational exposure to cadmium

³⁾ Predicted dietary intake = Urinary excretion of cadmium (ug of Cd/g of creatinine) × 1.2/ Fraction bioavailable × Absorbed fraction excreted in urine

⁴⁾ Cadmium intake corresponding to the excretion in urine in each scenario

⁵⁾ The body weight is assuming 60 kg. The PTWI corresponds to daily intake of 1 ug/kg of bw

⁶⁾ Ratio of dietary intake to urinary excretion = 12

⁷⁾ Ratio of dietary intake to urinary excretion = 24

⁸⁾ Ratio of dietary intake to urinary excretion = 48

Table 3. Human exposure to cadmium by age and sex

Sex	Age	Frequently consumed Agricultures		Other Foods		Environment		Total	
		Exposure level (mg/kg bw/day)	Contribution rate	Exposure level (mg/kg bw/day)	Contribution rate	Exposure level (mg/kg bw/day)	Contribution rate	Exposure level (mg/kg bw/day)	Contribution rate
Male	3-6	2.26 × 10 ⁻⁴	58.2%	1.80 × 10 ⁻⁴	46.2%	2.26 × 10 ⁻⁶	0.6%	4.08 × 10 ⁻⁴	100%
	7-12	1.64 × 10 ⁻⁴	87.1%	1.32 × 10 ⁻⁴	46.1%	1.46 × 10 ⁻⁵	0.5%	2.98 × 10 ⁻⁴	100%
	13-19	1.18 × 10 ⁻⁴	86.4%	9.67 × 10 ⁻⁵	46.2%	1.09 × 10 ⁻⁶	0.5%	2.16 × 10 ⁻⁴	100%
	20-29	1.15 × 10 ⁻⁴	59.7%	8.05 × 10 ⁻⁵	41.7%	9.88 × 10 ⁻⁷	0.5%	1.97 × 10 ⁻⁴	100%
	30-49	1.27 × 10 ⁻⁴	57.0%	9.62 × 10 ⁻⁵	43.2%	9.48 × 10 ⁻⁷	0.4%	2.24 × 10 ⁻⁴	100%
	50-64	1.36 × 10 ⁻⁴	60.2%	9.09 × 10 ⁻⁵	40.2%	9.12 × 10 ⁻⁷	0.4%	2.28 × 10 ⁻⁴	100%
	65<	1.25 × 10 ⁻⁴	65.1%	6.40 × 10 ⁻⁵	33.2%	9.53 × 10 ⁻⁷	0.5%	1.90 × 10 ⁻⁴	100%
Female	3-6	2.16 × 10 ⁻⁴	55.0%	1.74 × 10 ⁻⁴	44.4%	2.28 × 10 ⁻⁵	0.6%	3.93 × 10 ⁻⁴	100%
	7-12	1.52 × 10 ⁻⁴	54.3%	1.26 × 10 ⁻⁴	45.2%	1.38 × 10 ⁻⁶	0.5%	2.79 × 10 ⁻⁴	100%
	13-19	1.05 × 10 ⁻⁴	53.4%	9.06 × 10 ⁻⁵	46.2%	8.39 × 10 ⁻⁷	0.4%	1.96 × 10 ⁻⁴	100%
	20-29	1.08 × 10 ⁻⁴	51.7%	1.01 × 10 ⁻⁴	48.0%	7.77 × 10 ⁻⁷	0.4%	2.10 × 10 ⁻⁴	100%
	30-49	1.25 × 10 ⁻⁴	57.1%	9.32 × 10 ⁻⁵	42.5%	7.44 × 10 ⁻⁷	0.3%	2.19 × 10 ⁻⁴	100%
	50-64	1.32 × 10 ⁻⁴	65.9%	6.75 × 10 ⁻⁵	33.7%	7.10 × 10 ⁻⁷	0.4%	2.00 × 10 ⁻⁴	100%
	65<	1.20 × 10 ⁻⁴	74.8%	3.97 × 10 ⁻⁵	24.8%	7.40 × 10 ⁻⁷	0.5%	1.60 × 10 ⁻⁴	100%

수집하여 검토하였다. 조사결과 국내 대부분의 역학조사는 폐광지역 및 공단지역 등을 대상으로 진행되고 있었다. 일반인구집단의 노 중 카드뮴 노출수준은 전국민을 대상으로 한 대규모 역학조사 산출 결과인 0.38(0.34~0.41) ug/g creatinine^{20,25)}과 공단지역 및 산업지역의 대조지역으로 선정된 충주지역 역학조사 결과인 1.02(0.05~13.02) ug/g creatinine²⁶⁾이었다(Table 5).

카드뮴 국내 인체안전기준 설정

국내 카드뮴 인체안전기준 설정을 위한 독성종말점은 다양한 연구결과에서 나타난 신장기능이상으로 인한 단백뇨로 결정하였다. 그리고 국내 역학조사에 의한 결과에서는 노 중 카드뮴 최고 농도인 11.63 ug/g creatinine 수준에서도 단백뇨 등의 신장기능 이상이 확인되지 않아, WHO에서 제안한 2.5 ug/g creatinine을 신장기능 이상을 나타내기 시작하는 결정적 농도로 선정하였다. 또한 2001년 WHO에서

Table 4. Human exposure to cadmium in general population

Food Category	Food Name	Contaminant concentration (ppm)	Consumed Level	Human Exposure Level (ug/day)
Cereals	Buck wheat	0.0110	0	0.00
Cereals	Monglutinous millet	0.0099	1.0	0.01
Cereals	Barley	0.0091	4.6	0.04
Cereals	Sorghum	0.0101	0.6	0.01
Cereals	Whole wheat	0.0063	0	0.00
Others	Extracted red ginseng	0.0222	0	0.00
Others	White ginseng	0.1134	0.2	0.02
Others	Ginseng teas	0.0025	0	0.00
Others	Red ginseng teas	0.0019	0	0.00
Bean	Processed soybean curd	0.0093	0.4	0.00
Bean	Soy bean	0.0078	24.5	0.19
Mushroom	Oyster mushroom	0.0489	2.0	0.10
Mushroom	Tree ear mushroom	0.1002	0	0.00
Mushroom	Pine mushroom	0.1517	0	0.00
Mushroom	Botton mushroom	0.0067	0.5	0.00
Mushroom	Collybia Velutipes	0.0034	0.6	0.00
Mushroom	Shiitake	0.1866	1.1	0.21
Fish	Flatfish	0.0042	0.9	0.00
Fish	Hairtail	0.0203	2.2	0.04
Fish	Mackerel	0.0076	5.8	0.04
Fish	Saury	0.0139	1.2	0.02
Fish	(left eyed)Flatfish	0.0023	2.1	0.00
Fish	Antithesis	0.0025	0.4	0.00
Fish	Sea Bream	0.0023	0.4	0.00
Fish	Anchovy	0.0152	3.8	0.06
Fish	Alaska pollack	0.0086	3.3	0.03
Fish	Butter fish	0.0038	0.2	0.00
Fish	Mackerel pike	0.0052	0.6	0.00
Fish	Conger eel	0.0016	0.6	0.00
Fish	Cuttle fish	0.3532	4.3	1.52
Fish	Rockfish	0.0025	0.1	0.00
Fish	Croaker	0.0041	3.5	0.01
Fish	Herring	0.0040	0.1	0.00
Starch	Jelly	0.0036	0.9	0.00
Seeds	Green perilla	0.0296	0.3	0.01
Seeds	Sesame Seed	0.0316	1.6	0.05
Marine plants	Seaweed	1.4014	1.4	1.96
Meat	Poultry	0.0035	15.2	0.05
Meat	Pork	0.0038	37.2	0.14
Meat	Beef (Import, Korean beef cattle)	0.0024	17.8	0.04
Meat	Duck	0.0010	1.2	0.00
Cereal	rice	0.0168	205.7	3.46
Cereal	Corn	0.0041	0.5	0.00
Bean	Red bean	0.0139	0.2	0.00
Bean	Bean	0.0324	0.6	0.02
Starch	Potatoes	0.0153	13.9	0.21
Starch	Sweet potato	0.0114	2.3	0.03
Vegetable	With radish	0.0400	29.2	1.17
Vegetable	Chinese radish	0.0058	97	0.56
Vegetable	Spinach	0.0216	11	0.24
Vegetable	leek	0.0069	15.2	0.10
Total				10.39

Table 5. Investigation data on domestic epidemiology

Year	Region	N	Age(yrs)	GM : Urine(ug /g Cr)	
2008	All	2,300	≥18	0.38(0.34~0.41) ¹⁾	
2007	Chungju	1,023	All	1.20(0.05~13.02) ²⁾	
2007	Gangneung	640	All	1.03(0.01~18.24) ²⁾	
2007	Pohang	Industrial area	66	All	1.4(0.3~6.4) ²⁾
		Control	46	All	1.5(0.2~6.9) ²⁾
2008	Pohang	Industrial area	87	All	1.9(0.1~6.6) ²⁾
		Control	153	All	0.9(0.1~4.5) ²⁾
2008	Gwangyang	Industrial area	151	All	1.26(0.17~10.08) ²⁾
		Control	69	All	1.84(0.56~11.98) ²⁾
2008	Yeosu	Industrial area	150	All	0.97(0.04~7.82) ²⁾
		Control	82	All	2.26(0.11~10.92) ²⁾
2008	Hadong	Industrial area	70	All	1.88(0.11~10.73) ²⁾
		Control	54	All	1.46(0.22~6.20) ²⁾

¹⁾ The 2nd national survey of hazardous substance in body

²⁾ Monitoring on exposure level and biomaker of environmental pollutant for Residents (Ministry of Environment)

Table 6. Concentration rate of cadmium in domestic diet and urine

	Dietary intake (ug/day)	Cd urinary excretion (ug/g creatine)	Dietary intake/ Cd urinary excretion ratio
Korea	10.39 ¹⁾	1.020 ³⁾	10.1
	8.3 ²⁾	1.020 ³⁾	8.1
	10.39 ¹⁾	0.38 ⁴⁾	27.3
	8.3 ²⁾	0.38 ⁴⁾	21.8

¹⁾Based on Data for Cd level in food on domestic market by Food Contaminants Division of KFDA (2005)

²⁾Dietary Intake and Risk Assessment on contaminants in Korean Foods (Total Diet Study), KFDA (2007)

³⁾The 2nd national survey of hazardous substances in body

⁴⁾Monitoring on exposure level and biomarkers of environmental pollutants for residents (Ministry of Environment)

제안하였던 카드뮴 1일 인체섭취량 산출 모델에 적용할 식이섭취량에 대한 노 중 카드뮴 농도 비율을 국내 역학 자료 및 식이노출평가 자료를 활용하여 계산한 결과 8.1~27.3 수준이었다(Table 6).

WHO에서 제안한 모델을 이용하여 카드뮴 1일 인체섭취량을 산출 시 계산되는 수식은 다음과 같다.

Predicted dietary intake (ug/day) =

$$\frac{\{\text{Urinary excretion of cadmium (ug Cd/g creatinine)} \times 12\}}{\{\text{Fraction bioavailable} \times \text{Absorbed fraction excreted in urine}\}}$$

WHO 카드뮴 1일 인체섭취량 산출 모델에 국내의 결정적 농도로 결정한 2.5 ug/g creatinine과 식이섭취량에 대한 노 중 카드뮴 농도 비율 8.1~27.3, 그리고 신장기능이상 우려되지 않는 수준인 0을 적용했을 때, 산출되는 카드뮴 1일 인체섭취량은 1 ug/kg bw/day였으며 이를 통해 국내 카드뮴 인체안전기준 PTWI를 7 ug/kg bw/week로 제안하였다(Fig. 1).

본 연구를 위하여 국내 역학자료 등을 검토한 결과, 국내 자료에서는 카드뮴 노출과 노 중 단백질과의 상관성에 대해 논의된 자료는 있었으나 용량-반응 관계까지 연계된 자료는 확보하지 못하였다. 그렇기 때문에 향후 용량-반응

상관성이 인정되는 국내 자료가 확보된다면 국내 카드뮴 인체안전기준 설정에 활용하는 것이 합당하다고 사료된다. 또한 2001년 WHO에서 제안한 모델에 국내 식이섭취량에 대한 노 중 카드뮴 농도 비율을 적용하였는데, 현 상황에서 우리나라 인구집단을 대표할 수 있는 최적의 자료 이긴 하였으나, 동일인을 대상으로 하여 산출된 비율이 아니었으며, 우리나라 전체 인구집단의 평균 농도임을 감안할 때 불확실성이 일부 존재한다. 따라서 향후 이와 관련된 연구 또한 진행되어야 할 것이다. 그러나 본 연구를 통해 설정된 카드뮴 PTWI는 부처간 협의하에 합의된 기준으로서 공동의 관리목표를 설정하므로 관리효율성을 제고할 수 있으며 과학적 절차를 거쳐 설정된 국내 고유의 기준을 활용함으로써 안전관리에서 국제경쟁력 향상에도 기여할 수 있을 것이라 기대한다.

요 약

카드뮴에 대한 다양한 인체안전기준이 알려지고 있고, 각 국가마다 신장기능 이상을 나타내는 노 중 카드뮴 농도에 차이를 나타내고 있어 국내의 역학자료를 고려한 카드뮴

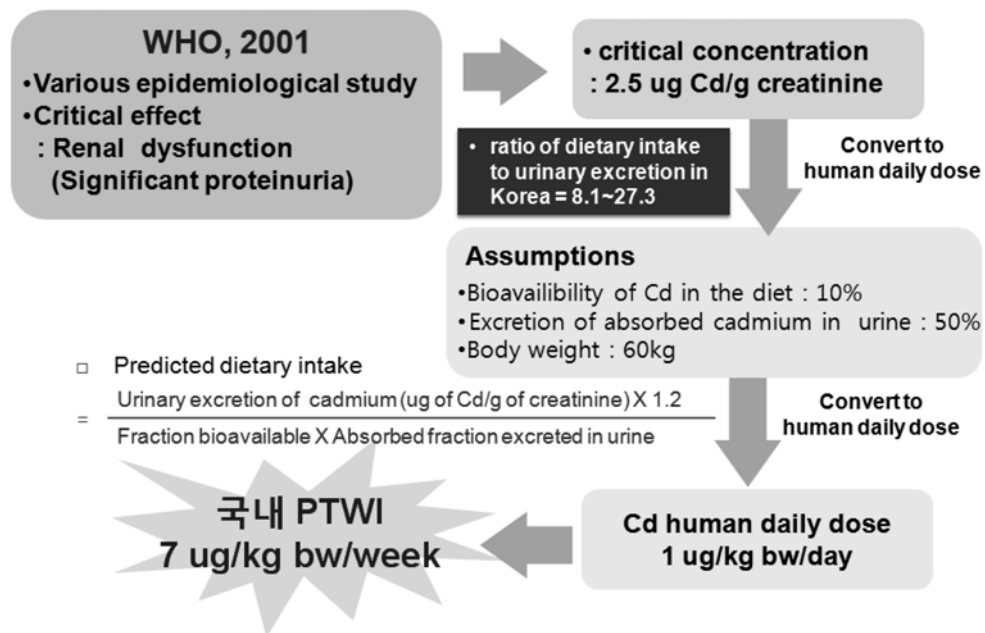


Fig. 1. Provisional tolerable weekly intake of cadmium in Korea.

인체안전기준을 검토·제안하므로 위해관리의 효율을 향상시키고자 본 연구를 수행하였다. WHO, USEPA, ATSDR에서 식이섭취량과 뇨 중 카드뮴 농도와의 상관관계를 PBPK 모델로 정립·제안한 방법이 검토되었으며, 최종적으로 WHO의 1일 인체섭취량 산출 모델에 따라 계산하였다. 국내 역학자료(병산리 폐광지역 인체역학조사)에 의하면 뇨 중 카드뮴 최고농도인 11.63 ug/g creatinine 수준에서도 단백뇨 등의 신장기능이상도 확인되지 않아, WHO 등 국외 역학자료를 검토하여 신장기능 이상을 나타내기 시작하는 뇨 중 카드뮴 농도를 2.5 ug/g creatinine으로 결정하였다. 카드뮴 오염원 노출과 무관할 것으로 예측되는 우리나라 성인의 뇨 중 카드뮴 수준 0.38 ug/g creatinine과 최근에 평가된 식품섭취를 통한 카드뮴 섭취량(8.3~10.4 ug/day)의 비율이 21.8~27.3 수준에 해당됨을 확인하여 이를 WHO에서 제안된 모델에 적용하였다. 식이섭취량과 신장 이상과의 상관관계 중 카드뮴 생체이용률 10%, 흡수된 카드뮴의 배출량을 50%로 가정한 결과를 국내 인체안전기준 설정에 적용한 결과(이 가정에서 사용된 식이섭취량에 대한 뇨 중 카드뮴 농도의 비율은 24), 신장기능 이상이 발생되기 시작하는 뇨 중 카드뮴 농도인 2.5 ug/g creatinine에 대해 예측된 카드뮴 1일 섭취량은 1 ug/kg bw/day여서, 이를 근거로 국내 카드뮴 PTWI를 7 ug/kg bw/week로 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 국립독성과학원(현 식품의약품안전평가원)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다(과제번호 08181유해물482).

참고문헌

1. WHO, Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food (2008).
2. USEPA, A Review of the reference dose and reference concentration process (2002).
3. ATSDR, Toxicological profile for cadmium (2008).
4. KFDA, Diethylhexyl phthalate(DEHP)의 TDI 제안 및 다이옥신 TDI 재평가 연구 (2006).
5. KFDA, 알루미늄의 TDI 평가 (2007).
6. Whelton, B.D., Peterson, D.P., Moretti, E.S., Dare, H. & Bhattacharyya, M.H., Skeletal changes in multiparous, nulliparous and ovariectomized mice fed either a nutrient-sufficient or -deficient diet containing cadmium. *Toxicol.*, **119**, 103-121 (1997).
7. Nordberg, G., Jin, T., Bernard, A., Fierens, S., Buchet, J.-P., Ye, T., Kong, Q. & Wang, H., Low bone density and renal dysfunction following environmental cadmium exposure in China, *Ambio*, **31**, 478-481 (2002).
8. Aoshima, K., Fan, J., Cai, Y., Katoh, T., Teranishi, H. & Kasuya, M., Assessment of bone metabolism in cadmium-induced renal tubular dysfunction by measurements of biochemical markers, *Toxicol. Lett.*, **136**, 183-192 (2003).
9. Honda, R., Tsuritani, I., Noborisaka, Y., Suzuki, H., Ishizaki, M. & Yamada, Y., Urinary cadmium excretion is correlated with calcaneal bone mass in Japanese women living in an urban area, *Environ. Res.*, **91**, 63-70 (2003).
10. Horiguchi, H., Oguma, E., Sasaki, S., Miyamoto, K., Ikeda, Y., Machida, M. & Kayama, F., Environmental exposure to cadmium at a level insufficient to induce renal tubular dysfunction does not affect bone density among female Japanese farmers, *Environ. Res.* (2004).

11. Shibutani, M., Mitsumori, K., Niho, N., Satoh, S., Hiratsuka, H., Satoh, M., Sumiyoshi, M., Nishijima, M., Katsuki, Y., Suzuki, J., Nakagawa, J. & Ando, M., Assessment of renal toxicity by analysis of regeneration of tubular epithelium in rats given low-dose cadmium chloride or cadmium-polluted rice for 22 months, *Arch. Toxicol.*, **74**, 571-577 (2000).
12. WHO, GEMS/Food Regional Diets(WHO/FSF/FOS/98.3), GMS/Food Programme (1998).
13. WHO, Evaluation of certain food additives and contaminants, 61-69 (2001).
14. USEPA, Toxicological review: cadmium and compounds, Integrated risk information system (1999).
15. KFDA, unpublished data (2007).
16. 환경부, 대기환경연보 (2008).
17. 환경부, 환경통계연감 (2008).
18. KFDA, unpublished data (2005).
19. KFDA, 한국인 대표식품 중 오염물질 섭취량 및 위해도 평가 (2007).
20. 환경부, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링(강릉) (2007).
21. 환경부, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링(충주) (2007).
22. 환경부, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링(포항) (2007).
23. 환경부, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링(광양) (2008).
24. 환경부, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링(시화반월) (2008).
25. 환경부, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링(포항) (2008).
26. 환경부, 2차 국민 인체내 유해물질 실태 조사 (2008).