대한산업의학회지 제 11 권 제 1 호 (1999년 3월)
Korean J Occup Environ Med, 1999;11(1):24-32

한국인의 심근 조직내 카드뮴 농도의 참고치

중앙대학교 의과대학 예방의학교실[1], 국립과학수사연구소[2]

박정덕* · 임현방* · 최병선* · 권일훈** · 이상연* · 강은용* · 홍연표* · 장임원*

— Abstract —

Reference Value of Cadmium in Myocardium in Korean

Jung-Duck Park*, Heon-Bang Lim*, Byung-Sun Choi*, Il-Hoon Kweon, Sang-Yeon Lee*, Eun-Yong Kang*, Yeon-Pyo Hong*, Im-Won Chang***

*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Chung-Ang University**
*Department of Forensic Medicine, National Institute of Scientific Investigation***

Cadmium(Cd) is an ubiquitous, toxic and non-essential metal which is controversial about the association with a cardiovascular disease. In this study, we investigated the reference level of Cd in myocardium in Korean general population. The level of Cd and zinc(Zn) concentration in myocardium of 252 cases of "sudden and unexpected death" autopsies(male : 172, female : 60) aged 0 to 87 years was analyzed. The concentration of Cd and Zn was determined with atomic absorption spectrophotometer(Perkin-Elmer Model 5100) by flameless and flame method, respectively.

The content of Cd and Zn in myocardium showed the log-normal distribution rather than normal distribution. Geometric mean concentration of Cd was 0.19 ㎍/g wet weight in myocardium. The level of Cd in myocardium was not significantly different between male(0.18 ㎍/g wet weight) and female(0.22 ㎍/g wet weight). Geometric mean concentration of Zn in myocardium was 25.25 ㎍/g wet weight. The level of Zn between male(25.13 ㎍/g wet weight) and female(25.57 ㎍/g wet weight) was not different. The deposit of Cd in myocardium was age-dependent of biphasic pattern, but the Zn level by age was not significantly different. The level of Cd in myocardium was increased to the fifties of age, thereafter a leveling-off was shown. The regression model of Cd deposit in myocardium by age was predicted as the following equation : Log Heart-Cd = -1.2726 + 0.0234 · Age - 0.0002 · Age^2. The maximum Cd deposit in myocardium was estimated to be 0.26 ㎍/g wet weight at the age of 58.5 in Korean general population. In addition, the total Cd burden in heart by age was predicted as a following equation : Total Cd burden in Heart = -

* 본 연구는 1997년도 중앙대학교 학술연구비 지원으로 이루어졌음.

10.165 + 2.891 · Age - 0.0258 · Age². The maximum heart burden of Cd was estimated to be 70.7 ㎍ at age of 55.4. The positive correlation between Cd and Zn was observed in myocardium. The linear regression equation was Log Heart-Zn = 1.4195 + 0.0262 · Log Heart-Cd.

Key Words : Cadmium, Zinc, Myocardium, Total Cd burden in heart

서 론

카드뮴(Cadmium, Cd)은 인체의 물질대사에 전혀 불필요한 유해금속물질(TNEM, toxic and non-essential heavy metal)로서 그 독성작용은 비교적 잘 알려져 있다. 카드뮴은 부식성에 대한 내성이 강하고 융점이 낮아 산업이 발달함에 따라 여러 분야에서 다양하게 이용되어 사용량이 증가되었다. 직업적으로 카드뮴을 취급하는 산업장 근로자뿐만 아니라 일반주민들도 오염된 생활환경을 통하여 미량이지만 카드뮴에 대한 폭로량이 증가되어 인체내 카드뮴 부하량이 증가되어 왔다(Drasch, 1983; Lauwerys 등, 1990). 카드뮴을 취급하는 산업장 근로자들에서 고혈압의 유병율이 높게 나타났으며, 심전도에서도 이상소견이 관찰되어 카드뮴에 대한 폭로가 심근에 영향을 미쳤음을 시사한 보고(Vorobjeva 와 Eremeeva, 1980)와 도시의 대기중 카드뮴농도와 심혈관계질환으로 인한 사망간에 상관이 있다(Carroll, 1966)고 연구 · 보고되었다. 또한 카드뮴에 오염된 지역주민들에서 평균여명(life-expectancy)의 단축과 심혈관계질환에 대한 표준화사망비가 높게 관찰된 바 있다(Nakagawa 등, 1990; Nishijo 등, 1995). 실험동물을 대상으로 한 민경준 등(1993)의 연구에서는 실험동물에 카드뮴을 투여한 후 각 장기별 조직소견을 관찰한 결과 카드뮴의 표적장기로 알려진 간장과 신장에서의 이상소견이 관찰된 카드뮴 투여량보다 적은 농도의 투여량에서 심장조직의 이상소견이 관찰되어 카드뮴에 의한 심장장애에 대한 문제점을 제기한 바 있다. 심혈관계질환은 현대인에 있어서 사망의 주요 원인으로서 관심이 매우 높은 질환이다(통계청, 1996). 그러므로 미량의 카드뮴에 의한 만성적인 폭로와 심혈관계질환과의 관계를 밝히는 것은 중요하다.

카드뮴에 대한 폭로와 심혈관계질환과의 인과관계를 규명하기 위해서는 카드뮴에 특별히 폭로된 적이 없는 일반 주민들에 있어서 생활환경을 통해 카드뮴에 폭로되어 심근 조직에 축적되는 카드뮴량 즉, 참고치에 대한 자료는 매우 유용하게 이용될 수 있다. 직업적으로 카드뮴에 폭로된 적이 없는 일반 주민들에 있어서의 카드뮴에 대한 주요 폭로 경로는 물과 농축산물 등 식품을 통한 소화기계통이다. 이때 토양내 카드뮴농도가 주요 요인으로 작용함으로 지역에 따라 카드뮴의 섭취량에 차이가 있을 수 있으며 인종, 성, 연령 및 식생활 양상에 따라서도 카드뮴의 폭로와 체내 흡수정도 및 분포상태가 차이가 나타날 수 있어 각 국가별로 자국의 참고치가 반드시 필요하다(Ellis 등, 1981; Ryan 등, 1982). 그러나, 국내에서 심근 조직내 카드뮴농도에 대한 연구로서는 부검체 30례를 대상으로한 장성길 등(1982)의 연구와 역시 부검체 27례를 대상으로 한 김수천(1985)의 연구 뿐으로서 성별과 연령에 따른 심근조직내 카드뮴농도을 대표할 수 있는 한국인의 참고자료(정상치, 대표치)로서 이용되기에는 매우 미흡한 실정이다.

이번 연구에서는 우선적으로 특별히 카드뮴에 폭로된 적이 없는 정상인의 부검체를 대상으로 심근조직내 카드뮴량을 분석하여 성별에 따른 차이 및 연령에 따른 변화유무를 관찰하여 한국인의 심근 조직내 카드뮴농도의 참고치를 제시함으로서 향후 카드뮴과 심혈관계질환과의 인과관계에 대한 연구를 위한 기초자료를 마련하고자 하였다. 아울러 카드뮴과 길항적 작용이 있다고 알려진 아연함유량도 함께 분석하여 카드뮴과 비교 · 분석하였다.

연구대상 및 방법

1. 조사대상

서울 인근지역에 소재하는 일부 대학병원의 병리학과와 국립과학수사연구소 법의학부에서 1996/

1997년에 '예기치 않은 갑작스런 사망(sudden and unexpected death)'으로 부검한 변사체중 중독증이나 특정 질환이 의심되는 것을 제외하고 부검 결과 정상인의 조직으로 판단된 것 중 232예를 조사 대상으로 하였다. 조사 대상자들의 사망시 확인가능했던 직업력이나 사인상 특별히 카드뮴에 폭로되었으리라 추정되는 과거력은 발견되지 않았으며, 이들의 흡연력에 대해서는 조사되지 않았다.

2. 시료채취 및 분석

(1) 시료채취

사체를 부검하는 즉시 심근 조직을 일부 채취하여 시료로 사용하였다. 채취한 시료는 혈액를 제거한 후 polyethylene 채취병에 넣어 조직의 건조를 방지하기 위하여 밀봉한 후 분석시까지 -20℃에서 일시 냉동·보관하였다.

(2) 시료 전처리

심근 조직내 중금속농도를 분석하기 위한 시료의 전처리는 Parker 등(1967)의 방법을 다소 수정하여 이용하였다. 즉, 심근 조직 약 1 g에 중금속 분석용 농질산과 증류수를 첨가하여 극초단파회화기(Microwave Digestion System, CEM)를 이용하여 습식회화하였다.

(3) 중금속 분석

심근 조직이 회화된 시료에 함유된 카드뮴과 아연량은 원자흡광분광광도계(Perkin-Elmer Model 5100)를 이용하여 분석하였다. 이때 회화액내 카드뮴은 Autosampler(Perkin-Elmer AS-60)와 Zeeman 방식의 Atomizer(Perkin-Elmer HGA-600)을 이용하여 flameless 방법으로 정량하였고, 아연은 회화액을 증류수로 단순희석하여 flame 방법으로 정량하였다. 카드뮴과 아연 표준용액은 각각 1,000 ppm의 원자흡광분석용 용액(Sigma)을 희석하여 사용하였다.

3. 자료정리 및 분석

분석결과 얻은 자료의 정리는 Microsoft Excel 7.0을 이용하였고, 통계처리는 SAS package(version 6.12)를 이용하여 Shapiro-Wilk 방법으로 조직내 중금속농도의 정규성을 검정하였고 GLM과 χ^2-검정 및 Pearson 상관분석방법 등으로 자료를 분석하였다.

연구결과

1. 조사대상자의 일반적 특성

조사대상자들의 성, 연령 및 지역별 분포는 Table 1과 같다. 즉, 성별로는 남자가 172례, 여자 60예로서 남자가 많았으며, 조사대상자들의 연령별 분포는 남·녀 간에 차이가 있었다($p<0.01$). 지역별로는 서울지역에 거주하였던 자가 112례 이었고, 경인 지역이 100례 및 기타 지역 20례 이었다.

Table 1. Demographic characteristics of subjects

		Male		Female		Total	
		n	(%)	n	(%)	n	(%)
Age (years)	0 ~ 19	15	(8.7)	8	(13.3)	23	(9.9)
	20 ~ 39	82	(47.7)	35	(58.4)	117	(50.4)
	40 ~ 59	68	(39.5)	8	(13.3)	76	(32.8)
	Above 60	7	(4.1)	9	(15.0)	16	(6.9)
	p-value		<0.01				
District	Seoul	83	(48.3)	29	(48.3)	112	(48.3)
	Kyonggi	75	(43.6)	25	(41.7)	100	(43.1)
	Others	14	(8.1)	6	(10.0)	20	(8.6)
	p-value		>0.1				
	Total	172	(100.0)	60	(100.0)	232	(100.0)

* p-value was the product of χ^2-test

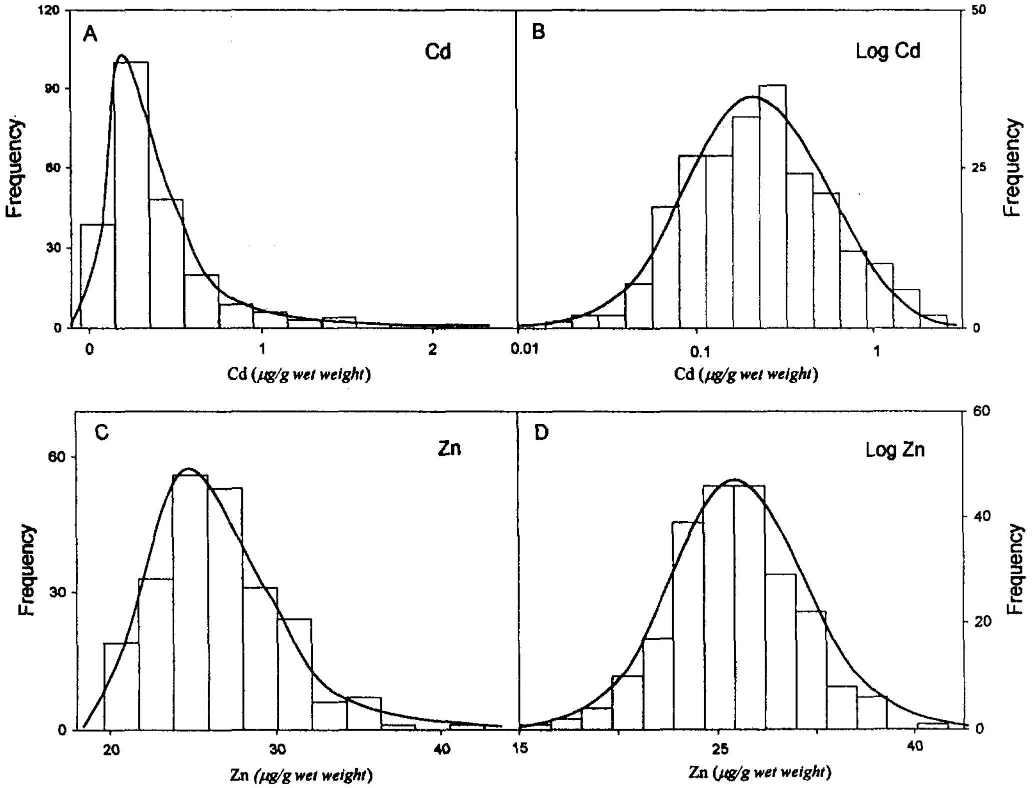

Fig. 1. Histogram of Cadmium and Zinc Concentration in Myocardium. Frequency distribution of arithmetic Cd concentration(A), logarithmic Cd concentration(B), arithmetic Zn concentration(C) and logarithmic Zn concentration(D)

Table 2. Geometric mean of cadmium and zinc in myocardium by sex and district

(unit : μg/g wet weight)

		Cadmium		Zinc	
		GM	(GSD)	GM	(GSD)
Sex	Male	0.18	(2.60)	25.13	(1.16)
	Female	0.22	(2.13)	25.46	(1.16)
	p-value	〉0.1		〉0.1	
District	Seoul	0.19	(2.56)	24.72	(1.16)
	Kyonggi	0.19	(2.28)	25.69	(1.16)
	Others	0.20	(3.14)	25.62	(1.12)
	p-value	〉0.1		〉0.1	
	Total	0.19	(2.48)	25.21	(1.16)

* GM : geometric mean, GSD : geometric standard deviation

p-value was the age-adjusted product of GLM

2. 심근 조직내 카드뮴과 아연의 평균농도

조사대상자 232례의 심근 조직내 카드뮴과 아연농도의 분포양상은 정규분포보다는 대수정규분포와 일치하였다(Fig. 1, p〉0.1).

조사대상자의 심근 조직내 카드뮴의 (기하)평균농도는 0.19 μg/g wet weight, (기하)표준편차 2.48 μg/g wet weight 였다. 성별 심근 조직내 카드뮴 농도는 남자 0.18 μg/g wet weight, 여자 0.22 μg/g wet weight로서 남녀간에 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 2, p〉0.1).

전체 대상자의 심근 조직내 (기하)평균 아연농도는 25.21 μg/g wet weight, (기하)표준편차 1.16 μg/g wet weight 였다. 성별로는 남자에서는 25.13 μg/g wet weight였고, 여자에서는 25.46 μg/g wet weight로서 심근 조직내 아연농도는 남녀간에 차이가 없었다(Table 2, p〉0.1). 조사대상

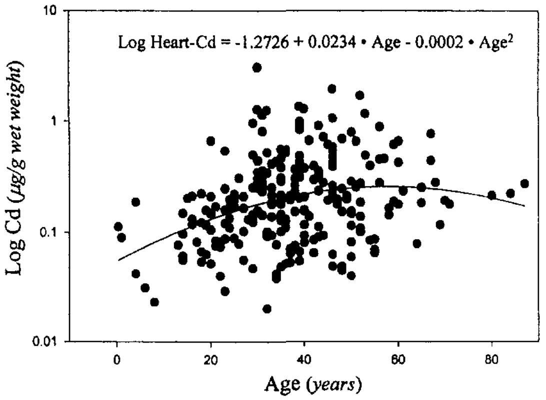

Fig. 2. Age-dependent pattern of cadmium concentration in myocardium. Heart-Cd presents the concentration of cadmium in myocardium

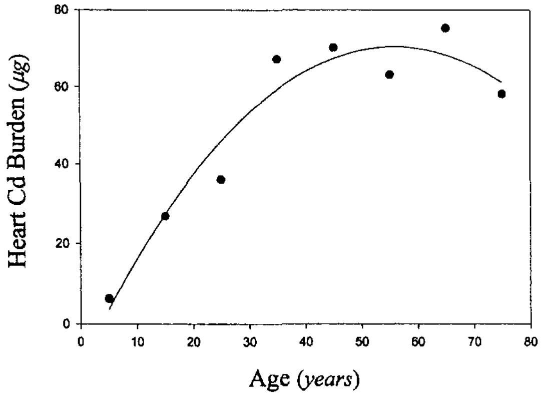

Fig. 3. The estimation of total cadmium burden in heart by age

자들의 거주지역에 따른 심근 조직내 카드뮴과 아연농도는 차이가 없었다(Table 2, p>0.1)

3. 연령군에 따른 심근 조직내 카드뮴과 아연농도

조사대상자들의 연령군에 따른 심근 조직내 카드뮴과 아연농도는 Table 3과 같다. 즉, 조사대상자들의 연령군에 따른 심근 조직내 평균 카드뮴농도는 연령군에 따라 차이가 있어(p<0.01) 전반적으로 연령이 증가함에 따라 심근 조직내 카드뮴농도가 증가되는 양상을 나타내었으나, 고연령층에서는 심근 조직내 카드뮴농도의 증가가 둔화되는 양상을 나타내었다. 심근 조직내 아연농도는 연령군에 따른 특별한 변화양상이 관찰되지 않았다(p>0.1).

Table 3. Geometric mean of cadmium and zinc in myocardium by age

(unit : μg/g wet weight)

Age (years)	n	Cadmium GM	Cadmium (GSD)	Zinc GM	Zinc (GSD)
0 ~ 19	23	0.09	(1.85)	24.35	(1.13)
20 ~ 39	117	0.19	(2.48)	25.46	(1.17)
40 ~ 59	76	0.23	(2.54)	25.06	(1.17)
Above 60	16	0.25	(1.80)	25.41	(1.12)
p-value		<0.01		>0.1	

* GM : geometric mean,
GSD : geometric standard deviation
p-value was the product of GLM

4. 연령에 따른 심근 조직내 카드뮴농도의 추정

조사대상자 전체의 각 연령별 심근 조직내 카드뮴농도의 분포양상은 Fig. 2와 같다.

즉, 심근 조직내 카드뮴농도는 연령에 따라 증가되었으나 고연령층에서는 오히려 다소 감소되는 양상으로 관찰되어 양자간에는 1차적인 관계보다는 2차 함수적인 관계에 더 적합하였다. 따라서 한국사람들에 있어서 연령별 심근 조직내 카드뮴농도 산출의 예측식은 $Log\ Heart - Cd = -1.2726 + 0.0234 \cdot Age - 0.0002 \cdot Age^2$($r=0.321$, $p<0.01$)로 추정되어 약 58.5세까지는 심근 조직내 카드뮴축적량이 0.26 μg/g wet weight 으로 증가되다가 그 이후에는 감소되는 것으로 관찰되었다. 한국인의 평균 심장무게(서중석, 1996)를 이용하여 추정한 연령에 따른 심장내 총 카드뮴 부하량은 $Total\ Heart\text{-}Cd = -10.165 + 2.891 \cdot Age - 0.0258 \cdot Age^2$로 추정되어 약 55.4세에 최고 70.7 μg이 축적되는 것으로 추정되었다(Fig. 3).

5. 심근 조직내 카드뮴과 아연과의 관계

심근 조직내 카드뮴과 아연농도간에는 유의한 양의 상관이 있어 카드뮴농도가 높을수록 아연농도도 높은 것으로 관찰되었으며, 양자간에는 $Log\ Heart\text{-}Zn = 1.4195 + 0.0262 \cdot Log\ Heart\text{-}Cd$의 관계가 성립되었다(Fig. 4, $r=0.161$, $p<0.05$).

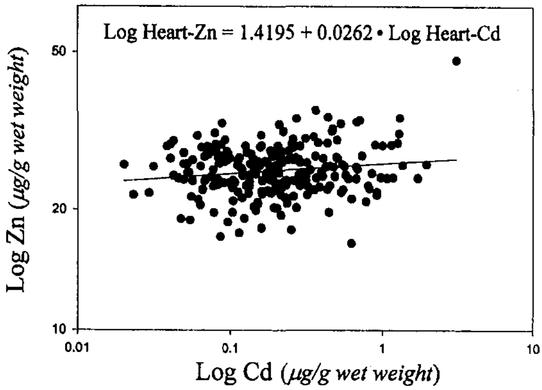

Fig. 4. The relationship between cadmium and zinc concentration in myocardium. Heart-Cd and Heart-Zn present the concentration of cadmium and zinc in myocardium, respectively

고　찰

과량의 카드뮴에 대한 폭로는 호흡기장애(직업적 폭로), 신장기능저하 및 골연화증과 같은 뼈의 장애(환경 및 직업적 폭로) 등을 유발하는 것으로 알려져 있다(WHO, 1992). 그러나 고혈압 등 순환기계 장애에 대한 카드뮴의 역할은 잘 밝혀져 있지 않다. Schroeder(1965)가 본태성 고혈압의 발생에 카드뮴이 기여할 것이라고 처음 제시한 이래, 카드뮴과 심혈관계 질환과의 관련성에 대한 많은 보고가 있었으나 학자들간에 의견이 매우 구구한 편이다(Kazantzis 등, 1988; Staessen 등, 1991; Nishijo 등, 1995).

카드뮴에 폭로되었을 때 여러 경로를 통해 체내 흡수된 카드뮴의 심장 조직내 축적되는 양은 매우 적은 것으로 알려져 있다(Iwao 등, 1983; Gale 등, 1984). 특별히 카드뮴에 폭로된 적이 없으며 급사(sudden and unexpected death)한 232예의 변사체를 대상으로 한 이번 조사에서, 한국인들의 심근 조직내 평균 카드뮴농도는 0.19 ㎍/g wet weight(남자 : 0.18, 여자 : 0.22 ㎍/g wet weight)이었다. 이는 국내 자료로서 부검체 30예를 대상으로 한 장성길 등(1982)의 0.06 ㎍/g wet weight 보다는 매우 높으나 부검체 27례를 대상으로 한 김수천(1985)의 0.35 ㎍/g wet weight 보다는 다소 낮은 수준이다. 외국자료와 비교해 볼 때 한국인의 심근 조직내 카드뮴농도는 일본인(평균 : 0.47 ㎍/g wet weight, Iwao 등, 1983)에 비해서는 낮으나 구라파 지역보다는 높은 수준이다(Salmela 등, 1983). 보고자 및 국가에 따라 보고된 심근 조직내 카드뮴 축적량의 차이를 나타내는 것은 분석방법에 따른 차이와 인종에 따른 흡수 및 대사의 차이도 있겠으나, 지역별로 환경내 카드뮴농도의 차이로 인해 각 지역에서 생산된 농·수산물에 함유된 카드뮴농도가 다름으로 인한 카드뮴 섭취량의 차이에 기인하는 것으로 이해되고 있다(Piscator, 1985). 그러나, 심근 조직내 카드뮴 농도는 254예의 부검체를 대상으로 한 연구에서 제시한 체내 흡수된 카드뮴의 주된 축적장기인 신장과 간장 조직내 카드뮴의 한국인 평균농도 신장 27.4 ㎍/g wet weight, 간장 3.1 ㎍/g wet weight에 비해 매우 낮은 수준이었다(Park 등, unpublished). 또한 이번 자료를 근거로 한국인의 연령별 표준 심장무게(서중석, 1996)를 이용하여 추정한 연령별 심장내 총 카드뮴량의 최고치는 55.4세에서 약 70.7 ㎍로 산출되었다. 이는 한국인에서 체내 카드뮴 총부하량(Total body burden of Cd)이 가장 높은 50.7세에서의 26.5 ㎎에 비해 매우 적은 량에 해당된다(Park 등, unpublished). 이러한 결과는 직업적으로 카드뮴에 특별히 폭로되지 않은 일반 사람들에 있어서 생활환경을 통해 미량의 카드뮴에 만성적으로 폭로되는 경우 심장은 인체에서 카드뮴의 주요 축적장기가 아님을 시사하는 자료이다.

그러나, itai-itai 병으로 진단된 사람들에 대한 추적조사에서 누적생존률이 일반 사람들에 비해 유의하게 감소되었고(Nakagawa 등, 1990), 카드뮴 오염지역주민들중 단백뇨(retinol binding proteinuria)가 있는 군에서의 심혈관계질환에 대한 표준화 사망비가 높게 나타났으며(Nishijo 등, 1995), 본태성 고혈압군에서 요중 카드뮴농도가 높게 나타난 보고(Lin 등, 1995) 등의 미량·만성적 카드뮴 폭로와 심혈관계질환과의 관련성을 지지하는 잇단 연구가 보고되고 있다. 카드뮴에 의한 심혈관계질환의 기전으로는 카드뮴의 심근 흥분전달체계에 대한 영향(Kopp 등, 1980), atrial natriuretic peptide(ANP) 수용체에 대한 영향(Giridhar 등, 1992) 및 심근 수축력의 저하로 관상동맥 혈류량의

감소(Kisling 등, 1993) 등으로 설명되고 있으나 아직 확실히 밝혀지지 않았다. 상술한 바와 같이 심장에 축적되는 카드뮴량은 체내 총 부하량으로 볼 때 매우 적은 편이나, 심장질환이 주요 사망원인으로 대두되고 있는 현 시점에서 카드뮴과 심혈관계질환과의 관련성에 대한 관심과 주의를 기울일 필요가 있다고 생각한다.

이번 연구에서 조사대상자들의 연령에 따른 심근 조직내 카드뮴농도는 30대까지는 연령이 많아짐에 따라 증가되다가 40~50대에서 증가양상이 둔화되었으며, 60대 이후에서는 오히려 심근 조직내 카드뮴 축적량이 감소되는 것으로 관찰되었다. 연령과 심근 조직내 카드뮴농도간의 관계는 1차 함수보다는 2차 함수적 관계에 더 적합하여, 연령별 심근 조직내 카드뮴농도를 추정할 수 있는 예측식은 $\text{Log Heart-Cd} = -1.2726 + 0.0234 \cdot \text{Age} - 0.0002 \cdot \text{Age}^2$로 산출되었다. 산출된 예측식으로부터 한국인에 있어서 심근 조직내 카드뮴이 연령에 따라 증가하다가 오히려 감소되기 시작하는 시점 즉, 심근 조직내 카드뮴농도가 최고치를 나타내는 시기는 약 58세에 해당되었으며 이때 카드뮴농도는 0.26 ㎍/g wet weight로 추정되었다. 연령군에 따른 심근 조직내 카드뮴농도에 대한 일본의 조사(Iwao 등, 1983)에서는 45~59세군에서 심근 조직내 카드뮴농도가 최고수준을 나타내어 이번 연구결과와 비슷하였다. 심근 조직내 카드뮴농도가 연령에 따라 증가되다가 50대 후반 이후부터 감소되는 양상을 나타내는 것은 인체내에서 카드뮴의 긴 반감기와 관련이 있는 것으로 일부 설명되고 있다(Meranger 등, 1981).

조사대상자들의 심근 조직내 평균 아연농도는 25.21 ㎍/g wet weight로서 다른 보고자(김수천, 1985; Iwao 등, 1983)와 비슷한 수준이었다. 심근 조직내 아연농도는 연령에 따른 특별한 변화가 관찰되지 않아 체내 물질대사에 필수적인 금속이온인 아연의 조직내 분포양상은 카드뮴과는 다른 것으로 관찰되었다. 그러나, 심근 조직내 카드뮴과 아연농도간에는 유의한 양의 상관관계가 있는 것으로 관찰되었다. 이는 카드뮴에 폭로되었을 때 카드뮴의 독성에 대한 방어기전으로 심근 조직에서도 metallothionein의 합성이 유도되어 카드뮴과 결합함으로서 카드뮴을 무독화시키는데, 일반 주민들의 경우 환경오염에 의해 미량의 카드뮴에 만성적으로 폭로되는 경우 조직내 카드뮴은 대부분 metallothionein과 결합된 상태로 존재하며 이때 조직내 아연도 metallothionein과 일정한 비로 결합되어 존재하기 때문인 것으로 추정된다고 보고되었다(Iwao 등, 1983; Takacs와 Tatar, 1987).

결 론

카드뮴은 생활주변에 널리 존재하나 인체의 물질대사에는 불필요한 유해금속으로서 심혈관계질환과의 관련성에 대한 논쟁이 계속 되고 있다. 이 연구에서는 카드뮴과 심혈관계질환과의 인과관계에 대한 연구를 위한 기초자료를 마련하기 위하여 특별히 카드뮴에 폭로된 적이 없는 0~87세 범위의 부검체 232례(남자 : 172례, 여자 : 60례)를 대상으로 한국인의 심근 조직내 카드뮴농도의 참고치를 마련하였다. 심근 조직내 중금속 농도는 원자흡광분광광도계를 이용하여 카드뮴은 flameless방법으로, 아연은 flame방법으로 분석하였다.

심근 조직내 카드뮴과 아연농도는 대수정규분포하였다. 한국인의 심근 조직내 카드뮴농도의 기하평균치는 0.19 ㎍/g wet weight 였고, 성별로는 남자는 0.18 ㎍/g wet weight, 여자 0.22 ㎍/g wet weight로서 남녀간에 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 심근 조직내 평균 아연농도는 25.25 ㎍/g wet weight 였고, 남자(25.13 ㎍/g wet weight)와 여자(25.46 ㎍/g wet weight) 간에 비슷하였다. 한국인에 있어서 연령에 따른 심근 조직내 카드뮴농도는 연령이 많을수록 증가하다가 약 60세 이후에는 감소되는 양상을 나타내었으나 아연은 특별한 변화양상이 관찰되지 않았다. 심근 조직내 카드뮴농도는 연령과 2차 함수적인 관계를 나타내어 연령에 따른 심근 조직내 카드뮴축적량의 예측식이 $\text{Log Heart-Cd} = -1.2726 + 0.0234 \cdot \text{Age} - 0.0002 \cdot \text{Age}^2$로 산출되어, 한국인에 있어서 심근 조직내 카드뮴의 최고 농도는 58.5세에서 0.26 ㎍/g wet weight로 추정되었다. 한국인의 연령별 표준 심장무게로부터 산출된 연령에 따른 심장내 카드뮴의 총 부하량 즉, $\text{Total Cd Burden in Heart} = -10.165 + 2.891 \cdot \text{Age} - 0.0258 \cdot \text{Age}^2$로 산출되어 카드뮴 부하량의 최대치는 55.4세에 70.7 ㎍으로 추정되었다. 심근 조직내 카드뮴과 아연은 유

의한 양의 상관이 있어 Log Heart-Zn = 1.4195 + 0.0262 · Log Heart-Cd 의 직선적인 회귀관계가 성립되었다.

인용문헌

김수천. 인체 장기조직내 카드뮴, 아연, 망간, 철, 동의 함량에 관한 조사. 부산대학교 박사학위논문 1985.

민경준, 박정덕, 홍연표, 장임원. 카드뮴 급성폭로에 의한 metallothionein 생성과 독성작용. 예방의학회지 1993;26:231-250.

서중석. 정상 한국인 심장의 형태계측학적 연구. 한국인 남·여의 신장, 체중, 체표면적과 심장무게와의 상관관계. 국립과학수사연구소연보 1996;28:162-166.

장성길, 문병렬, 정규철. 한국인의 각 장기조직중의 미량중금속 원소분포: 연, 카드뮴 및 동의 함량. 예방의학회지 1982;15:95-110.

통계청. 사망원인 통계연보: 인구동태신고에 의한 집계. 서울 : 통계청, 1996.

Carroll RE. The relationship of cadmium in the air to cardiovascular disease death rates. J Am Med Asso 1966;198:267-269.

Drasch GA. An increase of cadmium body burden for this century-An investigation on human tissues. Sci Total Environ 1983;26:111-119.

Ellis KJ, Morgan WD, Zanzi I, Yasumura S, Vartsky D, Cohn SH. Critical concentrations of cadmium in human renal cortex: Dose-effect studies in cadmium smelter workers. J Toxicol Environ Health 1981;7:691-703.

Gale GR, Atkins LK, Smith AB, Walker EM, Jones MM, Hodge RP. Heterocyclic N-dithiocarboxylates as cadmium antagonists: 4-hydroxypiperidine and 4-carboxamidopiperidine-N-dithiocarboxylate. Res Comm Chem Pathol Pharmacol 1981;43: 281-298.

Giridhar J, Rathinavelu A, Isom GE. Interaction of cadmium with atrial natriuretic peptide receptors: implications for toxicity. Toxicology 1992;75:133-143.

Iwao S, Tsuchiya K, Sugita M. Variation of cadmium accumulation among Japanese. Arch Environ Health 1983;38:156-162.

Kisling GM, Kopp SJ, Paulson DJ, Tow JP. Cadmium-induced attenuation of coronary blood flow in the perfused rat heart. Toxicol Appl Pharmacol 1993;118:58-64.

Kazantzis G, Lam TH, Sullivan KR. Mortality of cadmium exposed workers. A five-year update. Scand J Work Environ Health 1988;14:220-223.

Kopp SJ, Perry HM, Glonek T, Erlanger M, Perry EF, Barany M, D'agrosa LS. Cardiac physiologic-metabolic changes after chronic low-level heavy metal feeding. Am J Physiol 1980;239:H22-H30.

Lauwerys R, Amery A, Bernard A, Bruaux P, Buchet JP, Claeys F, De Plaen P, Ducoffre G, Fagard R, Lijnen P, Nick L, Roels H. Health effects of environmental exposure to cadmium: objectives, design and organization of the Cadmibel Study: a cross-sectional morbidity study carried out in Belgium from 1985 to 1989. Environ Health Perspect 1990;87:283-289.

Lin JL, Lu FH, Yeh KH. Increased body burden in Chinese women without smoking and occupational exposure. Clin Toxicol 1995;33:639-644.

Meranger JC, Conacher HBS, Cunningham HM, Krewski D. Levels of cadmium in human kidney cortex in Canada. Can J Publ Health 1981; 72:269-272.

Nakagawa H, Tabata M, Morikawa Y, Senma M, Kitagawa Y, Kawano S, Kido T. High mortality and shortened life-span in patients with itai-itai disease and subjects with suspected disease. Arch Environ Health 1990;45:283-287.

Nishijo M, Nakagawa H, Morikawa Y, Tabata M, Senma M, Miura K, Takahara H, Kawano S, Nishi M, Mizukishi K, Kido T, Nogawa K. Mortality of inhabitants in an area polluted by cadmium: 15 year follow up. Occup Environ Med 1995;52:181-184.

Park JD, Choi BS, Kweon IH et al.(unpublished). Reference values of cadmium in kidney and liver in Korean.

Parker MM, Humoller FL, Mahler DJ. Determination of copper and zinc in biological material. Clin Chem 1967;13:40-48.

Piscator M. Dietary exposure to cadmium and health effects: Impact of environmental changes. Environ Health Persp 1985;63:127-132.

Ryan JA, Pahren HR, Lucas JB. Controlling cadmium in the human food chain: A review and rationale based on health effects. Environ Res 1982;28:251-302.

Salmela SS, Vuori E, Huunan-Seppala A, Kilpio JO. Body burden of cadmium in man at low level of exposure. Sci Tot Environ 1983;27:89-95.

Schroeder HA. Cadmium as a factor in hypertension. J Chr Dis 1965;18:647-656.
Staessen J, Amery A, Bernard A, Bruaux P, Buchet JP, Bulpitt CJ, Claeys F, DePlaen P, Ducoffre G, Fagard R, Lauwergs RR, Lijnen P, Nick L, Saint Remy A, Roels H, Rondia D, Sartor F, Thijs L. Blood pressure, the prevalence of cardiovascular disease, and exposure to cadmium: A population study. Am J Epidemiol 1991;134:257-267.
Takacs S, Tatar A. Trace elements in the environment and in human organs I. Methods and results. Environ Res 1987;42:312-320.
Vorobjeva RS, Eremeeva EP. Cardiovascular function in workers exposed to cadmium. Gig I Sanit 1980;10:22-25. Cited from WHO. Effects on humans. In IPCS Environmental Health Criteria 134 Cadmium. Geneva : WHO, pp 154-157, 1992.
WHO. Kinetics and metabolism in laboratory mammals and human. In IPCS Environmental Health Criteria 134 Cadmium. Geneva : WHO, pp 67-96, 1992.