

카드뮴의 장기 중독시 철분의 섭취 수준이 흰쥐의 체내 카드뮴 축적에 미치는 효과*

최미경 · 김애정** · 전예숙*** · 김화님**** · 노숙령***** · 승정자
숙명여자대학교 가정대학 식품영양학과
혜전전문대학 조리과,** 식품영양과***
농촌영양개선연수원,**** 중앙대학교 가정대학 식생활학과*****

Effect of Dietary Iron Levels on the Cadmium Accumulation in Cadmium Poisoned Rats

Choi, Mi Kyeong · Kim, Ae Jung** · Jun, Ye Sook***
Kim, Hwa Nim**** · Rho, Sook Nyung***** · Sung, Chung Ja
Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea
*Department of Cooking,** Food and Nutrition,*** Hyejeon Junior College, Hongsung, Korea*
*Rural Nutrition Institute,**** Suwon, Korea*
*Department of Food and Nutrition,***** Chungang University, Seoul, Korea*

ABSTRACT

This study was undertaken to investigate the effect of dietary Fe levels on Cd accumulation in Cd poisoned rats. Forty male weaning Sprague Dawley rats weighing 80–90g were divided into 4 groups(LFe : low Fe, LFeCd : low Fe and Cd, AFe : adequate Fe, AFeCd : adequate Fe and Cd) according to Cd administration(Cd : 0 or 50ppm in drinking water) and Fe levels (Fe : 6 or 40ppm in diet) for 12 weeks. The food intake and weight gain of LFe and LFeCd were significantly lower than those of AFe and AFeCd($p < 0.01$, $p < 0.001$). The water intake was not affected significantly by Cd and Fe, therefore Cd intake was no significant difference between groups. The Cd accumulation of kidney in LFeCd was significantly higher than those of AFeCd($p < 0.001$). But the Cd accumulations of brain, liver and spleen were not significantly different between Cd groups and without Cd groups. The serum Cd content and urinary Cd excretion of LFeCd was significantly higher than those of AFeCd($p < 0.001$, $p < 0.001$). But the fecal Cd excretion of LFeCd was significantly lower than that of AFeCd($p < 0.001$). The Cd retention, Cd retention rate, and apparent Cd digestibility of LFeCd were significantly higher than those of AFeCd($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$). It was concluded that adequate Fe supplementation have protective effects on the long term Cd poisoning in rats.

KEY WORDS : Fe · Cd.

채택일 : 1994년 7월 11일

*본 연구는 1993년 녹산 장학재단 연구과제의 일부임.

서 론

카드뮴(Cadmium, Cd)은 1817년 Strohmeyer에 의해 처음으로 분리되었으며 인체에 미치는 영향은 1932년 Prodan이 처음으로 기술하였다¹⁾.

환경오염성 중금속 가운데 카드뮴 독성에 대한 관심은 1960년대 일본에서 이타이 이타이병(Itai-Itai disease)이 유행하여 크게 대두되었고²⁾, 이는 카드뮴 만성중독으로 40세 이상의 농촌여성, 특히 다산부에 많이 나타난 질환으로³⁾, 카드뮴의 가장 대표적인 중독증세는 골격의 무기질 감소와 신장 기능장애였다.

카드뮴이 산업용으로 쓰여진 것은 불과 50년 정도이지만 최근에는 여러가지 산업분야에 적용되고 있는 중요한 중금속이다. 카드뮴은 특히 부식되지 않는 특성 때문에 전기 제품의 도금에 많이 이용되고 있으며 페인트나 플라스틱의 색소로서, 니켈 카드뮴 전지의 제조에 사용되고 있어 이와 관련된 산업에 종사하는 사람들은 장기간의 카드뮴 흡입으로 중독이 나타나게 된다. 또한 카드뮴은 하천수에 폐수와 함께 침투하여 하류 일대 농경지의 농작물, 특히 쌀 등에 이행되기도 하며⁴⁾, 일부는 가정용 식기에 함유되어 그 안의 식품과 함께 섭취하여 독성을 일으킬 수도 있다⁵⁾. 이와 같이 환경에 존재하는 카드뮴은 주로 식품, 식수, 오염된 공기, 흡연을 통해 인체에 들어오게 된다.

사람은 출생시에는 인체내에 카드뮴이 존재하지 않지만 연령이 증가함에 따라 점차적으로 체내에 축적되어 60년 정도를 사는 동안 약 20~30mg의 카드뮴이 인체내에 축적되고, 체내 카드뮴 총 축적량의 50~80%가 간장과 신장에 존재한다⁶⁾.

Freeland와 Cousins⁷⁾는 닭에게 식이로 고 농도의 카드뮴을 투여한 결과, 성장, 철분의 흡수, 간의 철분 저장량, 혈액의 헤모글로빈 함량과 반비례하였다고 한다. 동물실험에 의하면 높은 수준의 카드뮴 섭취는 철분의 흡수를 감소시켰으며, 카드뮴의 섭취 수준이 약간만 증가해도 철분대사에 불리한 영향을 끼쳤다고 한다⁵⁾. 따라서 카드뮴과 유사한 화학적 구조를 갖는 철분과 카드뮴의 체내 대사

과정중의 길항 효과를 고려한 상호 작용을 연구하는 것이 필수적이라고 생각된다.

식품을 통해 경구적으로 섭취하는 카드뮴의 양은 성인의 경우 1일 약 15~40 μ g으로써 이중 5~15%가 장으로부터 흡수된다고 한다⁶⁾. 그러나 카드뮴 독성은 나이, 성별, 개체의 영양상태에 따라 달라지는데 신생아나 성장기 어린이의 경우 성인보다 카드뮴 흡수 및 보유 능력이 높아 카드뮴 중독에 더욱 예민하다고 한다⁶⁾.

그러므로 본 연구에서는 이유기부터 성장후까지 흰쥐에서 식이 중 철분의 섭취수준이 흰쥐의 체내 카드뮴 축적량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 장기간 카드뮴을 투여하여도 카드뮴 중독으로 인한 실험동물의 갑작스러운 사망이 일어나지 않는 50 ppm의 카드뮴을 일상생활에서 오염될 가능성이 높은 식수를 통해서 투여하여 비교군으로 하였고, 대조군에는 식수에 카드뮴을 전혀 투여하지 않은 상태로 하였다. 이러한 비교군과 대조군에 철분을 각각 부족한 수준과 적정수준으로 12주간 섭취시킨 후 혈청, 뇌, 신장, 비장 및 간의 카드뮴 함량과 노, 변을 통한 카드뮴 배설량을 측정 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 설계

흰쥐의 장기 카드뮴 중독시 사료중의 철분의 섭취수준이 흰쥐의 체내 카드뮴 축적에 미치는 영향을 알아 보고자 이유한 21일령 Sprague Dawley계 숫컷 40마리를 사용하여 12주동안 4군으로 나누어 Table 1과 같이 실시하였다. 실험실의 조

Table 1. Experimental design for supplementation of Fe and Cd to basal diet

Dietary groups ¹⁾	Fe ppm in diet	Cd ppm in drinking water
LFe	6	0
LFeCd	6	50
AFe	40	0
AFeCd	40	50

1) L and A indicate low and adequate levels of iron

건은 온도 $24 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며 물은 탈이온수(D.I.water)로 매일 급여시켰고 모든 사료와 물은 자유급식 시켰다.

무기질의 오염을 방지 하기 위하여, 사양에 필요한 모든 기구 즉, 쥐장, 사료통, 물통을 0.4% EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid)용액에 24 시간동안 담갔다가 2차 증류수로 3번 이상 세척후 건조기에서 건조시킨 후 사용 하였다.

2. 실험 식이

실험식은 AIN-76⁸⁾을 참고로하여 Table 2와 같이 제조 공급 하였다.

기본사료(basal diet)는 모든 군의 쥐에게 철분이 6ppm이 공급되도록 하였으며, 이 기본사료에 35 ppm을 첨가함으로써 적정수준의 철분 섭취군이 되도록 하였으며, 50ppm의 카드뮴 수준은 장기간 투여하여도 카드뮴 중독에 의한 실험동물의 갑작스러운 사망이 일어나지 않아 장기 카드뮴 중독에 의한 흰쥐의 체내 카드뮴 축적량에 미치는 영향을 관찰할 수 있도록 하였다⁹⁾. 카드뮴은 식수의 오염문제를 고려해서 식수에 첨가하여 공급하므로써 카드뮴이 투여된 비교군이 되도록 하였다.

3. 시료 채취 및 분석

실험종료(12주후)전 12시간동안 절식시킨 후 개별로 체중을 측정하였고 동물을 ethyl ether로 마취시킨 후 복부대동맥에서 혈액을 채취하여 시험관에 받아 3,000rpm에서 20분간 원심분리하여 냉동보관 하였다가 발광 분광 광도계(Inductively coupled plasma spectrophotometer : Lactum 8440 plasmalac)를 이용하여 혈청 카드뮴 함량을 측정 하였다¹⁰⁾.

뇌, 신장, 비장, 간장은 복부를 개복한 다음 즉시 채취하여 0.15M 식염수로 씻어낸 후 가아제로 표면의 습기를 제거한 다음 무게를 측정한 후 -20°C 에서 냉동 보관하였다. 뇌와 변은 12시간을 절식시킨 날을 제외한 실험 종료 전 3일간 대사 케이지에서 채취 하여 냉동 보관 하였다. 냉동보관한 장기와 변은 임¹¹⁾의 습식 분해법에 의거하여 분해 후 발광 분광 광도계를 이용하여 카드뮴 함량을 측정하였다¹⁰⁾. 뇌는 총량을 측정한 다음 3,000

Table 2. Formulation of experimental diets and drinking water¹⁾

Ingredient	Basal diet		Fe-supplemented diet	
	g/kg			
Sucrose ²⁾	500.0		500.0	
Corn starch ³⁾	150.0		150.0	
Casein ⁴⁾	200.0		200.0	
Cellulose ⁵⁾	50.0		50.0	
Corn oil ⁶⁾⁷⁾	50.0		50.0	
DL-methionine ⁸⁾	3.0		3.0	
Choline bitartrate ⁹⁾	2.0		2.0	
Vitamin mixture ¹⁰⁾	10.0		10.0	
Mineral mixture ¹¹⁾	35.0		35.0	
FeSO ₄ · 7H ₂ O	—		—	0.1692
	Calculated value			
Crude protein, %			20.0	
Metabolizable energy, kcal/g			3.34	

- 1) Drinking water : Cd 50.0ppm as CdCl₂
- 2) Sucrose : Sigma Chemical Co.
- 3) Corn starch : Junsei Chemical Co.
- 4) Casein : Junsei Chemical Co.
- 5) α-Cellulose : Sigma Chemical Co.
- 6) Corn oil : Doosan Co.
- 7) BHT as antioxidant was added 0.0125%/oil kg
- 8) DL-methionine : Hoong sung Co.
- 9) Choline bitartrate : Junsei Chemical Co.
- 10) Vitamin mixture (The mixture provides per kg of diet) : Thiamine · HCl 6mg, Riboflavin 6mg, Pyridoxine · HCl 7mg, Nicotinic acid 30mg, D-Calcium pantothenate 16mg, Folic acid 2mg, D-Biotin 0.2mg, Cyanocobalamin 0.01mg, Retinyl acetate 4,000I.U., dl-α-Tocopherol acetate 50I.U., Cholecalciferol 0.025mg, Menaquinone 0.05mg
- 11) Mineral mixture (The mixture provides per kg of diet) : Calcium phosphate, dibasic 17.5g, Sodium chloride 2.59g, Potassium citrate, monohydrate 7.7g, Potassium sulfate 1.82g Magnesium oxide 0.84g, Manganous carbonate 0.12g, Zinc carbonate 56mg, Potassium iodate 0.35mg, Cupric carbonate 10.5mg, Sodium selenite 0.35mg, Chromium potassium sulfate 19.25mg, Ferrous sulfate 29.85mg

rpm에서 10분간 원심분리후 상등액을 냉동보관 하였다가 발광 분광 광도계를 이용하여 뇌중 카드뮴 배설량을 측정 하였다¹⁰⁾. 식수로 공급되고 카드뮴 분석과정에 사용된 탈이온수의 카드뮴 함량을 발광

분광 광도계를 이용하여 측정하였다¹⁰⁾.

카드뮴의 체내 축적량, 축적률, 일반소화율은 다음 식에 의해 산출하였다.

카드뮴의 축적량(μg)=카드뮴 섭취량(μg)-노와변으로의 카드뮴 배설량(μg)

$$\text{카드뮴의 축적률(\%)} = \frac{\text{카드뮴 축적량}(\mu\text{g})}{\text{카드뮴 섭취량}(\mu\text{g})} \times 100$$

카드뮴의 일반흡수율(\%)=

$$\frac{\text{카드뮴 섭취량}(\mu\text{g}) - \text{변으로의 카드뮴 배설량}(\mu\text{g})}{\text{카드뮴 섭취량}(\mu\text{g})} \times 100$$

4. 자료 처리

본 실험에서 얻어진 모든 자료(Data)는 평균과 표준편차(Mean±S.D.)를 구하였으며, 철분과 카드뮴의 섭취수준에 따른 요인간의 상호작용을 알아보기 위해 2-way 분산분석(2×2)을 하였으며 각군의 평균치간의 비교는 SAS Program의 Duncan's Multiple Range Test¹²⁾로 분석하였으며, 유의성 검정은 P<0.05에서 행하였다.

카드뮴 투여시 철분 부족군(LFeCd)과 적정 수준의 철분 공급군(AFeCd) 사이의 카드뮴 축적량, 축적률, 일반흡수율의 차이는 unpaired t-test를 이용하여 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 카드뮴 투여시 철분 섭취수준이 사료 섭취량, 체중 증가량 및 수분 섭취량에 미친 효과(Table 3)

사료 섭취량은 카드뮴을 투여하지 않은 군과 투여군에 있어 철분 부족군이 적정 철분의 공급군보다 유의적으로 감소하였으며, 철분이 적정수준으로 공급된 군(AFc)과 철분이 부족하게 공급된 카드뮴군(LFeCd)간의 차이가 가장 큰것으로 나타났다(p<0.01). 철분이 부족한 군과 적정 철분군의 사료 섭취량 모두 카드뮴 투여에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

체중 증가량은 카드뮴을 투여하지 않았을 때 철분을 적정 수준으로 공급한군(AFc)이 철분 부족군(LFe)보다 유의적으로 높았다(p<0.001). 카드뮴 투여시에도 철분 적정 공급군(AFeCd)이 철분 부족군(LFeCd)보다 유의적으로 높은 것으로 나타났다(p<0.001). 철분 부족과 적정 철분 공급시의 체중 증가량은 모두 카드뮴 투여군이 카드뮴을 투여하지 않은 군보다 유의하게 낮았다(p<0.05).

Table 3. The food intake, weight gain and water intake

Group ¹⁾	Food intake	Weight gain	Water intake
	-g/day-	-g/day-	-ml/day-
LFe	25.11 ± 3.66 ^{2)bc3)}	2.27 ± 0.62 ^{bc}	26.40 ± 0.40 ^{N.S 4)}
LFeCd	22.80 ± 1.43 ^c	1.70 ± 0.40 ^c	26.10 ± 0.90
AFc	33.75 ± 4.17 ^a	3.59 ± 0.84 ^a	25.30 ± 0.40
AFeCd	30.99 ± 6.25 ^{ab}	2.90 ± 0.35 ^{ab}	24.90 ± 0.30
ANOVA ⁵⁾ A(Fe)	15.75 ^{**}	18.84 ^{***}	0.80
Terms B(Cd)	1.43	4.67 ^{**}	1.88
AxB(FexCd)	0.01	0.04	0.00

- 1) LFe-low Fe group
LFeCd-low Fe and Cd group
AFe-adequate Fe group
AFeCd-adequate Fe and Cd group

2) Mean±S.D.

3) Means with different letters(a, b, c) within a column are significantly different from each other at p<0.05 as determined by Duncan's multiple-range test(a>b>c)

4) Not Significant

5) F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance(ANOVA)

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

본 연구 결과 식수 섭취량은 각 군간에 유의적인 차이가 없었으며, 식수로 사용한 탈이온수에서 카드뮴은 검출되지 않았다. 따라서 카드뮴을 식수로 자유급식시킴으로써 나타날 수 있는 각 군간에 카드뮴 중독의 차이는 없는 것으로 사료된다.

2. 카드뮴 투여시 철분 섭취수준이 장기의 카드뮴 축적량에 미친 효과(Table 4)

카드뮴은 흡수 과정을 통한 효율적인 항상성 조절 기작이 없어 식이나 사료를 통해 과량의 카드뮴이 공급될 경우에는 체내에 계속 축적된다고 한다⁵⁾. Lucile 등⁹⁾은 흰쥐(Sprague Dawley)에게 50ppm의 카드뮴을 식수로 섭취시켰을때 6개월후 간의 카드뮴 축적량에 비해 1년후에는 간의 카드뮴 축적량이 2배가 되었으며, 소에게 12주간 식이로 카드뮴을 640ppm 주었을때 간의 카드뮴 축적이 대조군에 비해 증가되었다고 한다¹³⁾.

식이내 첨가된 카드뮴은 실험동물의 간, 신장, 소장벽등에 축적되어 소장점막과 신장의 구조적인 손상을 초래한다고 한다¹³⁾¹⁴⁾.

본 연구결과 장기중에서 뇌, 간장, 비장의 카드뮴

축적량은 철분이 부족하게 공급된 카드뮴군(LFeCd)과 철분이 적정 수준으로 공급된 카드뮴군(AFeCd)간에 유의적인 차이가 없었다. 그런데 체내 카드뮴의 총 축적량의 50~80%가 간장과 신장에 존재한다는 보고⁶⁾도 있듯이 본 연구결과 신장이 카드뮴의 영향을 많이 받은 것으로 나타나 철분이 부족하게 공급된 카드뮴군(LFeCd)의 신장 카드뮴 축적량이 철분이 적정수준으로 공급된 카드뮴군(AFeCd)에 비해 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.001$). 즉 적정수준의 철분 섭취는 조직의 카드뮴 축적을 감소시키는데 효과적인 것으로 사료된다.

3. 카드뮴 투여시 철분 섭취수준이 혈청 카드뮴 함량과 카드뮴 배설에 미친 효과(Table 5)

혈청중 카드뮴 함량은 Table 4에서와 같이 카드뮴 공급시 철분 섭취량이 낮은군(LFeCd)보다 철분 섭취량이 높은군(AFeCd)에서 유의적으로 낮게 나타났다($p < 0.001$). 카드뮴 중독은 식품중의 카드뮴 함량외에 다른 식이인자의 영향을 크게 받는데, 특히 철분과 같은 무기질이 카드뮴의 장내 흡수 단계에서 상호 경쟁적으로 작용하여 카드뮴 흡수를

Table 4. The contents of cadmium in brain, kidney, liver and spleen

Group ¹⁾	Brain	Kidney	Liver	Spleen
	µg/g wet Wt			
LFe	N.D. ^{2)N.S.3)}	N.D. ^{c1)}	N.D. ^b	N.D. ^b
LFeCd	0.15 ± 0.13 ³⁾	53.19 ± 9.62 ^a	183.40 ± 22.26 ^a	5.22 ± 0.24 ^a
AFe	N.D.	N.D. ^c	N.D. ^b	N.D. ^b
AFeCd	0.25 ± 0.29	34.47 ± 7.71 ^b	145.25 ± 34.43 ^a	4.90 ± 0.75 ^a
ANOVA ⁶⁾ A(Fe)	0.68	9.22 [*]	2.60	0.50
Terms	B(Cd)	202.17 ^{***}	192.77 ^{***}	495.47 ^{***}
	AxB(FexCd)	0.68	9.22 [*]	2.60

- 1) LFe-low Fe group
LFeCd-low Fe and Cd group
AFe-adequate Fe group
AFeCd-adequate Fe and Cd group
- 2) Not Detectable
- 3) Not Significant
- 4) Means with different letters(a, b, c) within a column are significantly different from each other at $p < 0.05$ as determined by Duncan's multiple-range test($a > b > c$)
- 5) Mean ± S.D.
- 6) F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance(ANOVA)
- * $p < 0.05$ *** $p < 0.001$

철분의 섭취 수준과 체내 카드뮴 축적

Table 5. Serum, urinary and fecal excretions of cadmium

Group ¹⁾	Serum µg/ml	Urine µg/day	Feces µg/day
LFe	N.D. ^{2),(3)}	N.D. ^c	N.D. ^c
LFeCd	1.90 ± 0.08 ^{4)a}	5.15 ± 0.82 ^a	658.76 ± 95.23 ^b
AFe	N.D. ^c	N.D. ^c	N.D. ^c
AFeCd	1.65 ± 0.13 ^b	1.24 ± 1.20 ^b	1097.89 ± 112.53 ^a
ANOVA ⁵⁾ A(Fe)	35.49 ^{***}	29.26 ^{***}	35.49 ^{***}
Terms B(Cd)	67.98 ^{***}	77.84 ^{***}	67.98 ^{***}
AxB(FexCd)	35.49 ^{***}	29.26 ^{***}	35.49 ^{***}

1) LFe-low Fe group

LFeCd-low Fe and Cd group

AFe-adequate Fe group

AFeCd-adequate Fe and Cd group

2) Not Detectable

3) Means with different letters(a, b, c) within a column are significantly different from each other at p<0.05 as determined by Duncan's multiple-range test(a>b>c)

4) Mean±S.D.

5) F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance(ANOVA)

*** p<0.001

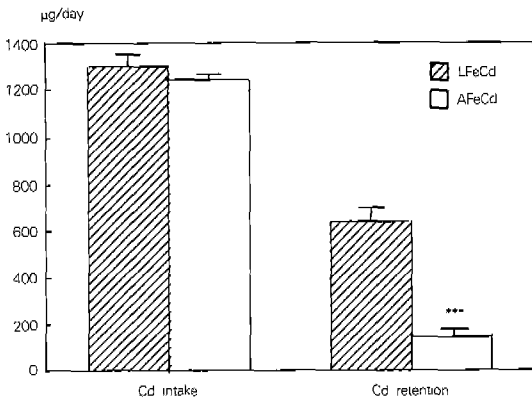


Fig. 1. The Cd intake and Cd retention in LFeCd and AFeCd.

***p<0.001

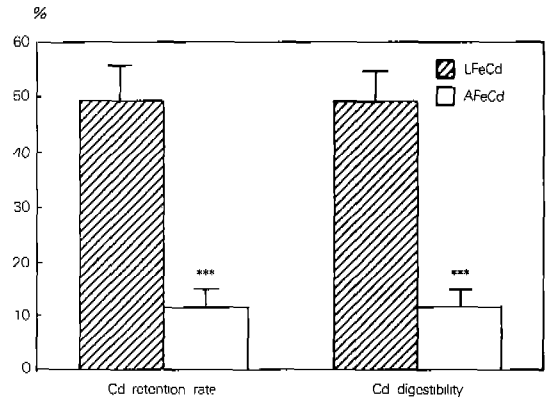


Fig. 2. The Cd retention rate and apparent Cd digestibility in LFeCd and AFeCd.

*** p<0.001

억제한다는 Hamilton과 Valberg의 보고¹⁵⁾와 일치하였다.

노를 통한 카드뮴 배설량은 카드뮴 투여시 철분이 적정수준으로 공급된 군(AFeCd)이 철분이 부족하게 섭취된 군(LFeCd)보다 낮게 나타났다. 이것은 카드뮴의 체내 흡수량이 적정수준의 철분섭취로 경감되었기 때문에 나타난 결과로 생각해 볼 수 있다.

변중 카드뮴 배설은 카드뮴에 의해 소화되지 못한 단백질 분해 물질이 카드뮴과 결합된 채로 체외로 배설되거나¹⁵⁾, 장 세포에서 합성된 metallothionein이 카드뮴과 결합하고 있다가 장세포 교체시 함께 배설됨으로써 카드뮴 흡수를 억제시켜 준다는 보고¹⁶⁾가 있는데 본 연구결과 카드뮴 투여시 변중 카드뮴 배설량은 철분이 부족한 군(LFeCd)이 철분이 적정수준인 군(AFeCd)에 비해 유의적으로

낮게 나타나($p < 0.001$), 카드뮴이 철분대사에 길항효과가 있다는 Clara 등의 보고¹⁷⁾¹⁸⁾, 이혜영과 김미경의 보고¹⁹⁾와 일치하였다.

4. 카드뮴 섭취량, 축적량, 축적률과 일반흡수율 (Fig. 1, 2)

카드뮴 투여시 철분 부족군(LFeCd)과 적정 수준의 철분 공급군(AFeCd)의 1일 카드뮴 섭취량은 $1305 \pm 44.3 \mu\text{g}$ 과 $1245 \pm 13.5 \mu\text{g}$ 으로 유의적인 차이가 없었으나, 체내 카드뮴 축적량은 $645.09 \pm 41.23 \mu\text{g}$ 과 $145.87 \pm 19.77 \mu\text{g}$ 으로 철분 부족군의 체내 카드뮴 축적량이 유의적으로 높은 것으로 나타났다($p < 0.001$). LFeCd군은 카드뮴 섭취량의 49%가 체내 축적되었으며 AFeCd군은 카드뮴 섭취량의 12%가 체내 축적됨으로써 카드뮴 축적률도 두 군간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.001$).

식품을 통해 경구적으로 섭취되는 카드뮴의 양은 성인의 경우 1일 약 $15 \sim 40 \mu\text{g}$ 으로써 이 중 5~15%가 장으로부터 흡수된다고 한다⁶⁾. 그러나 카드뮴 독성은 나이, 성별, 개체의 영양상태에 따라 달라 지는데 신생아나 성장기 어린이의 경우 성인보다 카드뮴 흡수 및 보유 능력이 높아 카드뮴 중독에 더욱 예민하다고 한다⁶⁾. 본 연구에서도 철분의 영양상태가 나쁜군(LFeCd)이 적정 수준의 철분 공급군(AFeCd)보다 카드뮴 일반흡수율이 유의적으로 높아($p < 0.001$) 카드뮴 중독의 위험이 더 큰 것으로 나타났으며, 일반흡수율이 높게 나타난 것은 식수를 통한 카드뮴 공급때문인 것으로 사료된다.

분이 적정수준으로 공급된 군이 철분 부족군보다 유의하게 높았다($p < 0.01$, $p < 0.001$). 식수 섭취량은 카드뮴과 철분 공급에 따른 유의적인 차이가 없었다.

2) 장기중에서 뇌, 비장, 간은 철분, 카드뮴 섭취수준에 따른 카드뮴 축적량에 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 신장의 카드뮴 축적량은 철분이 부족하게 공급된 카드뮴 군(LFeCd)의 축적량이 철분이 적정수준으로 공급된 군(AFeCd)에 비해 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.001$).

3) 혈청, 뇨, 변중 카드뮴 함량은 카드뮴 군에서만 검출되었는데 철분이 적정수준으로 공급된 AFeCd군의 혈청과 뇨의 카드뮴 함량은 철분이 부족하게 공급된 LFeCd군에 비해 각각 유의적으로 낮게 나타났고($p < 0.001$, $p < 0.001$), 변중 카드뮴 배설량은 AFeCd군이 LFeCd군에 비해 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.001$).

4) 카드뮴 공급시 체내 카드뮴 축적량과 일반흡수율은 철분 부족군(LFeCd)이 적정 수준의 철분 공급군(AFeCd)보다 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.001$, $p < 0.001$).

이상을 정리해 보면 철분에 의한 카드뮴의 흡수억제 및 변을 통한 배설의 증가로 인해 카드뮴 보유율이 감소되어 조직내 카드뮴 함량이 감소되므로써 장기간의 카드뮴 투여시 사료중 적정수준의 철분공급이 체내 카드뮴 축적으로 인해 발생할 독성 효과를 완화시킬 것으로 사료된다.

요약 및 결론

흰쥐의 장기간 카드뮴 중독시 사료중에 부족한 수준(Fe: 6ppm)과 적정수준(Fe: 40ppm)의 철분의 공급이 체내 카드뮴 축적에 미치는 영향을 알아보기 위하여 카드뮴(50ppm)을 투여한 군들을 비교군으로 하고, 카드뮴을 투여하지 않은 군들을 대조군으로 하여 흰쥐 40마리를 4군으로 나누어 12주간 실험한 요약 및 결론은 다음과 같다.

1) 사료 섭취량과 체중 증가량은 카드뮴을 투여하지 않았을 때와 카드뮴을 투여했을 때 모두 철

Literature Cited

- 1) Prodan LJ. Cadmium poisoning I. The history of cadmium poisoning and uses of cadmium. *J Ind Hyg* 14 : 132-155, 1932
- 2) Friberg L, Piscater M. Cadmium in the environment. CRC Press, Ohio 1974
- 3) 이용옥. 수질오염, 대기오염, 토양오염에 의한 식물오염. *국민영양* 10 : 23-26, 1986
- 4) 이진경 · 정문호. 토양중에서 무우에 의한 카드뮴의 흡수 및 이행에 관한 실험적연구. *대한보건협회지* 16(2) : 61, 1990
- 5) 김기남외 8인. 비타민 · 광물질 영양학, pp. 498-502,

철분의 섭취 수준과 체내 카드뮴 축적

- 향문사, 서울, 1985
- 6) Kostial K. Cadmium. In : Mertz W, ed. Trace elements in human and animal nutrition(Vol.2), p. 319, Academic press, New York, 1986
 - 7) Freeland JR and Cousins RJ. Effect of dietary cadmium on anemia, iron absorption and cadmium binding protein in the chick. *Nutr Rep Int* 8 : 337-347, 1973
 - 8) AIN Standards for nutrition studies report. *J Nutr* 107 : 1234-1346, 1977
 - 9) Lucile E. Chronic toxicity studies I. Cadmium administered in drinking water to rats. *AMA Archives of industrial health* 18 : 228, 1958
 - 10) Fitzhugh OG and Meiller FH. Chronic toxicity of cadmium. *J Pharmacol & Exper Therap* 72 : 15, 1941
 - 11) 임정남. 식품의 무기성분 분석. *식품과 영양*7(1) : 42-46, 1986
 - 12) Duncan DB. Multiple range tests for correlated and heteroscedastic means. *Biometrics* 13 : 164-176, 1957
 - 13) Powell GW, Miller WJ, Morton JD, Clifton CM. Influence of dietary cadmium level and supplemental zinc on cadmium toxicity in the bovine. *J Nutr* 64 : 205-214, 1984
 - 14) Flick DF, Kraybill HF, Dimitroff JM. Toxic effects of cadmium : A review. *Environ Rev* 4 : 71-85, 1971
 - 15) Hamilton DL and Valberg LS. Relationship between cadmium and iron absorption. *Am J Physiol* 227 : 1033-1037, 1974
 - 16) Kojima S. Effects of three proteins on absorption of Cd in rats. *Toxicology* 34 : 161, 1985
 - 17) Clara R and Matrone G. In vivo interactions of cadmium, copper, zinc and iron in the mouse and rat. *J Nutr* 90 : 395-399, 1966
 - 18) Campbell JK, Davies NT, Mills CF. Trace element metabolism in man and animals, pp553, Atw Weherstephan, Germany, 1978
 - 19) 이해영 · 김미경. 식이내 카드뮴과 단백질 수준이 흰쥐의 체내 단백질 대사 및 카드뮴 중독에 미치는 영향. *한국영양학회지* 21(6) : 410-420. 1988