

정상 한국인 장기조직중 중금속류의 상호관련성

이상기 · 유영찬 · 정규혁*#

국립과학수사연구소, *성균관대학교 약학부

(Received September 1, 1999)

Interrelationship Between the Concentration of Heavy Metals in Normal Korean Tissues

Sang Ki Lee, Young Chan Yoo and Kyu Hyuck Chung**

National Institute of Scientific Investigation, Seoul 158-097, Korea

*College of Pharmacy, SungKyunKwan University, Suwon 440-746, Korea

Abstract — Concentrations of heavy metals, including As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Si, Sn, V and Zn in the internal organs (liver, kidney, heart, lung, spleen, cerebrum and bone) of Korean obtained from 91 forensic medical autopsy cadavers, with an age range of 12-87 years, were determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. From the results, positive correlation with age was observed in the following cases : Cd in liver, kidney and cerebrum; Fe in cerebrum and bone; Pb in bone; V in lung. Copper in heart, Hg in bone and Mn in kidney correlated negatively with age. A significantly positive correlation between Se and Hg was only observed in heart. Significant correlation coefficients between Se and As were observed in liver, kidney, heart, spleen and bone. The correlation between Cd and Zn was significant in liver and kidney, indicating that the distribution of Cd is similar to that of Zn in the liver and kidney.

Keywords □ Tissues, heavy metals, ICP-AES, interrelationship, age.

산업활동의 결과 인체에 유해한 중금속이 환경에 배출되어 동물이나 사람에게 축적되고 있다.¹⁾ 인체 장기 조직에 축적 분포되는 중금속류는 주로 식품이나 생활 환경으로부터 유래되므로 어떤 환경에서 생활하느냐에 따라 인체에 축적되는 양이 달라질 수도 있다. 또한 체내에 함유되는 중금속류의 분포와 상호간의 상관관계의 특징은 인종간 또는 개인간에 서로 차이가 나타나게 된다. 따라서 여러 선진국에서는 자국민을 대상으로 체내에 존재하는 중금속류의 분포 및 농도사이의 상관관계에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.²⁻¹⁰⁾ Koeman 등¹¹⁾이 물고기섭취로 인해 methylmercury를 다량 섭취한 물가와 돌고래의 간장에서 수은과 셀레늄 농도의 상관관계를 보고한 이후 이들 중금속 농도사이

의 상관관계가 다른 해양 포유동물에서 지속적으로 확증되었으며,¹²⁻¹⁴⁾ 간장에서 셀레늄과 수은의 공동 축적은 수은에 대한 셀레늄의 보호효과로 해석되어 왔다. 인체 축적성 중금속간의 대표적 상관관계로 미니마타 병 희생자의 장기조직에서 수은과 셀레늄이 고농도로 검출되었다고 보고¹⁵⁾가 있으며, 이와 같이 체내 유해 물질의 증가와 더불어 생체내 독성을 감소시킬 수 있는 저해물질들의 증가에 대한 관심이 커지고 있다. 한편 Schmidt 등¹⁰⁾은 인체내 중금속 함량은 연령에 따라 변화가 있음을 보고한 바 있다. 그러나 아직 우리나라에서는 장기조직중 중금속농도간의 상관관계 및 연령에 따른 농도변화에 대한 자료가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 한국인 체내 중금속류의 분포 특성 및 상호관련성을 알아보기 위해 조사대상으로 외인성 요인에 의하여 사망한 사체 91구를 선정하여 각 장기조직에 함유된 중금속류의 함량을 측정하고 중금

* 본 논문에 관한 문의는 이 저자에게로
(전화) 0331-290-7714 (팩스) 0331-292-8800

Table I – Distribution of age and sex of individual subjects

Sex	Number of subjects	Mean age(SD)
Male	61	42.4 (14.1)
Female	30	37.0 (20.5)
Total	91	40.6 (16.5)

속류 상호간의 상관성 및 연령에 따른 분포를 조사하였다.

실험방법

시료의 채취 – 1997년 7월부터 1999년 3월까지 국립과학수사 연구소에 부검의뢰된 사체중 병리조직학적 검사를 통하여 내인성 질환이 없는 사체 91구에 대하여 인체부위별 장기조직(간장, 신장, 대뇌, 심장, 비장, 폐 및 뼈)을 채취하여 -40°C 에서 보관하면서 실험에 사용하였다. 시료사체의 사망시 연령은 12세에서 87세였으며 조사대상 사체의 연령별, 성별 분포는 Table I 과 같다.

분석방법 – 간장, 신장, 폐, 심장, 비장 및 뇌는 약 2g 을, 뼈는 약 1g 을 밀폐형 teflon vessel에 정확히 취한 다음 유해금속측정용 농질산 6ml와 H_2O_2 1ml를 넣은 후 microwave digestion system(Milestone s.r.l. mls 1200 mega, Italy)으로 분해하였다. 분해액에 증류수를 가하여 20ml로 눈금을 맞춘 다음 시험용액으로 하였으며, 시약만을 넣고 시료와 동일한 조건으로 처리하여 공시험용 시험용액으로 하였다. 따로 간장 등의 장기조직에 중금속 표준액을 가하여 회수율을 측정하였다. 중금속 함량은 유도결합형 플라스마 원자발광광도계(ICP-AES, Thermo Jarrell Ash, AtomScan 25, USA)를 사용하여 측정하였다.

통계학적 분석 – 실험결과와 통계처리는 Student t-test 및 Pearson 상관관계수에 준하였고, p값이 0.05보다 작을 때 유의성이 있는 것으로 판정하였다.

실험결과 및 고찰

내인성 질환이 없는 한국인 사체 91구를 대상으로 간장, 신장, 폐, 심장, 비장, 뇌 및 뼈 등의 장기조직 중 중금속 함량을 조사하였다.

Table II에는 측정 조사된 정상 한국인의 간장, 신장,

심장, 폐, 비장, 뇌 및 뼈에 함유되어 있는 각 중금속의 평균농도와 표준편차를 $\mu\text{g/g} \cdot \text{wet weight}$ 와 nmol/g 또는 $\text{mol/g} \cdot \text{wet weight}$ 로 표시한 것이다. 개별 중금속의 농도가 검출한계 미만일 경우에는 평균값 계산시 영으로 처리하였다. 구리(Cu), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo) 및 아연(Zn)은 간장에서, 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 납(Pb)은 신장에서, 크롬(Cr), 규소(Si)는 폐에서 고농도로 검출되어 각 금속에 대한 축적장기임을 알 수 있었다.

각 장기조직에서 중금속의 농도와 연령에 관한 상관관계는 Table III에서 보는 바와 같다. 카드뮴(Cd)은 간장, 신장 및 대뇌에서, 철(Fe)은 대뇌 및 뼈에서, 납(Pb)은 뼈에서, 규소(Si)는 폐 및 뼈에서, 바나듐(V)은 폐에서 연령과 농도간에 유의성있는 순상관관계가 나타났다. 구리(Cu)는 심장에서, 수은(Hg)은 뼈에서, 망간(Mn)은 신장에서 유의성있는 역상관관계를 보여주었다. 비소(As), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 니켈(Ni), 셀레늄(Se), 주석(Sn) 및 아연(Zn)은 시험된 모든 장기에서 연령의 증가에 따른 유의성있는 농도변화가 관찰되지 않았다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 신장 중의 카드뮴(Cd) 농도는 연령의 증가에 따라 증가됨을 보여주고 있다. Livingston¹⁶⁾은 성인과 유아의 신장피질에서의 카드뮴(Cd) 농도와 연령간에 관련성이 있음을 보고하였으며, Elinder¹⁷⁾은 신장피질, 간장 및 췌장에서 카드뮴(Cd)농도를 연령별, 성별로 비교분석한 결과 농도 증가가 연령증가 및 흡연습관과 밀접한 관계가 있음을 보고하였다. Yoshinaga⁸⁾도 간장과 신장에서 카드뮴(Cd)의 농도는 연령과 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 또한 간장 및 신장에서 카드뮴(Cd)의 농도는 40대나 50대에서 가장 높고, 그 이후의 연령에서는 감소한다고 보고^{8,17-19)}된 바도 있다.

납(Pb)은 뼈에서 연령과 밀접한 관계를 보여주었다(Fig. 2). Schmidt¹⁰⁾은 뼈에서 납(Pb)농도는 연령의 증가와 함께 증가하고, 간장, 신장 및 근육에서는 감소하는 경향을 나타낸다고 보고하였으나 본 연구에서는 뼈를 제외한 기타 장기조직에서는 유의성있는 변화가 관찰되지 않았다. 대기분진 중에 함유된 규소화합물은 호흡을 통해 폐에 침착하는 것으로 알려져 있는데,²⁰⁾ 본 연구에서는 규소(Si)가 타장기에 비해 폐에서 고농도로 검출되어 호흡기를 통한 노출을 간접적으로 추정할 수 있었으며, 연령의 증가에 따라 그 함량도 유의성있게 증가하였다(Fig. 3).

Table II - Elemental concentrations in internal organs of Korean(wet weight basis).

Element	Liver		Kidney		Heart		Lung		Spleen		Cerebrum		Bone	
	N	Mean(SD)	N	Mean(SD)	N	Mean(SD)	N	Mean(SD)	N	Mean(SD)	N	Mean(SD)	N	Mean(SD)
As(g)	86	0.81(0.82)	86	0.78(0.80)	84	0.72(0.71)	90	0.95(1.1)	82	0.74(0.71)	80	0.60(0.55)	87	3.0(1.6)
(nmol/g)		10.8(10.9)		10.4(10.7)		9.61(9.48)		12.7(14.7)		9.88(9.48)		8.01(7.34)		40.0(21.4)
Cd(g)	91	3.0(2.4)	87	33(17)	88	0.13(0.15)	88	0.30(0.27)	90	0.40(0.43)	85	0.06(0.07)	88	0.15(0.17)
(nmol/g)		47.2(37.8)		519(268)		2.05(2.36)		4.72(4.25)		6.29(6.77)		0.94(1.10)		2.36(2.68)
Cr(g)	90	0.42(0.24)	90	0.27(0.21)	88	0.24(0.19)	87	0.57(0.40)	85	0.54(0.31)	86	0.21(0.14)	83	1.6(0.58)
(nmol/g)		8.08(4.62)		5.19(4.04)		4.62(3.65)		11.0(7.69)		10.4(5.96)		4.04(2.69)		30.8(11.2)
Cu(g)	90	5.6(2.8)	88	1.8(0.54)	90	2.4(0.59)	87	0.97(0.57)	89	0.88(0.42)	91	3.1(0.92)	83	0.57(0.35)
(nmol/g)		88.1(44.1)		28.3(8.50)		37.8(9.28)		15.3(8.97)		13.8(6.61)		48.8(14.5)		8.97(5.51)
Fe(g)	88	192(91)	90	83(35)	88	55(15)	87	237(98)	87	330(202)	88	49(12)	87	71(34)
(mol/g)		3.44(1.63)		1.49(0.63)		0.98(0.27)		4.24(1.75)		5.91(3.62)		0.88(0.21)		1.27(0.61)
Hg(g)	87	0.22(0.22)	88	0.33(0.31)	86	0.13(0.18)	84	0.15(0.19)	85	0.14(0.17)	88	0.12(0.15)	88	2.7(0.81)
(nmol/g)		1.10(1.10)		1.65(1.55)		0.65(0.90)		0.75(0.95)		0.70(0.85)		0.60(0.75)		13.5(4.04)
Mn(g)	90	1.5(0.57)	89	0.99(0.31)	90	0.33(0.15)	87	0.23(0.17)	89	0.22(0.16)	90	0.30(0.10)	87	0.12(0.12)
(nmol/g)		27.3(10.4)		18.0(5.64)		6.01(2.73)		4.19(3.09)		4.00(2.91)		5.46(1.82)		2.18(2.18)
Mo(g)	87	0.71(0.39)	87	0.27(0.18)	87	0.14(0.18)	88	0.15(0.20)	89	0.14(0.20)	88	0.12(0.18)	81	0.11(0.17)
(nmol/g)		7.40(4.07)		2.81(1.88)		1.46(1.88)		1.56(2.08)		1.46(2.08)		1.25(1.88)		1.15(1.77)
Ni(g)	83	0.15(0.23)	84	0.21(0.31)	84	0.25(0.37)	80	0.24(0.35)	83	0.20(0.29)	84	0.12(0.19)	79	0.20(0.32)
(nmol/g)		2.56(3.92)		3.58(5.28)		4.26(6.30)		4.09(5.96)		3.41(4.94)		2.04(3.24)		3.41(5.45)
Pb(g)	81	0.34(0.34)	88	0.44(0.53)	87	0.33(0.50)	81	0.30(0.26)	87	0.35(0.38)	84	0.24(0.27)	87	1.5(0.82)
(nmol/g)		1.64(1.64)		2.12(2.56)		1.59(2.41)		1.45(1.25)		1.69(1.83)		1.16(1.30)		7.24(3.96)
Se(g)	45	1.0(0.60)	47	1.3(0.52)	46	0.66(0.34)	47	0.97(0.77)	47	1.2(0.76)	47	0.58(0.51)	46	0.94(1.1)
(nmol/g)		12.7(7.60)		16.5(6.59)		8.36(4.31)		12.3(9.75)		15.2(9.63)		7.35(6.46)		11.9(13.9)
Si(g)	84	9.6(10)	81	11(13)	89	18(30)	88	49(49)	82	11(14)	80	11(12)	81	50(50)
(nmol/g)		342(356)		392(463)		641(1068)		1745(1745)		392(498)		392(427)		1780(1780)
Sn(g)	85	0.38(0.35)	90	0.35(0.39)	91	0.28(0.37)	88	0.32(0.39)	89	0.30(0.35)	90	0.21(0.25)	85	1.0(0.74)
(nmol/g)		3.20(2.95)		2.95(3.29)		2.36(3.12)		2.70(3.29)		2.53(2.95)		1.77(2.11)		8.43(6.23)
V(g)	91	0.57(0.24)	89	0.49(0.26)	89	0.72(0.31)	85	0.45(0.32)	88	0.52(0.23)	88	0.48(0.19)	87	3.8(1.3)
(nmol/g)		11.2(4.71)		9.62(5.10)		14.1(6.09)		8.83(6.28)		10.2(4.51)		9.42(3.73)		74.6(25.5)
Zn(g)	90	49(20)	89	41(15)	89	22(5.3)	86	10(4.0)	90	16(5.8)	91	11(3.5)	88	40(12)
(nmol/g)		749(306)		627(229)		336(81.1)		153(61.2)		245(88.7)		168(53.5)		612(184)

Table III – Correlation of elemental concentration with age

	Liver	Kidney	Heart	Lung	Spleen	Cerebrum	Bone
Cd	0.286**	0.508**				0.222*	
Cu			-0.373**				
Fe						0.210*	0.218*
Hg							-0.248*
Mn		-0.406**					
Pb							0.338**
Si				0.517**			0.365**
V				0.244*			

Figures in the table are correlation coefficients between elemental concentration and age which are significant at 5%(*) and 1%(**), respectively.

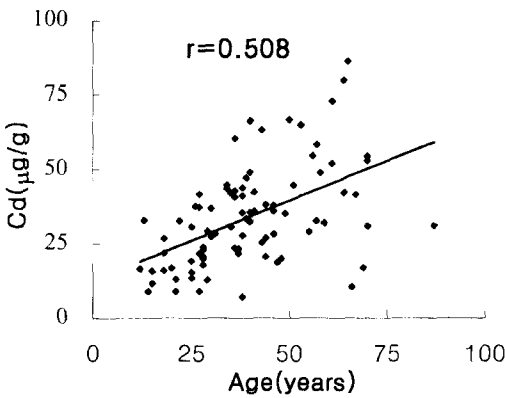


Fig. 1 – Correlation between age and Cd concentration in kidney.

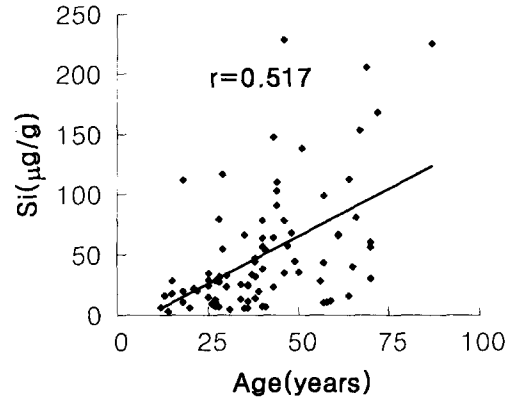


Fig. 3 – Correlation between age and Si concentration in lung.

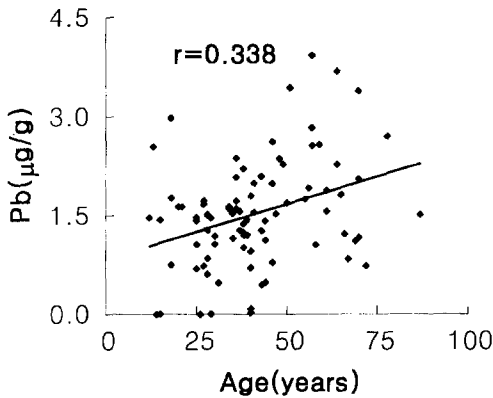


Fig. 2 – Correlation between age and Pb concentration in bone

철(Fe)농도는 대뇌에서 연령증가에 따라 유의성 있게 증가하였는데, 이는 일본인을 대상으로 한 연구보고⁸⁾와 동일한 결과를 보여주었다.

Koeman 등¹¹⁾이 물개와 돌고래의 간장에서 수은(Hg)과 셀레늄(Se) 농도의 상관관계를 처음 보고한 이래 장

기조직내에서 중금속류 농도의 상관관계 및 그 기전에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다.^{3,8-15,21,22)} 아직 그 기전이 명백하게 입증되지는 않았으나 유해금속의 독성을 감소시키기 위하여 필수금속이 저해물질로 작용하여 장기조직내에 이들 금속이 공동으로 축적되고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 조사된 한국인 장기조직 중 중금속 농도간의 상관관계는 Table IV와 같다. 본 연구에서 셀레늄(Se)과 수은(Hg) 농도는 심장에서 유의성있는 상관관계가 있었으나 그 이외 대부분의 장기조직에서는 유의성있는 상관관계는 없었다. 수은중독 희생자나¹⁵⁾ 동물¹⁰⁾에서는 간장 및 신장에서 셀레늄(Se)과 수은(Hg)의 농도 사이에 유의성있는 상관관계가 관찰되나 정상적인 사람과 동물의 장기조직에서는 유의성있는 상관관계가 나타나지 않았다고 보고²¹⁾된 바 있어 본 연구에서 유의성이 나타나지 않은 것은 정상인을 대상으로 조사한 때문인 것으로 사료된다.

Kido 등²²⁾은 이파이-이파이병에 걸린 즉 카드뮴(Cd)에 노출된 사람과 노출되지 않은 사람의 간장 및 신장

Table IV – Correlation coefficient between heavy metals in Korean tissues

Correlation	Tissue						
	Liver	Kidney	Heart	Lung	Spleen	Cerebrum	Bone
Se/Hg			0.314*				
Se/As	0.515**	0.331*	0.367*		0.557**		0.303*
Se/Cd			0.298*	0.419**			0.330*
Se/Zn						0.370*	
Se/Cu		0.306*					
Cd/Zn	0.331**	0.476**					
Cd/Cu	0.401**	0.221*		0.322**			
Zn/Cu	0.381**	0.224*		0.435**	0.412**	0.229*	-0.296**
Hg/Zn	0.362**						0.485**

Figures in the table are correlation coefficients between heavy metal concentrations which are significant at 5%(*) and 1%**), respectively.

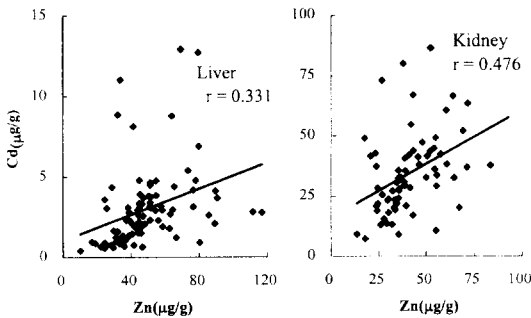


Fig. 4 – Correlation between the concentrations of Cd and Zn in liver and kidney. All correlations are significant at 1%.

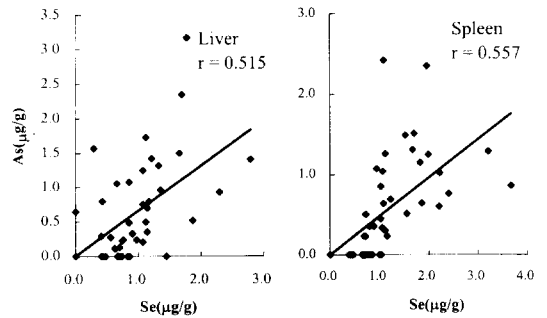


Fig. 5 – Correlation between the concentration of Se and As in liver and spleen. All correlations are significant at 1%.

에서 셀레늄(Se)과 카드뮴(Cd), 카드뮴(Cd)과 아연(Zn) 농도사이의 상관관계를 보고하였는데, 셀레늄(Se)과 카드뮴(Cd) 농도사이에는 카드뮴(Cd)에 노출된 사람에서는 신장피질에서 유의성있는 상관관계가 보였으나, 노출되지 않은 사람에게서는 유의성을 관찰하지 못하였다. 카드뮴(Cd)과 아연(Zn) 농도사이에는 카드뮴(Cd)에 노출된 사람에서는 신장피질 및 수질에서, 노출되지 않은 사람에게서는 간장, 신장 피질 및 수질에서 유의성을 관찰하였다. 본 연구에서는 셀레늄(Se)과 카드뮴(Cd) 농도사이의 상관관계는 심장, 폐 및 뼈에서 유의성이 있었으나, 카드뮴(Cd)의 표적장기인 신장, 간장에서는 유의성이 없었다. 카드뮴(Cd)과 아연(Zn) 농도간에는 신장 및 간장에서 유의성이 있어 두 금속은 유사한 분포를 보이고 있음을 알 수 있었고 타 장기에서는 유의성을 관찰할 수 없었다(Fig. 4). 이러한 결과는 카드뮴(Cd)에 노출되지 않은 일반인에 대한 조사 결과와 유사하여 정상인에 있어서 나타나는 전형적 경향을 알 수 있었다.

셀레늄(Se)과 비소(As)농도 사이에는 간장, 신장, 심장, 비장 및 뼈에서 유의성이 관찰되었다(Fig. 5). 셀레늄(Se)과 비소(As)가 장기조직 중에 고르게 분포되어 있는 것으로 보아 셀레늄(Se)이 비소(As)의 독성을 감소시키는 저해물질로 작용할 수 있음을 시사하나 동물실험 등을 통해 보다 명확히 규명되어야 할 것으로 사료된다. 아연(Zn)과 구리(Cu)농도 사이에는 간장, 신장, 폐, 비장 및 뇌에서 유의성있는 상관관계가 관찰되었는데 이는 아연(Zn)과 구리(Cu)가 장기조직 중에서 유사한 분포양상을 보이기 때문인 것으로 사료된다. Sumino³⁾은 일본인 전 장기조직에서 측정된 중금속류의 평균값으로 금속간의 상관관계를 산출한 결과 수은(Hg)과 아연(Zn)농도 사이에 상관성이 있음을 보고하였는데 본 연구에서는 간장 및 뼈에서 유의성있는 상관성이 있는 것으로 나타났다.

결론

1997년 7월부터 1999년 3월까지 국립과학수사연구소에 부검의뢰된 정상한국인 사체 91구(남성 61구, 여성 30구)에 대하여 장기조직내 중금속의 상호관련성과 연령에 따른 상관관계를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 카드뮴(Cd)은 간장, 신장 및 대뇌에서, 철은 대뇌 및 뼈에서, 납(Pb)은 뼈에서, 규소(Si)는 폐 및 뼈에서, 바나듐(V)은 폐에서 연령의 증가에 따라 유의성있는 농도의 증가가 관찰되었으며, 구리(Cu)는 심장에서, 수은(Hg)은 뼈에서, 망간(Mn)은 신장에서 연령의 증가에 따라 유의성있는 농도의 감소가 관찰되었다.

2. 셀레늄(Se)과 수은(Hg)의 농도 사이에는 심장을 제외하고는 유의성있는 상관관계가 나타나지 않았으며 신장 및 간장 중의 카드뮴(Cd)과 아연(Zn)농도 사이에는 서로 유의한 상관성이 있었다. 아연(Zn)과 구리(Cu)농도 사이에는 간장, 신장, 폐, 비장 및 뇌에서 유의성있는 상관관계가 관찰되었으며 수은(Hg)과 아연(Zn)농도 사이에서는 간장 및 뼈에서 유의성있는 상관성이 있는 것으로 나타났다.

감사의 말씀

본 연구는 보건복지부의 보건의료기술 연구개발사업에 의한 지원에 의해 수행된 것으로 지원에 깊이 감사드립니다.

문 헌

- 1) Katz A.: Mercury pollution: The making of an environmental crises. *Critical Rev. Env. Contr.*, **2**, 517 (1972).
- 2) Liebscher K. and Smith H.: Essential and non-essential trace elements. A method of determining whether an element is essential or nonessential in human tissue. *Arch. Environ. Health*, **17**, 881 (1968).
- 3) Sumino K., Hayakawa K., Shibata T. and Kitamura S.: Heavy metals in normal Japanese tissues. *Arch. Environ. Health*, **30**, 487 (1975).
- 4) Yukawa M., Amano K., Yasumoto M.S. and Terai M.: Distribution of Trace Elements in the Human Body Determined by Neutron Activation Analysis. *Arch. Environ. Health*, **35**, 36 (1980).
- 5) Yamamoto Y., Ushiyama I. and Nishi K.: Neutron Activation Analysis of trace elements in human organs. *Evaluation and Statistics*, **73** (1997).
- 6) Drasch G., Mller R.K., Grasemann F., Adang M., Roider G. and Wowra, D.: Comparison of the burden of the population in the region of Leipzig and Munich with the heavy metals cadmium, lead and mercury-an investigation on human tissues. *Gesundheitswesen*, **56**, 263 (1994).
- 7) Oldereid N.B., Thomassen Y., Attramadal A., Olaisen B. and Purvis K.: Concentrations of lead, cadmium and zinc in the tissues of reproductive organs of men. *J. Reprod. Fertil.*, **99**, 421 (1993).
- 8) Yoshinaga J., Matsuo N., Imai H., Nakazawa M., Suzuki T., Morita M. and Akagi H.: Interrelationship between the concentrations of some elements in the organs of Japanese with special reference to selenium-heavy metal relationships. *Sci. Total Environ.*, **91**, 127 (1990).
- 9) Weiner J.A. and Nylander M.: The relationship between mercury concentration in human organs and different predictor variables. *Sci. Total Environ.*, **138**, 101 (1993).
- 10) Schmidt R. and Wilber C. G.: Mercury and lead content of human body tissues from a selected population. *Med. Sci. Law*, **18**, 155 (1978).
- 11) Koeman J. H., Peeters W. H. M., Koudstaal-Hol C. H. M., Tjioe P. S. and de Goeji J. J. M.: Mercury-selenium correlations in marine mammals. *Nature*, **245**, 385 (1973).
- 12) Koeman J. H., van de Ven W. S. M., de Goeji J. J. M., Tjioe P. S. and van Haaften J. L.: Mercury and selenium in marine mammals and birds. *Sci. Total Environ.*, **3**, 279 (1975).
- 13) Norstrom R. J., Schweinberg R. E. and Collins B. T.: Heavy metals and essential elements in livers of the polar bear (*Ursus maritimus*) in the Canadian Arctic. *Sci. Total Environ.*, **48**, 195 (1986).
- 14) Kari T. and Kauranen P.: Mercury and selenium contents of seals from fresh and brackish waters in Finland. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **19**, 273 (1978).
- 15) Ujioka T.: Analytical studies on methylmercury in animal organs and foodstuffs. *J. Kumamoto Med. Sci.*, **34**(suppl.1), 383 (1960).

- 16) Livingston H. D. : Measurement and distribution of zinc, cadmium, and mercury in human kidney tissue. *Clinical Chemistry*, **18**, 67 (1972).
- 17) Elinder C. G., Kjellstrom T., Friberg L., Lind B. and Linnman L. : Cadmium in kidney cortex, liver and pancreas from Swedish autopsies. *Arch. Environ. Health*, **31**, 292 (1976).
- 18) Kjellstrom T. : Exposure and accumulation of cadmium in populations from Japan, the United States, and Sweden. *Environ. Health Perspect.*, **28**, 169 (1979).
- 19) Spickett J. T. and Lazner J. : Cadmium concentrations in human kidney and liver tissues from western Australia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **23**, 627 (1979).
- 20) Underwood E. J. : *Trace elements in human and animal nutrition* 4th ed., Academic Press. New York San Francisco London, p. 39-8 (1977).
- 21) Cappon C. J. and Smith J. C. : Mercury and selenium content and chemical form in human and animal tissue. *Journal of Analytical Toxicology*, **5**, 90 (1981).
- 22) Kido T., Tsuritani I., Honda R., Yamaya H., Ishizaki M., Yamada Y. and Nagawa K. : Selenium, zinc, copper and cadmium concentration in livers and kidneys of people exposed to environmental cadmium. *J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.*, **2**, 101 (1988).