

물의 경도가 흰쥐의 신장, 간에서 중금속 축적에 미치는 영향

한 돈 희

한림대학 의학부 예방의학교실

Influence of Water Hardness on Accumulation of Heavy Metals in Kidneys and Livers of Rats

Don Hee Han

*Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine,
Hallym University*

Abstract

It has been suggested that calcium is only one of many metals that compete with toxic metals in the body. Therefore, this study was carried out to determine the influence of water hardness on accumulation of heavy metals in rats.

The seventy-five rats were divided into control and case groups. Case group was subdivided into four subgroups in proportion to the concentration of water hardness respectively, such as, 0, 250, 500, 1000ppm. Control group was fed on only deionized water, but case groups were fed on hard water with ionized heavy metals (Cd 150mg + Pb 300mg + Cu 300mg/l) for 20, 40, 60 days. The concentrations of cadmium, lead and copper were measured by atomic absorption spectrophotometry (Perkin Elmer 2380) in livers and kidneys.

The results of the study are summarized as following;

1. The concentration of cadmium accumulation showed the tendency of decrease in proportion to water hardness in both livers and kidneys of rats having been fed for only 60 days, respectively.
2. In only livers of rats having been fed for 60 days, essential metal, copper had the tendency of decrease according as hardness in water.

3. It was impossible to compare case with control about the tendency of lead accumulation because there was no difference between the two in livers and kidneys respectively.

I. 서론

환경오염 문제가 대두되면서 가장 중요한 오염물질의 하나로 인식되며 앞으로도 항상 문제가 될 것으로 보이는 것이 중금속에 의한 오염이다.¹⁾

그 대표적인 오염금속(contaminated metal)으로는 이미 역사적 사건으로 증명된 수은, 납, 카드뮴 등으로 이들은 산업화가 진전되면서 앞으로 더 많은 환경을 오염시키고 인체에 많은 질병을 유발시킬 것이다. 그러나 일반적으로 중금속이라면 두려운 존재로만 받아들이는 것이 사실이지만 철, 구리, 아연 등 생체의 생존유지를 위해 꼭 필요한 필수금속(essential metal)이 있다는 사실도 간과해서는 안 될 것이다.

오염금속이 생체내에 미치는 최대의 건강문제라면 강력한 축적작용으로 야기되는 각종 질병이라고 할 수 있다. 그래서 중금속의 생체내 축적에 관한 연구가 오래전부터 이루어 졌으며 최근에는 금속상호간 생체내 중금속 축적에 미치는 영향이라든지²⁻¹⁰⁾ 생화학적 변화가 중금속 축적에 미치는 영향 등¹¹⁻¹³⁾ 보다 복잡하고 다양한 연구들이 진행되고 있다. 이중에서도 생체내에 매우 중요한 금속 중의 하나인 칼슘이 오염금속인 납과 카드뮴의 축적에 길항적으로 작용하여 이들 금속의 축적에 방어적인 효과가 있다는 연구가 발표되었다.⁸⁻¹⁰⁾ 또 마그네슘의 흡수는 생체내 필수금속인 망간과 인의 흡수와 상당한 연관관계가 있는 것으로 알려져 있으나 오염금속인 납과 카드뮴의 흡수에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다.¹⁴⁾

한편, 수질과 생체내 질병과의 관계에 관한 연구는 주로 경수(hard water) 지역의 주민에게서 순환기계 질병의 사망율이 지하된다는 것으로 세계 여러나라에서 역학적인 연구가 활발하게 전개되고 있다.¹⁵⁻²⁵⁾ 그러나 경수의 정도에 따른 생체내 중금속의 축적정도에 관한 연구는 매우 드문 편이며²⁶⁾ 우리나라에서는 거의 찾아 보기가 힘든 편이다. 더구나 중금속에 의한 폭로가 주로 공기나 음식물에 의해 이루어 지지만 수많은 사람들이 도시 급수시설로 인해 과도하게 폭로 된다는²⁷⁾ 사실에 비추어 과연 경수의 정도가 중금속의 축적에 어떠한 영향을 미칠 것인지에 관한 연구가 필요하게 된 것이다.

따라서 수중의 경도 정도가 생체내 필수금속인 구리와 오염금속인 카드뮴, 납 등의 축적에 어떠한 영향을 미칠 것인지 알아 보고자 본 연구를 실시한 바 약간의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험방법

1. 실험설계

1) 실험대상

실험대상으로는 Sprague-Dawley 종 성숙한 수컷 흰쥐 75 마리를 사용했으며 실험전 환경에 적응시키기 위하여 동일 조건하에서 20여 일간 사육한 후 실험에 사용하였다. 실험 시작 시 평균체중은 $230 \pm 10.3g$ 이었고 15 마리씩 5개 group으로 나누었을 때 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

2) 시약의 제조

경수의 제조는 탈이온수에 $Ca(CH_3COO)_2$

·H₂O와 Mg(CH₃COO)₂·4H₂O를 실험군에 따라 0, 250, 500, 1000ppm으로 만들었으며 Ca와 Mg의 비는 4:3이 되게 하였다. 중금속은 Cd은 Cd(CH₃COO)₂·2H₂O를 사용하여 150mg/l, Pb은 Pb(CH₃COO)₂·3H₂O를 이용하여 300mg/l, Cu는 Cu(CH₃COO)₂·H₂O를 사용하여 300mg/l을 만들어서 실험군에 각각 동일하게 섞었다. 경수의 제조에 있어서는 1971년 WHO에서 발간한 International Standards for Drinking Water²⁸⁾의 기준에 맞추어서 제조 하였으며 pH는 6.7 - 6.8이었다.

3) 실험설계

대조군 1개 group, 실험군 4개 group 총 5개 group으로 나누고 각 group에 흰쥐 15마리씩 총 75마리로 하였으며 대조군에는 탈이온수와 사료만으로 사육하였고 실험군에는 A B C D group으로 나누어서 경도가 각 group간에 0, 250, 500, 1,000ppm인 물에 카드뮴, 납, 구리의 농도가 150, 300, 300mg/l 되게 하여 실험군 각 group에 동일하게 섞어서 사육시 이것을 급수로 사용하여 사료와 같

이 사육하였다. 투여방법은 사육시 급수병에 의한 자유로운 경구투여 방법을 택하였으며 5개 group을 각각 20일, 40일, 60일 간격으로 5마리씩 ether로 마취하고 신장과 간을 적출하여 시료로 사용하였다. 실험설계는 Table 1과 같다(Table 1 참조).

2. 중금속 측정방법

1) 전처리

신장은 2개중 1개만을, 간은 약 1g을 적출하여 킬달플라스크에 넣고 증류수 30ml 과 농질산 30ml를 넣어 황갈색의 연기가 발생할 때까지 2회 반복하여 습식회화하고 방냉후 과염소산 10ml로 흰색이 발생할 때까지 다시 분해하여 방냉시킨 다음 증류수를 가하여 50ml로 하였다.²⁹⁾ 이것을 250ml 분액깔대기에 옮기고 ammonium citrate 용액(25%) 10ml, B.T.B 용액 2~3 방울을 가하여 액의 색이 청색에서 녹색으로 변할 때까지 암모니아수를 한방울씩 떨어뜨리고 40% ammonium sulfate 용액을 10ml, 증류수를 가하여 전량을 100ml로 만든다. 여기에 10% DDTC 용액 10

Table 1. Experimental design

Treatment groups	Conditions administrated*	No. of rats			Subtotal of rats
		Durations of exposure			
		20 days	40 days	60 days	
Control	Deionized water	5	5	5	15
Case A	Non-hard water + Heavy metal	5	5	5	15
Case B	Moderate hard water + Heavy metal	5	5	5	15
Case C	High hard water + Heavy metal	5	5	5	15
Case D	Very high hard water + Heavy metal	5	5	5	15
Total					75

- * 1. Heavy metal : Pb 300mg + Cd 150mg + Cu 300mg/l
- 2. Non-hard water (0 ppm) : Ca 0mg + Mg 0mg/l
- 3. Moderate hard water (250 ppm) : Ca 50mg + Mg 37.5mg/l
- 4. High hard water (500 ppm) : Ca 100mg + Mg 75mg/l
- 5. Very high hard water (1000 ppm) : Ca 200mg + Mg 150mg/l

ml 를 넣고 수분간 방치한 다음 methyl-iso-butyl-ketone (MIBK) 용액 20ml를 정확히 가하여 세차게 흔들어 킬레이트화 시킨 다음 이것을 원자흡광 광도계로 측정하였다.³⁰⁾

2) 시약 및 기기

사용된 시약은 중금속 분석용 특급시약으로 Fluka 및 Junsei 사 제품을 사용하였으며 원자흡광광도계로서는 Perkin Elmer 2380 을 사용하였다. 이때 측정시 기기의 조건은 Table 2 와 같다.

Table 2. Analytical conditions of atomic absorption spectrophotometer

Metals	Cd	Pb	Cu
Wave length (nm)	228.8	283.3	324.8
Lamp current (mA)	3	5	5
Slit width (nm)	0.7	0.7	0.7
Flame condition	Air & Acetylene	Air & Acetylene	Air & Acetylene

* Instrument type : Perkin Elmer 2380

III. 성 적

1. 체중의 변화

대조군은 거의 일정하게 체중이 증가하는 반면에 실험군 모두는 10일을 전후하여 체중이 급격하게 감소하였다가 차츰 증가하는 양상을 띠고 있으나 대조군에 비하면 현격한 차이를 보이고 있다(Fig. 1 참조). 10일을 전후하여 급격한 체중의 감소는 순전히 식이거부에 의한 것으로 생각되며 이후에는 투여하는 급수원에 어느 정도 적응을 하였으나 대조군에 비하면 식이거부가 많았던 것으로 관찰되었다. 한편, 30일부터는 경도가 높은 순으로 체중이 증가하기 시작하여 60일에서는 많은 차이를 보이고 있었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p < 0.05$).

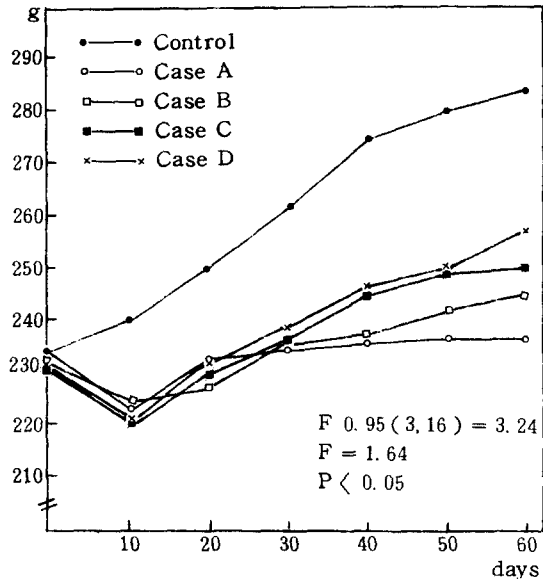


Fig. 1. Mean body weights of rats

2. 체중에 대한 신장과 간의 비율(%)

체중에 대한 신장과 간의 무게비를 알아 보면 Fig. 2 와 같다. 신장에 있어서는 대조군에 비해 실험군의 체중에 대한 신장의 무게비가 모든 group에서 높게 나타났으며 특히 40일, 60일의 비교에서는 실험군 모두가 거의 일정한 비율로 대조군에 비해 높게 나타났다. 한편, 간에서도 실험군에서 대조군에 비해 대체로 높게 나타났으나 신장에서처럼 일정성을 보이지

는 않는다.

3. 중금속 축적비교

1) 카드뮴

카드뮴은 신장이나 간 모두에서 매우 강한 축적효과를 보이고 있다(Table 3, Fig. 3 참조). 대조군이 신장이나 간 모두에서 전기간에 걸쳐서 0-1ppm 인데 반하여 실험군에서는 신장이

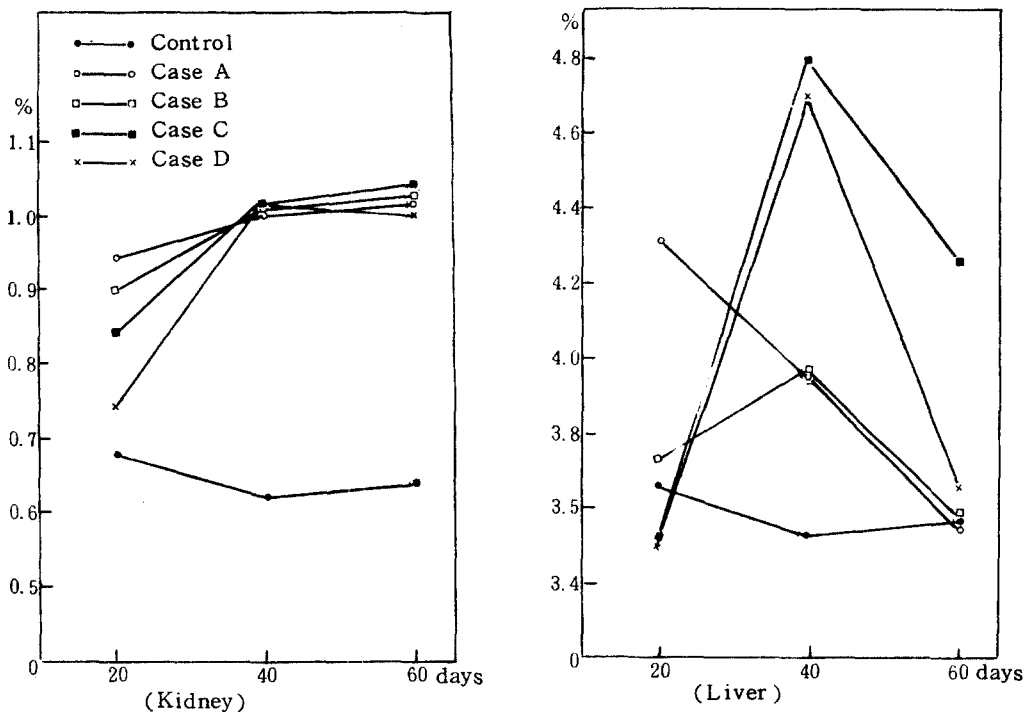


Fig. 2. Proportions of kidney, liver to whole body weights (%)

Table 3. Comparisons of Cd, Pb and Cu accumulation in organ of rats between control and cases

unit : $\mu\text{g/g}$ (wet weight)

Organ	Matal	Treatment	20 days	40 days	60 days
Kidney	Cd	Control	1.27 ± 1.11	0.91 ± 0.89	1.21 ± 0.86
		Cases	12.72 ± 5.42	25.83 ± 0.81	37.59 ± 1.51
	Pb	Control	8.48 ± 6.69	8.81 ± 2.74	9.38 ± 1.84
		Cases	9.56 ± 1.95	7.72 ± 1.29	8.38 ± 1.83
	Cu	Control	13.04 ± 3.53	14.69 ± 2.79	14.50 ± 5.34
		Cases	13.83 ± 3.03	17.10 ± 2.04	20.11 ± 1.49
Liver	Cd	Control	1.01 ± 0.32	0.00 ± 0.00	0.93 ± 0.27
		Cases	12.20 ± 0.45	21.81 ± 1.60	37.01 ± 4.05
	Pb	Control	7.66 ± 4.35	8.24 ± 0.44	10.27 ± 2.37
		Cases	7.35 ± 0.73	10.32 ± 1.85	9.04 ± 2.04
	Cu	Control	15.20 ± 4.56	11.94 ± 0.23	9.53 ± 1.37
		Cases	5.36 ± 2.04	4.07 ± 0.98	3.46 ± 1.33

Control : Mean values of 5 rats \pm SD

Cases : Mean values of 20 rats \pm SD

나 간 모두에서 거의 직선적으로 축적이 이루어져 60일쯤이면 약 40ppm 정도 축적이 이루어졌다. 더구나 납과 구리는 300mg/l를 투여한 반면에 카드뮴은 150mg/l를 투여했기 때문에 그 축적의 정도가 매우 강하다는 것을 알 수 있다.

2) 납

납은 대조군의 경우에는 신장이나 간 모두에서 시간이 지남에 따라 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있으나 실험군과의 차이가 거의 없고 전 group이 8-10ppm 사이에 있으며 실험군이나 대조군 모두에서 편준편차가 대체로 심한 것을 알 수 있다(Table 3, Fig.3 참조).

300mg/l를 투여 했음에도 불구하고 대조군과 실험군에서의 차이가 거의 없는 것으로 보아서 납은 신장과 간에 축적이 잘 되지 않는다고 볼 수 있다.

3) 구리

신장에서 대조군은 거의 일정한 값을 유지하고 있으나 실험군에서는 거의 직선에 가깝게 축적되고 있다(Table 3, Fig.3 참조). 그러나 그 축적의 정도는 카드뮴에 비하면 훨씬 적은 편이다. 간에서의 구리는 특이한 현상을 보이고 있는데 대조군이나 실험군 모두에서 차츰 감소하고 있고 더구나 대조군보다 실험군이 훨씬 낮은 값을 유지하고 있다.

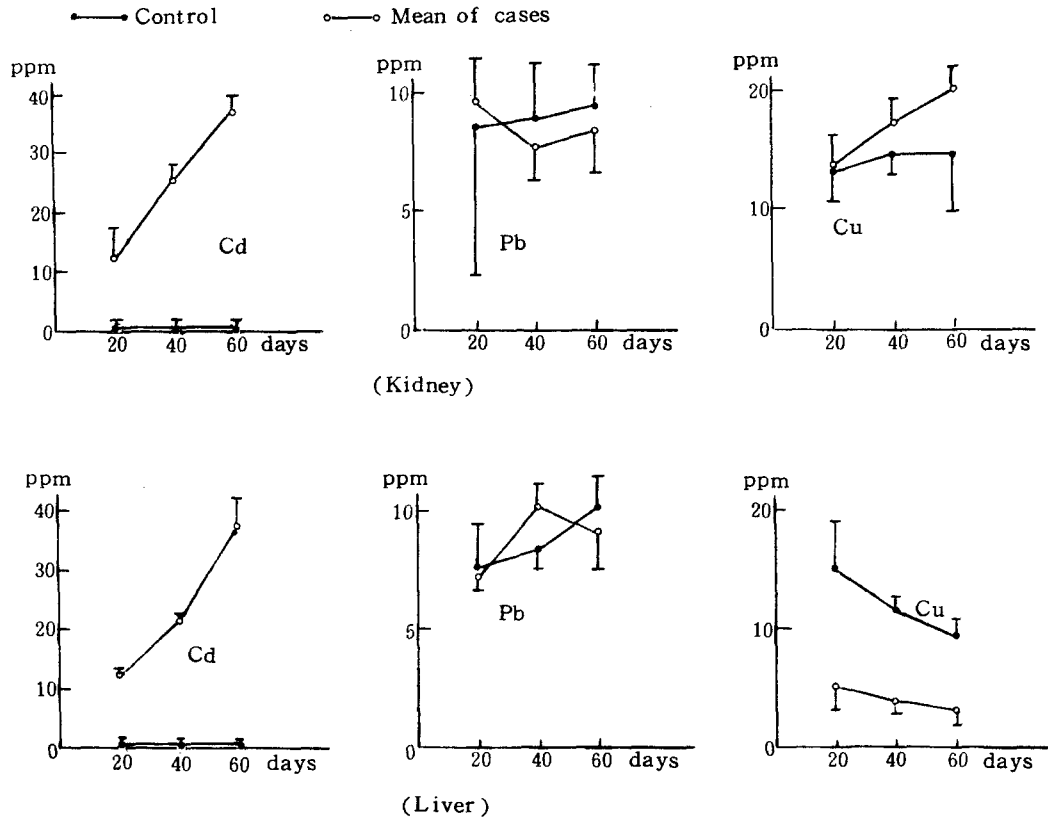


Fig. 3. Comparisons of Cd, Pb and Cu accumulation in organ of rats between control and cases

Table 4. Cd concentrations in kidney of rats

unit : $\mu\text{g/g}$ (wet weight)			
Treatment groups	20 days	40 days	60 days
Control	1.27 ± 1.11	0.91 ± 0.89	1.21 ± 0.86
Case A	14.48 ± 0.18	26.16 ± 1.32	39.40 ± 1.58
Case B	10.62 ± 5.42	26.49 ± 2.60	38.25 ± 1.74
Case C	11.73 ± 1.81	24.66 ± 0.69	36.37 ± 1.61
Case D	14.01 ± 0.95	26.01 ± 2.00	36.31 ± 2.10
significant difference	_____	_____	F 0.95(3, 16) = 3.24 F = 3.68* P < 0.05

Mean values of 5 rats \pm SD

4. 신장에서 카드뮴의 축적정도

신장에서 카드뮴의 축적 정도를 비교하여 보면 Table 4와 Fig.4와 같다. 대조군과 실험군과의 차이는 매우 심하며 실험군간의 차이는 20일과 40일간의 투여 후에도 아무런 일정성을 보이지 않는다. 그러나 60일간의 투여군에서는 경도가 증가할수록 축적의 정도가 낮았으며 또한 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

5. 간에서 카드뮴의 축적정도

간에서 카드뮴의 축적 정도를 보면 신장과 매우 유사한 결과를 알 수 있는데 대조군과 실험군과의 차이는 전기간에 걸쳐서 심한 차이를 보이고 있고 실험군간의 차이는 20일과 40일 투여군에서는 차이를 보이지 않고 있으나 60일 군에서는 경도의 정도에 따라 카드뮴의 축적정도가 떨어지고 있으며 통계적으로도 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$) (Table 5, Fig. 5 참조).

6. 카드뮴의 축적율

투여된 총 카드뮴의 양중에서 신장과 간에

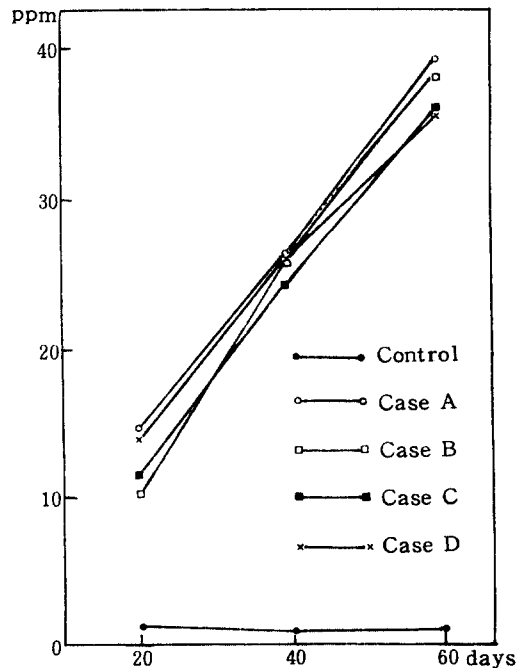


Fig. 4. Cd concentrations in kidney of rats

축적된 양은 Table 6과 같다. 농도면에서는 신장과 간에서 비슷한 정도를 유지하였으나 간은 신장보다 큰 장기인 관계로 축적된 전체량은 간에서 많았다. 또 실험군간의 비교를 보면 신

Table 5. Cd concentrations in liver of rats

unit: $\mu\text{g/g}$ (wet weight)			
Treatment groups	20 days	40 days	60 days
Control	1.01 ± 0.32	0.00 ± 0.00	0.93 ± 0.27
Case A	12.23 ± 0.99	23.03 ± 2.45	41.48 ± 0.97
Case B	12.72 ± 1.81	20.35 ± 2.10	39.40 ± 2.13
Case C	12.23 ± 1.87	20.52 ± 5.12	33.63 ± 7.44
Case D	11.62 ± 1.55	23.35 ± 3.90	33.60 ± 4.34

F 0.95(3, 16) = 3.24
F = 5.29*
P < 0.05

Mean values of 5 rats \pm SD

장과 간 모두에서 농도 비교에서와 마찬가지로 20일과 40일간 투여군에서는 어떤 일정성을 보이지 않는 반면에 60일간 투여군에서는 경도의 정도에 따라 축적율이 저하하였다.

7. 납의 축적정도

납은 신장이나 간 모두에서 대조군과 실험군 사이에 큰 차이를 볼 수 없었으며 실험군간의 비교에서도 어떤 일정성을 전혀 볼 수가 없었다 (Table 7 참조). 단지 대조군에서는 간이신장 모두에서 기간이 지남에 따라 약간씩 증가하는 것을 알 수 있을 뿐이다.

8. 구리의 축적정도

구리의 축적에 관해서는 Table 8, 9, Fig. 6과 같다. 신장에서는 대조군보다 실험군에서 점차 축적이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 실험군간의 어떤 일정성을 보이지 않고 있어서 경도의 차이에 의한 변화는 찾아볼 수가 없다.

간에서의 경우는 신장에서의 양상과 전혀 다른 양상을 띠고 있는데 실험군보다 오히려 대조군에서 더 높은 농도를 유지하고 있고 기간이 지남에 따라 실험군 및 대조군 공히 점차 감소

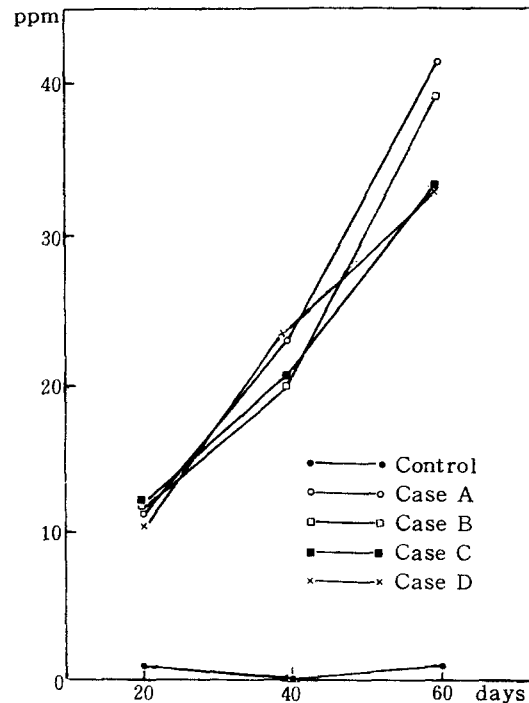


Fig. 5. Cd concentrations in liver of rats

하고 있음을 알 수 있다. 또한 경도의 차이에 따른 변화에 있어서도 20일과 40일 투여군에서는 아무런 일정성을 보이지 않고 있었으나 60

Table 6. Cd accumulative rates in kidney and liver of rats

		unit: %		
Organs	Treatment	20 days	40 days	60 days
Kidney	Case A	0.086	0.086	0.084
	Case B	0.045	0.074	0.083
	Case C	0.046	0.072	0.073
	Case D	0.058	0.084	0.074
Liver	Case A	0.335	0.305	0.321
	Case B	0.244	0.322	0.269
	Case C	0.299	0.231	0.249
	Case D	0.218	0.307	0.249

Mean values of 5 rats

Table 7. Pb concentrations in kidney and liver of rats

		unit: $\mu\text{g/g}$ (wet weight)		
Organs	Treatment	20 days	40 days	60 days
Kidney	Control	8.48 ± 6.69	8.81 ± 2.74	9.38 ± 1.84
	Case A	12.23 ± 0.50	8.11 ± 3.64	8.67 ± 0.02
	Case B	8.21 ± 4.78	6.42 ± 4.39	10.59 ± 2.51
	Case C	9.81 ± 0.50	9.34 ± 2.73	6.13 ± 0.87
	Case D	7.99 ± 2.24	7.01 ± 2.93	8.12 ± 2.77
Liver	Control	7.66 ± 4.35	8.24 ± 0.44	10.27 ± 2.36
	Case A	7.36 ± 0.37	12.79 ± 0.82	8.68 ± 0.26
	Case B	6.37 ± 3.05	10.52 ± 1.07	8.68 ± 0.41
	Case C	8.00 ± 0.81	8.47 ± 3.44	8.10 ± 0.13
	Case D	7.65 ± 6.12	9.51 ± 1.61	12.00 ± 6.18

Mean values of 5 rats \pm SD

Table 8. Cu concentrations in kidney of rats

		unit: $\mu\text{g/g}$ (wet weight)		
Treatment groups		20 days	40 days	60 days
Control		13.04 ± 3.35	14.69 ± 2.79	14.50 ± 5.34
Case A		17.81 ± 0.91	16.90 ± 2.86	20.94 ± 2.81
Case B		11.93 ± 2.49	14.52 ± 1.23	20.53 ± 4.52
Case C		11.07 ± 0.18	19.48 ± 4.64	17.50 ± 0.31
Case D		14.51 ± 2.37	17.49 ± 4.80	21.17 ± 2.53

Mean values of 5 rats \pm SD

Table 9. Cu concentrations in liver of rats

unit: $\mu\text{g/g}$ (wet weight)			
Treatment groups	20 days	40 days	60 days
Control	15.02 \pm 4.56	11.94 \pm 0.23	9.54 \pm 1.37
Case A	6.12 \pm 1.68	4.54 \pm 1.37	5.40 \pm 0.97
Case B	3.95 \pm 2.91	5.19 \pm 0.54	3.24 \pm 0.75
Case C	3.48 \pm 0.24	3.54 \pm 0.14	2.75 \pm 0.41
Case D	7.89 \pm 2.01	3.00 \pm 0.77	2.46 \pm 0.43
significant difference	_____	_____	F 0.99 (3.16) = 5.29 F = 20.06** P < 0.01

Mean values of 5 rats \pm SD

일간 투여군에 있어서는 경도의 정도가 높을수록 더 많이 감소하고 있으며 통계적으로도 매우 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$).

IV. 고 찰

경도라 함은 물중의 Ca과 Mg ion의 양을 이에 대응하는 CaCO_3 의 ppm으로 환산하여 표시한 것을 말한다. 250ppm 정도의 경도를 중등도의 경수라고 하며 350ppm 이상을 고도의 경수라고 하는데 우리나라와 일본에서는 300ppm을 상수의 수질기준으로 잡고 있으나 1971년 WHO에서 발간한 International Standards for Drinking Water에 따르면 Ca은 200mg/l, Mg은 150mg/l, 총경도는 500ppm으로 정하고 있다.²⁸⁾ 경도가 300ppm 이상의 물을 마셔도 인체에는 아무런 영향을 주지 않는 것으로 밝혀졌다.³¹⁾

경도는 결국 칼슘과 마그네슘의 양과 관계가 있기 때문에 경수와 중금속과의 관계에 대한 직접적인 연구는 매우 드문 형편이지만²⁶⁾ 중금속의 축적에 칼슘이 어떤 영향을 미치는가에 관한 연구는 많이 이루어져서 칼슘이 카드뮴과

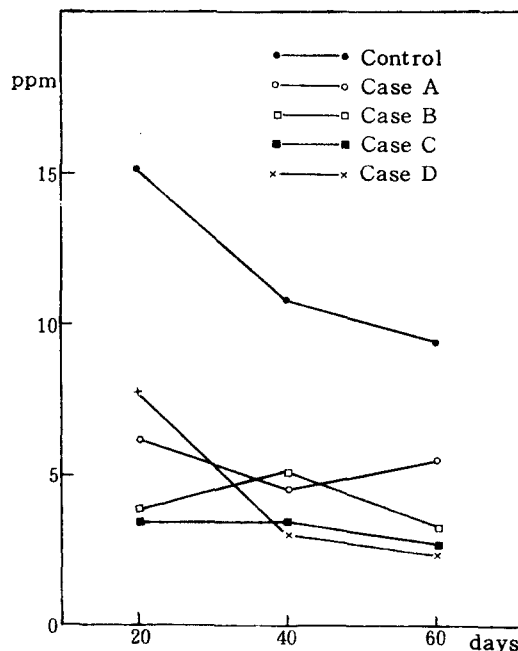


Fig. 6. Cu concentrations in liver of rats

납의 축적에 방어적인 효과를 갖고 있다고 하였다.⁸⁻¹¹⁾ 이것에 관한 이론적인 설명은 Catesh (1961)³²⁾에 의해 정립되었는데 금속 M에 대한 chelator의 net affinity K'_M 은

$$K_M = \frac{K_{ML}^M [L]}{\alpha_L + K_{CaL}^{Ca} [Ca^{+2}]}$$

로서 표시가 가능한데 [L]은 ligand를 제공하는 chelating agent의 농도이고 [Ca⁺²]는 칼슘의 농도, K 값은 각 금속의 고유한 affinity이다. α_L은 생체내 pH에 의해서 계산되기 때문에 결국 생체내 칼슘의 농도가 높으면 금속에 대한 chelator의 친화력은 떨어져 쉽게 흡수가 이루어지지 않을 것이다. 그래서 칼슘은 생체내에서 유해 금속과 경쟁적으로 작용하는 물질 중의 하나로 알려져 있다.³⁶⁾ 과거의 연구들이 고농도의 칼슘이온과 중금속 축적과의 관계를 일부 설명하였고 또 폭로기간에 관한 연구들이 그다지 많지 않기 때문에 저자는 실제 식수로 사용 가능한 농도에서 폭로기간을 고려하여, 칼슘이온에 의해 주로 좌우되는 정도의 정도가 중금속에 대한 방어효과가 있는지 알고자 하였으며 유해금속이 아닌 필수금속인 경우에는 어떻게 작용할 것인지에 의문을 품고 본 연구를 실시하게 된 것이다.

카드뮴의 경우에는 신장과 간에 매우 강한 축적효과를 지니고 있어서 방어효과에 대한 효과를 찾을 수가 있었으나 납의 경우에는 신장과 신장에서의 축적효과가 매우 낮아서 방어효과를 확인할 수가 없었다. 이것은 납의 생체내 축적은 신장과 간이 다른 장기 보다 다소 높기는 하지만 큰 차이가 없고 전체 축적량의 90%가 뼈에 축적하기 때문에³³⁾ 단기간의 저농도에서는 축적의 효과를 쉽게 알 수 없었던 것으로 사료된다. 카드뮴에서도 20일과 40일의 단기간에서는 정도 차이에 의한 방어효과를 알 수 없었으나 60일간의 투여 후에야 찾을 수가 있었는데 이런 점은 생체내 여러가지 항상성 기전(homeostatic mechanism) 때문에 장기간의 투여만이 효과가 나타나지 않나 사료된다.

구리는 대조군의 경우 신장에서는 전기간에 걸쳐 거의 일정한 농도를 유지하고 있으나 간

에서는 시간이 지남에 따라 급격히 감소하고 있었는데 필수금속인 구리 왜 이렇게 감소하는지는 본 실험만을 가지고 설명하기란 불가능하다. 단지 Schroeder 등³⁴⁾에 의하면 인체 조직내의 구리는 연령이 증가해도 증가하지 않는다고 하였고 출생후 약 10세까지는 점차 감소하다가 그 후에는 일정한 상태를 유지한다고 한다. 실험군에 있어서는 신장에서 기간이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가한 반면에 간에서는 대조군 보다 훨씬 낮은 상태에서 기간 증가에 따라 감소하고 있다. 이것 역시 그 mechanism에 대해서는 아직 연구결과가 없는 것 같다. 간에서 대조군보다 실험군이 훨씬 낮은 농도로 나타난 것은 Pfeiffer³⁵⁾의 연구에 의한 금속상호간의 작용에 의해서 카드뮴이 구리와 아연의 흡수를 감소시킨다고 한 것이 증명된 셈이다. 한편, 실험군내에서 정도의 정도에 따른 중금속 축적에 대한 영향을 알아보면 신장에서는 아무런 일정성을 보이지 않은 반면에, 간에서는 20일과 40일 투여군에서는 아무런 일정성을 보이지 않았으나 60일 투여군에서는 정도가 증가함에 따라 구리의 감소현상을 볼 수 있었다. 만약 인체내에서 구리가 결핍할 경우에는 hypochromic, microcytic anemia가 생길 수 있기 때문에³⁶⁾ 인체내에서 이런 현상이 일어난다면 인체에 해로운 경로를 가져올 것이다.

체중에 대한 신장과 간의 비에 관한 연구에서 대조군에 비하여 실험군에서 신장이나 간 모두 높은 값을 나타냈는데 이는 Margoshes와 Vallee³⁷⁾에 의한 분리된 metallothionein에 의하여 카드뮴, 아연 등이 신장이나 간에 축적된 것으로 사료된다. metallothionein은 분자량이 1만 이하의 low-molecular-weight proteins으로서 Cd, Zn, Hg, Ag, Sn 등과 강력한 친화력을 가지고 결합하여 신장이나 간으로 운반하여 축적시키므로써 타 장기로부터

독성을 완화시키는 것으로 알려져 있는데 이에 대한 연구가 최근 활발하게 이루어지고 있다.^{38, 39)} 그러나 Chung 등⁴⁰⁾의 연구에 의하면 구리와 의 상관관계가 없다고 하여 구리와 의 친화력은 아직 밝혀지지 않아 구리간 간에 축적이 되지 않는 것은 설명이 가능하나 어떤 mechanism 에 의해 신장에 축적이 이루어지는 것은 설명할 수 없다.

이상과 같은 실험결과를 볼때 인체내에서도 경도가 이와 같이 작용한다면 경도가 중등도 이상인 경우에서는 카드뮴의 체내 축적에 길항적으로 작용할 것이지만 구리를 간에서 지나치게 방출할 것으로 사료된다.

V. 결 론

물의 경도가 중금속의 축적에 어떠한 영향을 미칠 것인지를 알아 보고자 암컷 흰쥐 75 마리를 대조군과 실험군 4개 groups 으로 나누어 실험군에는 경도의 농도에 따라 4 가지로 만들고 여기에 동일한 농도의 중금속을 섞은 물을 사육용 급수로 만들어 자연스럽게 경구 투여하였으며 대조군은 탈이온수만으로 투여하였다. 이들 각각의 groups 을 20 일, 40 일, 60 일로 나누어 신장과 간에서 중금속의 축적정도를 관찰하였다.

1. 카드뮴은 신장과 간 모두 60 일간 투여한 군에서 경도의 정도가 높을수록 축적의 정도가 낮았다($p < 0.05$).

2. 필수금속인 구리는 신장에서는 아무런 일정성을 볼 수 없었으나 간에서는 60 일 투여군에서 경도의 정도가 높을수록 더욱 감소하였다($p < 0.01$).

3. 카드뮴은 신장, 간 모두에서 강한 축적효과를 보였으며 납은 신장과 간 모두에서 축적효과가 낮았다. 구리는 신장에서 대조군은 일정한 농도를 유지하면서 실험군에서는 축적효

과를 보인 반면 간에서는 대조군, 실험군 모두 점차 감소하였다.

4. 납은 신장과 간 모두에서 그 축적의 정도가 실험군이나 대조군 사이에 차이를 보이지 않아 경도에 따른 축적효과를 분석할 수 없었다.

參考文獻

1. 和田攻 : 金屬とヒト, 朝倉書店, 1983.
2. Frank, S.H., et al.: Interaction of dietary calcium with toxic levels of lead and zinc in pigs, *J. Nutr.*, 105: 112-118, 1975.
3. Florian, L.C., and Richard, M.F.: Influence of dietary zinc on lead toxicity in rats, *J. Nutr.*, 106:680-696, 1976.
4. Ganther, H.E., and Sunde, M.C.: Effect of tuna fish and selenium on the form of methylmercury: a progress report, *J. Food Sci.*, 39: 213-218. 1974.
5. Spivey-Fox, M.R.: Effect of essential minerals on cadmium toxicity: A review, *J. Food Sci.*, 39: 322-330, 1974.
6. 김영환 : 카드뮴과 연의 단독 및 복합투여 시 백서 장관내 축적에 관한 연구, 대한보건의학회지, 7(2), 42-45, 1981.
7. 배은상, 임국환, 김영환 : 아연이 연중독 백서에서 간 및 신장의 연속적과 혈중 δ -aminolevulinic acid dehydrase 활성도에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, 10(2), 79-87, 1984.
8. Six, K.M., and Goyer, R.A.: Experimental enhancement of lead toxicity by low dietary calcium, *J. Lab. Clin. Med.*, 76: 938-945, 1970.
9. Barltrop, D., and Khoo, H.E.: The in-

- fluence of dietary minerals and fat on the absorption of lead, *The Science of the Total Environ.*, 6: 268-276, 1976.
10. Mahaffey, K.R.: Nutritional factors and susceptibility to lead toxicity, *Environ. Health Perspect*, 7:107-112, 1974.
 11. Mylorie, A.A.; Moore, L., and Erogbogbo, V.: Influence of dietary factors on blood and tissue-lead concentrations and lead toxicity, *Toxicol. Appl.Pharmacol.*, 41: 364-375, 1977.
 12. Washko, P.W., and Cousins, R.J.: Metabolism of Cd in rats fed normal and low calcium diets, *J. Toxicol. Environ. Health*, 1: 1058-1065, 1976.
 13. Itokawa, Y., et al.: Renal and skeletal lesions in experimental cadmium poisoning of rats, *Environ. Res.*, 15:206-211, 1978.
 14. Schroeder, H.A., and Nason, A.P.: Essential metals in man; Magnesium, *J. Chron. Dis.*, 21:815-841, 1969.
 15. Morris, J.N., et al.: Hardness of local water-supplies and mortality from cardiovascular disease, *The lancet*, 1:860-862, 1961.
 16. Gunnar Brorck, Harry Bostrom and Anders Widstom: On the relationship between hard water and death rate in cardiovascular disease, *Acta Med. Scad.*, 178: 239-251, 1965.
 17. Dudley, E.F., et al.: Climate, water hardness and coronary heart disease, *J. Chronic Dis.*, 22:25-48, 1969.
 18. Roberto Masironi: Cardiovascular mortality in relation to radioactivity and hardness of local water supplies in the USA, *Bull. WHO*, 43: 687-697, 1970.
 19. Neri, L.C., Mandel, J.S. and Hewitt, D.: Relation between mortality and water hardness in Canada, *The Lancet*, 1:931-934, 1972.
 20. Sven Punsar, et al.: Coronary heart disease and drinking water, *J. Chro. Dis.*, 28: 259-287. 1975.
 21. Anderson, T.W., et al.: Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium, *CMA J.*, 113: 199-203, 1975.
 22. Elwood, P.C., and Morton, M.: Mortality and the concentration of elements in tap water in county boroughs in England and Wales, *British J. Pre. and Sco. Med.*, 31: 178-182, 1977.
 23. Masironi, R., Pisa, Z., and Clayton, D.: Myocardial infarction and water hardness in the WHO myocardial infarction registry network, *Bull. WHO*, 57(2): 291-299, 1979.
 24. Valerio Leoni, Leila Fabiani, Leonilde and Ticchiarelli: Water hardness and cardiovascular mortality rate in Abruzzo in Italy, *Arch. Environ. Health.*, 40(5): 274-278, 1985.
 25. Smith, W.C. and Crombie, I.K.: Coronary heart disease and water hardness in Scotland - is there a relationship?. *J. Epi. and Comm. Health*, 41: 227-228, 1987.
 26. Carl-Gustaf Elinder, et al.: Water hardness in relation to cadmium accumulation and microscopic signs of cardiovascular disease in horses, *Arch. Environ. Health*, 35(2); 81-84, 1980.
 27. U.S. Public Health Service: Community water supply study; *Analysis of national*

- survey finding, 1970.
28. ILO: Encyclopaedia of occupational health and safety, 3rd, vol. 1:673, 1983.
 29. 公害關係の分析法と解説 : 神余川縣, 公害對策事務局, 1974. .
 30. 환경청 : 환경오염 공정시험법, 539-541, 1983.
 31. 위생화학연구회 : 위생화학, 선진문화사, 1981.
 32. Catsch, A. and Harmuth-Hoene, A.: New developments in metal antidotal properties of chelating agents, *Biochem, Pharmacol.*, 24: 1557-1562, 1975.
 33. Hammond, P.B.: The effect of chelating agents on the tissue distribution and excretion of lead, *Toxicol. Appl. pharmacol.*, 18: 296-310, 1971.
 34. Schroeder, H.A.; Nason, A.P.; Tipson, I.H., and Balassa, J.J.: Essential trace metal in man: Copper, *J. Chronic Dis.*, 19:1007-1013, 1966.
 35. Pfeiffer, C.J.: Gastroenterologic response to environmental agents - absorption and interactions, *Hanbook of physiology*, American Physiological Society, Bethesda, 1977.
 36. Doull, J.; Klassan, C.D., and Amdur, M.O.: *Casarett and Doull's Toxicology*, 2nd, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1980.
 37. Margoshes, M., and Vallee, B.L.: A cadmium protein from equine kidney cortex, *J. Am. Chem. Soc.*, 79: 4813-4814, 1957.
 38. Onosaka, S.; Tanka, K.; and Cherian, M. G.: Effects of cadmium and zinc on tissue levels of metallothionein, *Environ. Health Perspect.*, 54: 67-72, 1984.
 39. Scheuhammer, A.M., and Cherian, M.G.: Quantitation of metallothioneins by a sliver-saturation method, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 82: 417-425, 1986.
 40. Chung, J.; Nartey, N.O., and Chreian, M.G.: Metallothionein levels in liver and kidney of Canadians - A potential indicator of environmental exposure to cadmium, *Arch. Environ. Health*, 41(5): 319-323, 1986.