

동물 체모 및 장기 중 카드뮴의 방사화 분석

유용운·이기호

한국원자력연구소 원자력병원

요 약

백서의 장기 내 카드뮴의 축적분포를 중성자 조사에 의한 방사분석법으로 조사하였다.

CdCl₂를 1주일에 10mg/kg씩 급식되도록 매일 물병으로 투여하였으며 1주, 2주, 3주, 1개월, 2개월 및 3개월 기간동안 장기 복용제한 후 주요장기 및 체모를 시료로 하여 방사화 분석을 수행하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) ^{115m}Cd을 방사추적자로 사용하여 24시간 경과 후 체내 카드뮴의 분포를 조사한 결과 혈액에 0.03% 신장에 2.99% 간장에 3.50%를 나타내었다.
- 2) Cd은 혈액을 통해 신속히 순환되어 신장을 통하여 배설되나 간장과 체모에도 축적되는 결과를 나타냈다.
- 3) CdCl₂를 급식케 한 실험군의 주요 장기별 Cd함량을 측정 비교한 결과를 이용하여 간장 내 Cd의 축적을 체모 내 Cd함량으로부터 진단하는 지표로 사용이 가능케 되었다.

1. 서 론

카드뮴은 보통 아연과 공존하며 전기도금, 안료 및 합성산업 등에 이용되는 대표적인 공해원소로서 분진의 흡입물 및 음식 등의 섭취를 통해서 이들 산업근로자의 체내에 오염되어 인체에 피해를 나타낸다는 것은 주지의 사실이다[1]. 카드뮴은 인체에서 생리학적 역할이 잘 알려지지 않은 미량 중금속이다. 그래서 Cd 원소의 역할과 독성 및 결핍시 미치는 영향에 관한 연구가 점차 활발히 수행되고 있다[2-3].

한편 중성자방사화분석(NAA)이란대부분의 화학 원소의 비파괴적인 정량분석 방법으로 미량원소의 정밀측정이 가능하며 소량의 생물체 시료중의 각종 희귀원소의 측정연구에 이용되고 있는 기법이다(4-6)

최근 ^{115m}Cd(n,r)¹¹⁴Cd의 열중성자포획을 이용한 방사화 분석으로 체내(In vivo) 장기 내 카드뮴함량의 측정이 수행되어 산업근로자의 피폭

량을 임상적으로 진단하려는 연구가 보고되었다[7].

본 연구는 카드뮴 중금속의 오염평가를 위한 기준치를 결정하기 위한 기초연구로 카드뮴을 백서에 식수를 통해 투여하고 NAA 방법에 의한 장기별 분포를 측정하여 주요 장기별 Cd함량의 상호관계를 규명함으로써 체내 Cd 축적의 간접 진단법의 임상적 실용화로 유해중금속원소에 의한 악영향 예방을 실현해서 국민보건 향상에 기여하는 데 목적이 있다.

2. 실험 재료 및 방법

가. 실험동물

건강한 음성 백서(Sprague Dawley strain : 체중 200g내외)를 구입하여 실험전 NIH-7-open formula 먹이를 급여한 후 7개군으로 대별하여 실험을 실시하였다. 제I군은 대조군으로 생리식

염수만 급수하였고 제II-VII군에는 CdCl₂(Sigma Chemical Co., USA) 10 mg/200 ml/head/week을 증류수병에 넣어 1주, 2주, 3주, 1개월, 2개월 및 3개월간 급수케 하였다.

나. 실험 방법

염화카드뮴 용액 50mg/l을 실험 시작일부터 ad libitum으로 급식하였으며 장기별분포의 Cd 농도를 측정하기 위하여 동물을 희생시킨 후 혈액, 간장, 신장, 뼈 및 체모를 적출 분리하였다.

(1) ^{115m}Cd를 피리정맥에 주사한 후 백서 장기내 분포의 측정

¹¹⁴Cd(n,r)^{115m}Cd반응식으로 생성되는 방사성핵종으로 물리적 반감기는 43일이며 β 붕괴를 한다. Energy방출비는 약 3%로서 계속수는 50μCi 방사능에서 약 50,000cpm가 되었다. 실험동물은 체중 175gm인 웅성백서의 피리정맥에 50μCi/0.2ml의 ^{115m}CdCl₂ 용액을 투여한 후 6시간과 24시간 경과 후 각장기를 적출 분리하여 집적방사능을 Well Dector Animal Whole Body Counter(Aloka, Japan)에 의해 측정하였다.

(2) 광학현미경 관찰

방사핵종을 피리정맥에 투여하여 24시간 경과하여 사망하는 동물의 장기를 적출하여 포르마린에 고정시킨 조직을 HE염색을 실시

하였다. 1μm 정도의 두께로 잘라 광학현미경으로 관찰하였다.

(3) 백서 장기내 Cd함량의 측정

Sprague Dawley Rat 6마리를 한 개의 group으로 한 실험군의 체중은 250-550gm 내외이였으며 각 군은 Table 1에 나타내었다. 염화카드뮴을 급식한 후 1주, 2주, 3주, 1개월, 2개월 및 3개월 후 각 실험군을 도살하여 혈액, 간장, 신장, 좌측대퇴골 및 체모 등을 적출하였다.

혈액은 눈에서 모세관을 이용하여 1ml을 취하여 polyethylene vial에 받고 10분간 수욕장치에 방치하여 혈구세포를 용혈시킨 후 다시 72시간 동결 건조시켜 보관하였다. 간장과 신장은 200-500 mg정도 취하였으며 대퇴골은 100-300mg 정도 적출한 후 400°C 온도에서 1시간동안 태운 것을 석영판에 옮겨 보관하였다. 체모는 머리부분의 털을 stainless steel 가위를 사용하여 100-200 mg을 깎은 것을 acetone-d. H₂O-acetone-d. H₂O-acetone 순서로 25ml 용액에 10분간씩 진탕시킨 후 다시 180°C에 1시간 건조시켰다.

(4) 중성자 조사 및 방사능 측정

시료조직의 중성자 조사를 위하여 깨끗한 고순도 석영판에 넣고 밀봉한 후 이를 다시 알미늄 용기에 이중 포장하고 연구용 원자로 (TRIGA Mark III, 한국원자력연구소)의 기

Table 1. CdCl₂ in tissues of rats during daily ingestion of CdCl₂ in drinking water.

Experiment group	Heads	Dosage(mg/kg)	Body Weight	
			Initial	Final
I. Control	6	0	175	219
II. CdCl ₂				
1 week	6	10	183	268
2 week	6	20	202	326
2 week	6	30	223	346
1 month	6	40	232	377
2 month	6	80	234	477
3 month	6	100	234	514

* 0.1 mg/kg × 100 = 10 mg/kg

** 10 mg/200 mg/3회/wk/head

송관을 조사시설물을 이용하여 중성자를 20 시간 조사하였다. 조사 위치에서의 열중성자 속은 $5 \times 10^{12} \text{n/cm.sec}$ 이었다. 오염을 방지하기 위하여 조사한 용기를 제거한 후 조사되지 않은 깨끗한 polyethylene vial 용기에 옮겨 Single comparative method(단일비교법)에 의해 PDP-11 Minicomputer을 이용하여 계측하였다. 성분원소의 농도계산을 위한 γ 선의 계측에는 HPGE검출기가 연결된 MultiChannel Analyser(CANBERRA 2000S)를 사용하여 측정하였으며 불감시간은 가능한 한 5%를 초과하지 않도록 하였다. 분석의 감도는 중성자 속의 변화, 검출기 효율, 핵종data, 실험 조작 등에 의한 검출오차를 10% 이하의 검출한계로 나타내었다.

3. 결 과

가. ^{115m}Cd 정맥 투여 후 정상위의 장기분포

Table 2 에서 보는 바와 같이 실험동물에 $^{115m}\text{CdCl}_2$ 용액 0.2ml을 꼬리정맥에 각각 투여 후 6시간과 24시간 경과 후 γ 선 방사능을 측정된 결과 간장, 신장, 뼈, 위장, 심장, 비장, 폐, 혈액, 근육 및 뇌의 순서로 방사능 세기의 분포를 나타내었

Table 2. Biodistribution of I.V. injected $^{115m}\text{CdCl}_2$ in normal rats.

Organ	6시간	24시간
Liver	3.50%	3.51%
Kidney	1.70%	2.99%
Bone	0.62%	0.55%
Stomach	0.62%	0.55%
Heart	0.38%	0.53%
Spleen	0.33%	0.48%
Lung	0.25%	0.26%
Blood	0.06%	0.03%
Muscle	0.04%	—
Brain	0.02%	0.02%
Hair	N.D.	N.D.

으며 체모는 계측되지 아니하였다.

한편, 혈액의 변동은 6시간에 0.06%이던 것이 24시간 후 0.03%로 감소하였으며 신장은 6시간에 1.70%이던 것이 24시간 후 2.99%로 증가하여 Cd에 피폭시 신장기능에 여러 가지 변화를 나타내는 원인을 확인할 수 있었다. Cd의 흡수는 일반적으로 원위세뇨관에서 재흡수하는 것으로 보고되고 있다. 그리고 간장은 시간의 변동없이 3.5%로 최고치를 나타내었다.

나. 정상백서 장기내 NNA법에 의한 여러 원소의 분석

^{115m}Cd 방사추적자를 이용하여 장기분포를 관찰한 후 혈액, 간장, 신장, 뼈 및 체모만을 선별한 후 조직중 Cd, Zn, Ca, Na, K, Br, As, W, Fe, Se, Rb, Hg, Co 및 Sr의 함량을 분석한 결과를 보면 Table 3과 같다. 혈액시료는 K, Na 및 Fe이 가장 높게 나타났으며 간장과 신장시료는 K과 Na이 높게 나타났으며 뼈의 시료 분석의 결과 Ca Na 및 K이 가장 높게 나타내어 각 장기에 따라 K과 Na의 존재를 배제하고 특성적인 원소가 어떠한 것인지 잘 나타내었다. 그러나 체모조직의 경우 대체로 K, Na, Ca 및 Fe 같은 주종 원소들의 함량이 낮게 나타났으며 따라서 희귀원소들의 분석치는 다른 어느장기보다 낮은 함량으로 나타내어 체모는 이들 원소들의 오염지표로 삼기에 의의있는 장기조직임을 알 수 있었다.

다. 정상백서 장기의 Cd 함량 분석

백서 장기중의 체모, 간장, 혈액, 뼈 및 신장의 카드뮴함량을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 혈액에서의 평균치는 0.64ppm이며 신장은 1.66ppm으로 가장 높게 나타났으며 체모와 간장은 0.16과 0.17ppm으로 가장 낮게 나타났다. 그리고 뼈는 0.79ppm으로 나타났다.

본 실험의 결과에서 체모와 간장, 혈액, 뼈 및 신장의 함량 비율은 1 : 1 : 4 : 5 : 10으로 함유하고 있는 것으로 나타났다.

라. Cd의 투여량 별 장기분포 변화

CdCl_2 용액을 매일 섭취한 후 제1주일에서 체모

Table 3. Content of elements in blood, liver, bone and hair by neutron activation analysis(ppm).

Element	Sample				
	Blood	Liver	Kidney	Bone	Hair
Cd	0.64	0.17	1.66	0.79	0.16
Zn	20.40	97.30	69.30	338.00	145.
Ca	132.00	177.00	293.00	213000.00	172.
Na	4410.00	2510.00	5670.00	6870.00	168.
K	5270.00	10700.00	8420.00	5830.00	473.
Br	65.20	31.80	59.00	31.00	0.72
As	19.70	2.99	3.66	-	0.06
W	0.96	0.59	1.78	-	0.06
Fe	2840.00	353.00	426.00	127.00	20.40
Se	1.42	2.00	3.52	-	0.25
Rb	8.97	36.30	33.30	-	0.37
Hg	-	0.27	0.88	-	0.14
Co	-	0.11	0.55	-	-
Sr	-	246.00	-	-	-

대 간장, 혈액, 뼈 및 신장의 카드뮴의 평균치 함량 비율은 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 시간이 경과할수록 각 장기에 축적하는 비율이 증가하는 경향을 보였으나 축적되는 증가비율은 장기별로 차이가 있었다. 혈액에는 대조군 0.64 ppm에 비하여 투여군은 제1주에서 4.24, 2주에 4.09, 3주에 4.34, 1개월에 3.21, 2개월에 10.16 및 3개월에 11.25배로 증가하는 양상을 보였다. 뼈는 대조군 0.79ppm에 비하여 투여군 1주에 2.37, 2주에 4.05, 3주에 4.46, 1개월에 4.46, 2개월에 7.25 및 3개월에 7.17배로 완만한 증가 양상을 보였다.

신장은 대조군 1.66ppm에 비하여 투여군은 1주에 1.72, 2주에 1.74, 3주에 3.27, 1개월에 5.18, 2개월에 16.36, 3개월에 14.75배로 증가 양상을 보였다. 체모와 간장에서도 장기 내 축적되는 비율이 유의있는 축적 경향을 보였다. Fig. 1은 간장이 대조군 0.17ppm에 비하여 투여군은 제1주에 17.21, 2주에 36.59, 3주에 27.33, 1개월에 52.04, 2개월에 73.42, 3개월에 72.91배의 증가 양상을 보였으며 체모는 대조군 0.16ppm에 비하여 제1주에 13.85, 2주에 14.43, 3주에 21.20, 1개월에 42.58, 2개월에 66.18 및 3개월에 150.58배의 민감한 축적 경향을 볼 수 있었다.

Table 4. Comparison of the content of Cd between the hair and the tissues in control rats.

	ppm	relative to tissues
Cd in Hair	0.16	1
Cd in Liver	0.17	1
Cd in Blood	0.64	4
Cd in Bone	0.79	5
Cd in Kidney	1.66	10

4. 고 찰

건강한 백서를 선택하여 $^{115m}\text{CdCl}_2$ 을 피리정맥에 투여하여 장기분포를 실험하고자 평균체중이 175 g인 실험동물에 방사선 추적자로 $10\mu\text{Ci}$ 를 투여 하였으나 방사능계측치가 너무 낮아서 $50\mu\text{Ci}$ 로 증가시켰다. 이때에 투여실험동물의 반은 하루가 경과하기 전에 사망하므로 6시간과 24시간 경과의 백서를 선택하여 각 장기 조직의 병리관찰에

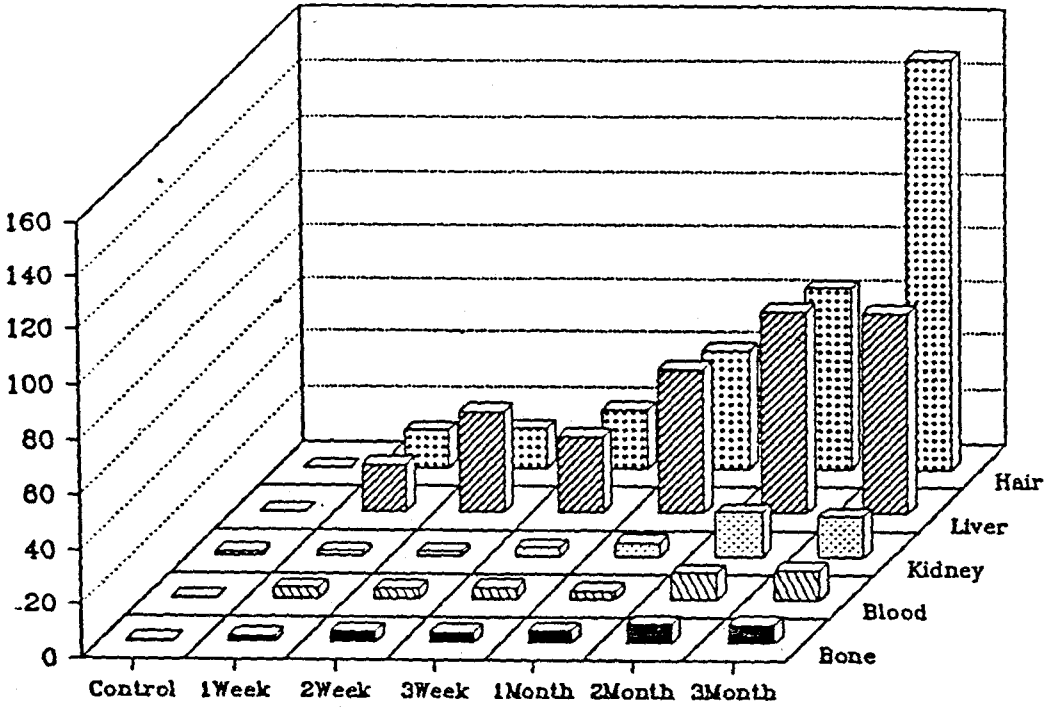


Fig. 1. Biodistribution following administration of CdCl₂ in rats .

이용하였다. Cd투여실험군의 사인은 방사 핵종의 독성에 따른 간장의 충출혈과 심한괴사 그 밖에 신장, 폐장, 비장과 고환 등에 심한 출혈에 의한 사망임을 관찰할 수 있었다(Fig2). 그리고 Cd의 방사능측정의 결정장기는 간장, 신장, 뼈의 순서로 중요하다는 것을 알게 되었다.

다음은 Cd방사핵종 대신 CdCl₂용액을 급수케 하면 Cd에 의한 치사치 및 독성은 어떠한지에 관한 두번째의 실험을 실시하였다.

CdCl₂은 물과 아세톤에 잘 녹으며 흰쥐에 경구투여시 LD50은 88mg/kg[8]이다. 그래서 평균체중 200g인 백서에서 CdCl₂용액 5-20mg/kg을 경구로 주입을 시도하였으나 실험중 죽는 사례가 많았다. 저자들은 다시 0.25mg을 4회분할하여 경구투여 후 1주일을 관찰한 후 실험동물에게 이상이 없음을 알아냈다. 그러나 개체별로 경구투여는 어려운 작업이므로 200ml 급수병에 10mg의 CdCl₂용액이 되게하여 1주일에 한마리가 Cd 50mg을 섭취케 하였다. 연이어서 1개월이 경과 후에는 200mg/L, 2개월과 3개월 후에는 각각 400

mg/L과 600mg/L용액을 급수케한 후 시간 경과별 조직분포를 실시하였다.

저자들의 실험방법은 Kollmer[9]등의 300mg Cd/L/10days 보다 최고 2배가 더 증가된 Cd 용액을 급식케 하였으며 LD50농도 보다 6.8배나 되는 농도범위의 실험을 무사히 수행하는 실험 방법이었다.

그리고 CdCl₂용액의 3개월 투여군의 조직병리적인 현미경적 관찰의 경우 간장의 충출혈과 신장 및 다른 여러 장기에서의 병변을 비교할 때 Cd의 결정장기는 간장대사에 미치는 영향이 제일 심하였다(Fig2)

인간의 Cd흡수는 대기의 흡입 직연 물과 음식 등의 섭취로 오염되나 산업장의 근로자를 제외한 일반인의 흡입은 주로 식수의 섭취에 의하여 야기된다. 한편 중금속에 의한 생리적인 영향은 중금속 자체로 인한 독성작용보다 중금속의 저농도의 장기간 피폭시 생체에서 발생하는 질병의 예방과 간접 진단과의 상호관계가 매우 중요한 과제라 하겠다. 현재까지 Cd 중독에 의한 연구를

보면 고혈압(hypertension), 폐기종(emphysema), 무후각증(anosmia), 고환위축(testicularatrophy), 신경장애(renal damage) 및 빈혈 등이 보고되었다[10-20].

또한 Cd의 체내투여로 여러 가지 신장기능의 변화를 나타내는데 단백뇨[19], 당뇨[21-23], 아미노산[24-36], 인[27] 및 Ca[28] 등의 배설 증가가 보고되었다.

본 연구는 지금까지 Cd과 생리적인 독성에 미치는 영향에 관한 다른 관점으로 Cd과 같은 유해 중금속원소의 오염도 측정을 위한 간편한 측정방법의 개발로 오염의 최소화와 예방법이 될 것으로 생각하여 시료의 비파괴적 예민한 분석법으로 증성자 방사화 분석법을 실험하여 보았다.

중금속에 의한 생체기능의 저하와 면역학적 연구를 보면 Jones 등은 백서에 있어 카드뮴 화합물의 증독이 면역반응을 억제한다[29]하였으며 저농도의 카드뮴에 의한 만성중독된 단백뇨 환자에서 β_2 -microglobulin의 배설이 증가되었다고 하였다[30].

과거 25년동안 체모 내 희귀원소의 농도가 인체의 영양상태 독성과 환경오염평가 및 질병진단의 지표로 사용되기 위한 많은 논란이 있었다. Chatt 등은 guinea pigs를 실험동물로 하여 Cd과 Se원소의 저농도의 만성피폭실험하의 체모 및 장기 내 농도측정을 원자흡광스펙트럼법과 증성자와 분석법을 실시하여 실험성적을 구하였다. 원자흡광스펙트럼법은 질산과 황산에 시료를 소화

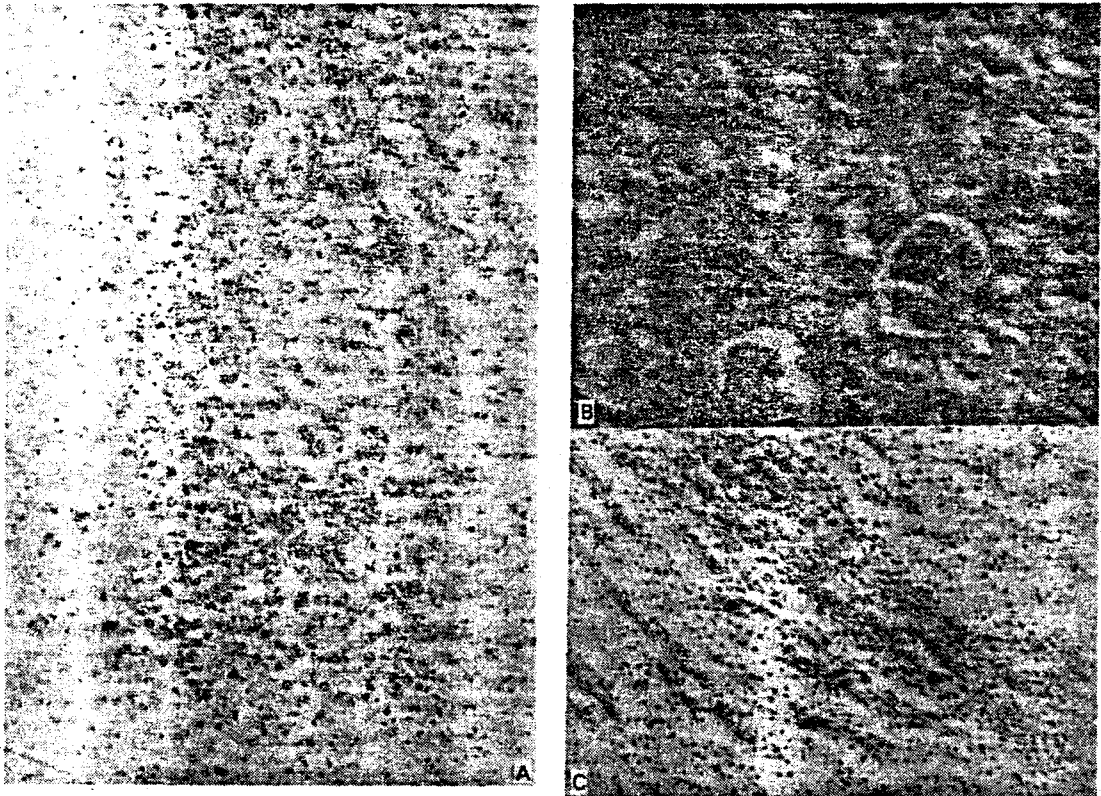


Fig. 2. Light micrograph of toxic effects of cadmium chloride in rat.

(Hematoxylin-eosin stain) A: Liver B: Kidney cortex C: Kidney medulla

시킨 후 229nm 파장에 측정하는 한편 중성자화 분석법은 비파괴 시료를 원자로에 조사하여 간편하게 다원소를 분석하게 된다[31].

저자는 여러가지 최근 문헌을 기초로 하여 CdCl₂ 용액을 급수시킨 백서 실험군의 장기별 분포를 관찰코자 중성자화 분석법에 의한 측정을 실시하여 보았다.

백서 장기 내 Cd의 방사능계측에 의한 농도측정은 정상군의 신장이 1.66ppm, 뼈가 0.79ppm, 혈액이 0.64ppm, 간장이 0.17ppm과 체모가 0.16ppm로서 신장이 간장보다 약 10배나 더 많이 축적되었고 체모 및 간장 내 Cd치는 혈액의 잔류농도 이하로 계측되어 이들 장기 내 Cd함량을 표준장기로 규정하였다.

실험군으로 3개월간 CdCl₂용액을 섭취한 백서의 신장은 24.49ppm, 체모는 24.09ppm, 간장은 12.39ppm, 혈액은 7.20ppm 및 뼈 5.67ppm로 계측되었으며 또 시간별 Cd함량의 측정경향이 체모와 간장조직의 Cd함량이 축적의 지표 및 중금속중독의 진단장기로 사용된다는 사실이 명확히 밝혀졌다.

마지막으로 백서 내 카드뮴이 축적되어 가장 많이 장애를 일으키는 장기는 현미경적 관찰의 결과 간장과 신장이며 카드뮴의 잔류축적으로 예민한 축적경향을 알 수 있는 장기 조직은 간장과 체모임이 밝혀졌다. 그래서 체모 내 카드뮴원소의 함유와 측정지표는 간장 내 카드뮴원소의 함유를 진단하는 간접적인 조기진단의 지표가 된다고 사료되며 실험동물이 아닌 인체 실험에서 연구하여 사실을 규명할 필요성을 느낀다.

5. 결 론

백서에 염화카드뮴을 장기간 급식케하여 장기 분포 및 중성자화법으로 카드뮴의 함량을 분석 측정하였으며 결과는 다음과 같다.

1. 카드뮴의 장기별 분포의 측정을 위하여 ¹¹⁵Cd를 사용하여 측정한 결과 24시간 경과하였을 때 혈액은 0.03%, 신장은 2.99%, 간장은 3.50%였다.

2. 정상백서의 카드뮴의 장기별 함량의 분석을 위하여 중성자화법을 사용하여 측정한 결과 혈액은 0.64ppm, 신장은 1.66ppm, 간장과 체모 내 평균함유량은 0.17과 0.16ppm이었다.
3. 3개월간 염화카드뮴을 급식케 한 실험군의 주요 장기별 카드뮴함량의 분석을 위하여 중성자화법을 사용하여 측정 비교한 결과 체모와 간장의 증가 양상이 일치하는 것을 밝혀내어 이를 근거로 하여 간장 내 카드뮴원소의 축적을 체모 내 분석결과로서 조기진단의 지표가 된다고 사료 되었다.

감 사

본 연구를 원활히 수행하도록 도와 주신 한국 동력자원연구소의 김낙배 박사와 방사화학 1실 이길용씨와 원자력병원의 김태환, 우광선, 정위섭 씨의 노고에 진심으로 사의를 표한다.

References

1. E. Takabatake, "Experimental studies on human," *In cadmium studies in Japan*. K. Tsuchiya, ed., Kodasha, Tokyo, 129-132, (1978).
2. A. Furst, R.T. Baro, *Prog. Exp. Tumor Res.*, 12, 103(1969).
3. G.N. Schrauzer, D.A. White, C.J. Schneider, *Bioinorg. Chem.*, 6, 265(1976).
4. J. Bergstrom, "Muscle electrolytes in man," *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 68,14(1962).
5. D. Brune and H.E. SjoBerg "Determination of magnesium in needle biopsy samples of muscle tissue by means of neutron activation analysis," *Anal. Chim. Acta*, 33, 570 (1965).
6. K. Samsshal, D. Brune and P.O.Wester, "Simultaneous determination of 30 trace elements in cancerous and non cancerous human tissue samples by neutron activation analysis," *Intern. J. Appl. Radiation Isotopes*, 16, 273 (1965).
7. D.M. Franklin, D.R. Chettle and C. Scott, "Stu-

- dies relating to the accuracy of in vivo measurements of liver and kidney cadmium," *J. Radioanal and Nucl. Chem.*, 114(1), 155(1987).
8. H.E. Christensen, "Toxic substances list" *In the merck index* 8th edition. pp. 1605(1974).
 9. W.E. Kollmer "Significance of elemental deposition in hair to internal contamination," IAEA TECDOC-330, P 71-78 (1985).
 10. H.A. Schroeder, W.H. Jr. Vinton, "Hypertension in rats induced by small doses of cadmium," *Am J Physiol*, 202, 515 (1962).
 11. H.M. Jr. Perry, M.Erlanger, E.F. Perry, "Elevated systolic pressure following chronic low-level cadmium feeding," *Am J Physiol*, 232, 114 (1977).
 12. H.M. Jr., Perry, M. Erlanger, E.F. Perry, "Effects of a second metal on cadmium induced hypertension, *Arch Environ Health*, 38(2), 80 (1983).
 13. J.A. Bonell, "Emphysema and proteinuria in men casting copper cadmium alloys," *Br J Ind Med*, 12, 181 (1955).
 14. G.L. Snider, J.A. Hayes, A.L. Korthy, G.P. Lewis, "Centrilobular emphysema experimentally induced by cadmium chloride aerosol," *Am Rev Respir Dis*, 108, 40 (1973).
 15. L. Friberg "Health hazards in the manufacture of alkaline accumulations with special reference to chronic cadmium poisoning," *Acta Med Scand*, 138 (suppl.240), 124(1950).
 16. L. Friberg, "Chronic cadmium poisoning," *A. M.A. Arch Ind Health*, 20, 401(1959).
 17. R.E. Lane, A.C.P. Campbell "Fatal emphysema in two men making a copper cadmium alloy," *Br J Ind Med*, 11, 118 (1954).
 18. L. Parizec, "Sterilization of male by cadmium salts," *J. Repord Fertil*(suppl) 1, 294 (1960).
 19. A. Bernard, J.P. Buchet, H. Roels, P. Masson, R. Lauwery, "Experimental confirmation in rats of the mixed type proteinuria observed in workers exposed to cadmium," *Toxicology*, 10(4), 369(1978).
 20. F.V. Kazantzis, J.S. Sporge, "Renal tubular malfunction and pilammonary emphysema in cadmium pigment workers," *Q.J. Med*, 32, 165 (1963).
 21. G. Kazantzis, F.V. Flynn, J.S. Spowage and D.G. Trott, "Renaltubular malfunction and pulmonary emphysema in cadmium pigment workers," *Quart.J. Med.*, 32, 165(1963).
 22. R.G. Adams, J.F. Harrison and P. Scott, "The development of cadmium-induced proteinuria, impaired renal function, and osteomalacia in alkaline battery workers," *Quart.J. Med*, 38, 425(1969).
 23. K. Nomiya, Y. Sugata, A. Yamamoto and H. Nomiya, "Effects of dietary cadmium on rabbits. I. Early signs of cadmium intoxication," *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 31, 4(1975).
 24. R.A. Goyer, K. Tsuchiya, D.L. Leonard and H. Kahayo, "Aminoaciduria in Japanese workers in the lead and cadmium industries," *Am. J. Clin. Pathol.*, 57, 635(1972).
 25. T.H. Gieske and E.C. Foulkes, "Acute effects of cadmium on proximal tubular function in rabbits," *Toxicol. Appl. Pahmacol.*, 27, 292 (1974).
 26. A. Bernard, J.P. Buchet, H. Roles, P. Masson and R. Lauwerys, "Renal excretion of protein and enzymes in workers exposed to cadmium," *Eur. J. Clin. Invest.*, 9, 11(1979).
 27. S. Iwao, K. Tsuchiya and H. Sakurai, "Serum and urinary beta-2-microglobulin among cadmium exposed workers" *J. Occup. Med.*, 22, 399(1980).
 28. R. Scott, E.A. Mills, G.S. Fell, F.E.R. Husain, A.J. Yates, P.J. Paterson, A. Mckirdy, J.M. Ottoway, O.P. Fitzgerald-Finch, A. Lamont and S. Roxurgh, "Clinical and biochemical abnormalities in coppersmiths exposed to cad-

- mium," *Lancet*, 21, 396(1976).
29. R.H. Jones, R.L. Williams, A.M. Jones, "Effects of heavy metal on the immune response," *Proc Soc Exp Biol Med* 137, 1231(1971).
30. M. Piscator, "Proteinuria in chronic cadmium poisoning," *Arch Environ Health*, 4, 55(1962).
31. A. Chatt and J. Holzbecher, "Metabolic deposition of selenium and cadmium into the hair and other tissues of the guinea pig," International Conference Nuclear Analytical Methods in the Life Science, Abstracts K69(1989).

Neutron Activation Analysis of Cadmium Deposition in Hair and Animal Tissues

Yong-Wun Ryu and Kee-Ho Lee

Korea Cancer Center Hospital

Korea Atomic Energy Research Institute, Seoul, Korea

Abstract

Rats were ingested in drinking water 600mg/L of cadmium chloride solution during 3 months, then the distribution of Cd in major organs and hair were determined by neutron activation analysis.

The results were as followings.

1. After administration for 24 hours using ^{115m}Cd as tracer, the distribution of blood was 0.03%, kidney 2.99% and liver 3.50% to determine with whole body counter.
2. Cd metal was rapidly excreted with kidney through blood and their accumulation appeared in liver and hair.
3. The comparative data to determine using neutron activation analysis, the content of cadmium of major organs in rats ingested of CdCl_2 during 3 month were shown to increase significantly both hair and liver.

Above facts, hair samples were able to use as the diagnostic index to evaluate the accumulation of cadmium in liver.