

## 부검체 두발과 장기의 중금속 오염농도 관련성

이원기<sup>1</sup> · 송명언<sup>2</sup> · 송재기<sup>3</sup> · 이성국<sup>4</sup> · 박성화<sup>5</sup>

### 요약

많은 역학조사에서 두발을 이용하여 체내 중금속 오염 정도를 알아보는 방법이 유용한 것으로 보고 있다. 본 논문에서는 61구의 부검체를 이용하여 다변량기법으로 두발과 장기의 수은 및 카드뮴 축적정도를 측정하여 상호간 관련성을 밝히고자 하였다. 그 결과 수은의 경우 두발에서의 축적정도와 2차 축적장기와는 통계적으로유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다.

주제어: 결측치, 요인적재량, 상관분석

### 1. 서론

근대 산업화 이후 독성 중금속의 이용규모는 급격히 증가하여 중금속을 다루는 산업현장의 근로자들 뿐만아니라 대기, 수질 및 토양 등을 오염시켜 일반인들에게까지 간접적으로 피해를 주고 있다. 독성 중금속의 체내축적으로 인한 산업성 질환의 사례들은 산업화과정의 국가들에서 광범위하게 보고되어 왔다.

대표적인 독성 중금속으로는 납, 카드뮴 및 수은 등을 들 수 있는데 본 연구에서는 카드뮴과 수은을 연구대상으로 하였다. 카드뮴은 1817년 독일 화학자 Strohmeyer에 의해 발견되었으며 1910년부터 생산량이 매년 증가하고 있는 물질로서 전기도금, 안료제조, 합금, 세라믹공장, 각종 배터리 제조 등의 원료로 사용되고 있다. 카드뮴의 생산량은 1970년에는 미국, 일본, 독일, 구소련 등에서 전체량의 2/3를 생산하였으나 우리 나라도 많은 산업현장에서 다량의 카드뮴이 이용되고 있으나 사용된 카드뮴을 회수하지 못하여 심각한 환경오염의 원인이 되고 있다(이영환과 정문호, 1993). 카드뮴은 신장에서 가장 높게 축적되고

<sup>1</sup>(701-702) 대구광역시 북구 산격동 1370번지, 경북대학교 통계학과 박사과정

<sup>2</sup>(701-702) 대구광역시 북구 산격동 1370번지, 경북대학교 통계학과 시간강사

<sup>3</sup>(701-702) 대구광역시 북구 산격동 1370번지, 경북대학교 통계학과 교수

<sup>4</sup>(700-422) 대구광역시 중구 동인동 2가 101번지, 경북대학교 의과대학 예방의학교실 교수

<sup>5</sup>(700-412) 대구광역시 중구 삼덕동 2가 50번지, 경북대학병원 임상병리과 보건학 박사

(장성길 등, 1982; 정용, 1984), 카드뮴이 인체에 과다하게 축적이 되면 신장질환, 태아의 성장지연, 임신합병증 및 저체중아 등을 초래할 수 있으며(Piscator, 1972; 이수일과 강신애, 1982; 이세훈 등 1986; Nokawa, 1987; 박가식, 1989; Loiacono 등 1992), 수은 폭로에 따른 만성 수은중독 증상으로는 피로, 불안, 두통, 신장장애 및 구토 등이 나타날 수 있다(Gronka 등, 1970).

중금속의 체내 축적량을 알아보기 위하여 혈액 및 소변을 이용하여 중금속 농도를 측정하여 왔다(이수일과 강신애, 1982; 조수현 등, 1991). 그러나 혈액이나 소변을 이용하여 체내 중금속의 농도를 측정하는 방법은 표본의 채취면에서는 매우 쉬운 방법이지만 단기간 동안 중금속에 노출된 정도밖에 반영되지 않으므로, 장기간 동안 중금속에 노출된 경우에 축적 정도를 측정하기 위해서는 Foo 등(1993)이 제안한 두발내 축적된 중금속의 농도를 많이 이용하고 있다. 두발을 이용한 체내 중금속의 농도 측정은 표본을 쉽게 얻을 수 있을뿐만 아니라 혈액이나 소변을 이용할 때 보다 장기간 중금속의 노출정도를 잘 반영한다고 알려져 있다(Suzuki와 Yamamoto, 1982).

두발의 중금속 농도와 장기에 축적된 중금속의 농도의 관련성은 정도의 차이는 있으나 상관성이 있는 것으로 보고되어 왔으나 단순상관분석을 통해 두발의 중금속 농도와 장기의 중금속 농도간의 단순상관성을 밝히고자 하였던 정종학 등(1998)의 연구에서는 그 관련성을 찾지 못하였다. 따라서 본 논문에서는 정종학 등의 자료를 이용하여 다변량분석기법으로 재분석하여 두발과 장기간 중금속 축적농도의 상호관련성이 있는지 알아보려고 한다.

## 2. 두발의 중금속 농도와 인체 장기의 중금속 농도의 관련성

본 연구에 이용한 자료는 총 61구의 부검체를 이용하였으며, 성별로는 남자 41명 (65.6%) 여자 20명(34.4%)이었고 연령별로는 20세 미만인 9명(14.75%), 20대가 13명(21.31%), 30대가 10명(16.39%), 40대가 16명(26.23%), 그리고 50세 이상이 13명(21.32%) 이었다. 그리고 성별에 따른 연령별 분포는 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p > 0.05$ ).

표 1: 장기별 결측수와 결측비율

장기	소뇌	대뇌	심장	신장	간	폐	비장	두발
결측수	2	0	16	0	1	3	1	0
결측비율(%)	3.3	0	26.2	0	1.6	4.9	1.6	0

부검체로부터 자료를 수집한 관계로 부검대상 사체의 손상정도가 심해 일부 장기를 채취할 없는 경우와 소수의 검색상태 불량으로 인해 결측치가 발생하였다. 표 1을 보면 심장에서 가장 많은 결측치가 발생하였으며 그외의 장기에서는 대부분 극소수의 결측치가 발생하였음을 알 수 있다. 그러나 모든 장기에서 결측치가 전혀 없는 관찰수는 38명(62.3%)으로 이로 인하여 모든 변수를 이용한 자료분석을 하고자 할 때에는 결과적으로 23명(37.7%)의

관찰치를 버려야 한다. 따라서 본 연구에서는 먼저 이들 결측치를 추정하여 자료의 효율성을 높이고자 하였다.

자료에 결측치가 존재하는 경우에는 결측치 발생의 우연성(randomness)에 관해 먼저 조사하여야 하는데 본 연구에서는 심장을 제외한 다른 장기의 경우 소수의 자료에서 결측치가 발생하였으므로 심장에서 결측치 발생의 우연성에 관해서만 알아보았다. 우연성을 알아보는 방법으로 심장의 결측치가 발생한 군과 그렇지 않은 군사이에서 다른 장기에서의 중금속 축적정도가 차이가 있는지 알아보려고 심장의 결측여부에 따라 두 군으로 나눈 후 다른 장기들의 평균 축적농도의 차이를  $t$ -검정을 이용하여 조사하였다. 그 결과 심장의 결측에 따른 중금속 축적 농도는 모든 장기에서 유의한 차이가 없어 심장의 결측이 우연하게 일어났다고 간주하였다(표 2 참조).

**표 2:** 심장결측에 따른 장기별 평균차이 검정(단위:  $\mu\text{g}$ )

중금속	장기	정상군			결측군			p-값
		N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	
카드뎴	소뇌	43	0.153	0.127	16	0.157	0.115	0.9202
	대뇌	45	0.112	0.074	16	0.160	0.157	0.2546
	신장	45	124.454	81.369	16	143.631	103.671	0.4549
	간	44	8.728	9.647	16	8.395	7.429	0.9008
	폐	42	1.076	0.530	16	1.387	0.704	0.0742
	비장	44	0.972	0.800	16	1.107	0.922	0.5786
	두발	45	0.097	0.121	16	0.122	0.140	0.5033
수은	소뇌	43	0.161	0.145	16	0.202	0.224	0.4974
	대뇌	45	0.129	0.117	16	0.174	0.186	0.3760
	신장	45	1.427	3.246	16	1.079	1.751	0.5965
	간	44	0.740	1.317	16	0.679	0.546	0.8028
	폐	42	0.378	0.811	16	0.353	0.313	0.8678
	비장	44	0.151	0.177	16	0.223	0.316	0.3958
	두발	45	1.310	0.697	16	1.277	0.529	0.8652

각 장기별 결측치를 추정하기 위하여 회귀분석을 이용하여 결측치를 추정하였으며, 추정하고자 하는 장기를 종속변수로 두고 나머지 장기를 독립변수로 사용하여 단계적 회귀분석(stepwise regression analysis)을 실시하였다. 이때 결정계수( $R^2$ )는 최소 0.502에서 최대 0.934로 나타났고, 가장 많은 결측치가 발생한 심장의 경우 카드뎴은 0.803이었으며 수은은 0.7498이었다. 표 3은 각 장기의 결측치를 제외했을 때와 결측치를 추정한 후의 평균과 표준편차를 각각 나타내었으며 추정전후의 평균과 표준편차의 차이도 함께 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 결측치가 많은 심장의 경우 추정전후의 카드뎴의 축적량의 평균차가 유의하게 나타났을 뿐 다른 장기에서는 유의한 차이가 없었다. 정종학 등(1998)은 결측치를 제외시키고 각 장기별, 남녀별, 연령별 중금속의 축적량에 차이가 있는지를 검정하였다. 그 결과 성별에 따른 각 장기별 중금속 축적의 평균차이는 카드뎴에서 소뇌, 폐 및

표 3: 추정전후의 평균 및 표준편차 (단위:  $\mu\text{g}$ )

중금속	장기	추정전			추정후 (N=61)		추정전후 차이	
		N	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
카드늄	소뇌	59	0.154	0.122	0.154	0.121	0.000	0.001
	대뇌	61	0.124	0.103	0.124	0.103	0.000	0.000
	심장	45	0.316	0.223	0.326	0.219	-0.010	0.004
	신장	61	129.484	87.261	129.484	87.261	0.000	0.000
	간	60	8.639	9.048	8.605	8.977	0.034	0.071
	폐	58	1.162	0.593	1.168	0.580	-0.006	0.013
	비장	60	1.008	0.828	1.003	0.822	0.005	0.006
	두발	61	0.104	0.126	0.104	0.126	0.000	0.000
수은	소뇌	59	0.172	0.169	0.169	0.167	0.003	0.002
	대뇌	61	0.141	0.138	0.141	0.138	0.000	0.000
	심장	45	0.138	0.179	0.146	0.174	-0.008	0.005
	신장	61	1.336	2.918	1.336	2.918	0.000	0.000
	간	60	0.724	1.158	0.723	1.148	0.001	0.010
	폐	58	0.371	0.706	0.368	0.689	0.003	0.017
	비장	60	0.170	0.222	0.169	0.221	0.001	0.001
	두발	61	1.301	0.653	1.301	0.653	0.000	0.000

두발을 제외한 장기에서는 유의수준 0.05에서 유의하였으나 수은의 경우 모든 장기에서 유의한 차이는 없었다. 또한 연령에 따른 각 장기별 중금속 축적의 평균차이는 카드늄의 경우 대뇌와 신장에서 나이가 많을수록 축적량이 많았으며 수은의 경우 유의한 차이를 보인 장기는 없었다. 결측치를 추정한 후의 성별과 연령에 따른 중금속의 축적량의 차이에 대한 검정도 동일한 결과가 나왔다.

정종학 등(1998)은 두발과 체내 장기들에 축적된 중금속 농도의 관련성을 알아보기 위하여 단순분석을 한 결과 유의한 상관성을 찾지 못하였다. 그러나 체내 장기에 축적된 중금속의 농도는 장기들간에 유기적인 관계가 있을 것으로 생각되어 본 연구에서는 요인분석을 통해 장기들간의 관계를 찾아 두발의 중금속 농도와 관련성을 알아보려고 한다. 우선 카드늄과 수은을 각각 분리하여 분석할 수 있는지를 알아보려고 장기에 축적된 카드늄과 수은 사이에 정준상관분석(Canonical correlation analysis)과 단순상관분석을 하였다. 정준상관계수는 0.741이었으나  $p$ -값이 0.1151(Wilks' Lambda 통계량)로 유의하지 않게 나타났으며, 단순 상관분석에서 카드늄의 대뇌, 비장이 수은의 소뇌, 대뇌, 그리고 심장과 유의한 상관관계가 있는 정도였다. 또한 요인의 수를 두개로 하였을 경우 추출된 두 요인의 설명력은 46%였으며 베리맥스방법으로 요인회전을 시킨 결과 카드늄의 두발과 수은의 신장에서 서로 교차되어 묶일뿐 수은과 카드늄은 서로 다른 요인으로 묶였다. 그래서 두 중금속을 분리하여 각각에 대한 요인분석을 하였다. 표 4는 각 중금속에 대한 요인분석 결과이며 두 요인에 대한 누적분산비는 카드늄에서 64%, 수은에서 71%였다. 또한 표본적합도(measure of sampling adequacy)는 카드늄, 수은에서 각각 0.725, 0.712로 요인분석을 하기에는 적당한 자료로 보여졌다.

표 4: 중금속별 요인분석 결과

장기	카드늄		수은	
	2차축적장기	1차축적장기	2차축적장기	1차축적장기
소뇌	0.84394	-0.19724	0.94523	0.01528
대뇌	0.67795	0.42413	0.92927	0.12342
심장	0.81317	0.28612	0.82520	0.00982
신장	0.62883	0.47843	-0.07297	0.91150
간	0.23558	0.50021	0.08513	0.72420
폐	0.01090	0.84296	0.24453	0.67288
비장	0.74563	0.33885	0.71811	0.37970

표 4에서 각 중금속의 요인적재량(factor loading)을 살펴보면 카드늄의 경우 소뇌, 대뇌, 심장, 신장, 그리고 비장이 요인1로 묶였으며 간과 폐가 요인2로 묶였다. 수은의 경우 소뇌, 대뇌, 심장, 그리고 비장이 요인1로 묶였으며, 신장, 간, 그리고 폐가 요인2로 묶였다. 수은의 경우 각 장기별 요인1과 요인2의 요인적재량 차이가 0.3 이상으로 요인간 구분이 명확하나 카드늄의 경우에는 대뇌와 신장의 요인적재량의 차이가 각각 0.25382, 0.1504로 묶이는 정도가 분명하지는 않았다. 그래서 카드늄의 경우 신장을 요인2로 묶는다면 각 중금속의 요인1은 소뇌, 대뇌, 심장, 그리고 비장으로 혈류를 통해 전달된 2차 축적현상으로 해석되므로 요인1을 "2차축적장기"라 부르기로 한다. 요인2는 신장, 간, 그리고 폐로서 신장과 간은 체내 각종 독성요소를 걸러내는 장기이며 폐는 공기중의 중금속과 직접 접촉한다는 점에서 1차축적현상이 생기는 장기로 분류할 수 있다. 즉 "1차축적장기"라 하자. 이와 같이 요인으로 분리한 후 각 요인함수와 요인점수를 구하여 두발의 카드늄과 수은과의 상관관계를 보았다. 표준화 점수를 이용한 카드늄의 요인함수는 다음과 같으며, 2차축적장기 분산비는 66%이고 1차축적장기 분산비는 50%였다.

$$2차축적장기 = 0.293 \times 소뇌 + 0.310 \times 대뇌 + 0.317 \times 심장 + 0.309 \times 비장$$

$$1차축적장기 = 0.536 \times 신장 + 0.467 \times 간 + 0.398 \times 폐$$

수은의 요인함수는 다음과 같으며, 2차축적장기 분산비는 75%이고 1차축적장기 분산비는 61%였다.

$$2차축적장기 = 0.310 \times 소뇌 + 0.309 \times 대뇌 + 0.268 \times 심장 + 0.258 \times 비장$$

$$1차축적장기 = 0.483 \times 신장 + 0.391 \times 간 + 0.392 \times 폐$$

표 5는 추출한 요인점수와 두발의 중금속 농도와 상관관계이며 수은의 2차축적장기와 두발의 상관관계를 제외하고는 모두 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

### 3. 결론

두발내 중금속 농도와 체내의 중금속 농도와 관련성을 규명하여 두발을 체내 중금속 농도의 생물학적 표지자(biological marker)로서 이용될 수 있는지에 관한 연구는 많지 않

표 5: 두발과 축출한 요인점수 간의 상관분석

		1차축적장기		2차축적장기	
		카드뮴	수은	카드뮴	수은
두발	카드뮴	0.02124	-0.04390	-0.08518	-0.15105
발	수은	0.14750	0.02676	0.17877	0.26006*

$p < 0.05$

다. 장성 길 등(1982)과 정용(1984)은 부검체를 이용하여 두발과 인체내 장기의 중금속 농도와의 관련성을 조사하였으나 표본의 크기가 적어 관련성을 규명하는데는 다소 한계가 있었으며 Suzuki 등(1982)이 일본인 부검체를 대상으로 조사한 결과 두발의 수은 농도와 소뇌, 대뇌, 심장, 신장, 간장, 비장 등과 유의한 상관관계가 있다고 보고하였다. 정종학 등(1998)도 단순상관분석을 통하여 두발과 장기사이의 상관성을 찾으려 하였으나 수은의 경우 소뇌( $r=0.177$ )와 대뇌( $r=0.239$ )에서 약간의 상관성을 찾았으나 유의하지는 않았다.

본 연구에서 알아본 바에 의하면 수은에서 두발과 2차축적장기(소뇌, 대뇌, 심장, 비장)에서 유의한 상관관계가 있었으나 카드뮴은 두발의 축적농도가 체내의 카드뮴을 반영하지는 못하는 것으로 나타났다. 수은의 경우 두발의 축적농도는 선행연구와 유사한 결과이며 특히 소뇌, 대뇌 등 혈류를 통하여 축적되는 장기의 생물학적 표지자로 이용은 가능해 보인다. 그러나 카드뮴의 경우 두발과 장기간의 관련성이 적어 생물학적 표지자로의 이용은 어려워 보이며 이를 확인하기 위하여 좀더 많은 자료의 획득과 분석이 필요한 것 같다.

## 참고 문헌

1. 이수일, 강신애 (1982). 모체혈, 태반 및 제대혈중 카드뮴 함량에 관한 조사, 부산의 대잡지, 22, 275-281.
2. 이세훈, 김형아, 박정일 (1986). 흡자흡광기를 이용한 한국인 혈중 카드뮴 농도, 한국산업의학, 25(4), 103-107.
3. 이영환, 정문호 (1993). 금속과 사람, 신광출판사, 서울.
4. 정종학, 김창윤, 사공준, 이중정, 전만중, 이성국, 광정식, 박성화 (1998). 부검체에서 머리카락과 각 장기들의 연, 카드뮴, 수은 농도, 대한산업의학회지, 10(4), 571-586.
5. 조수현, 김현, 김선민 (1991). 아연 용융 도금작업 근로자의 카드뮴 폭로가능성에 관한 조사연구, 대한산업의학회지, 3(3), 153-164.
6. Foo, S. C., Khoo, N. Y., Heng, A., Chua, L. H., Chia, C. N., Ong, C. N., Nigm, C. H. and Jeyarantnam. K. (1993). Metals in hair as biological indices for exposure, *Int Arch Occup Environ Health*, 65, 83-86.

7. Gronka, P. A. (1970). Mercury vapor exposure in dental office, *JADA*, 81, 923-925.
8. Joseph, F. H., Anderson, R. E., Ronald, L. T. and William, C. B. (1995). *Multivariate data analysis*, Prentice Hall: New Jersey.
9. Nokawa, K. (1987). *Itai-Itai disease and follow-up studies*, in: Nriagu, J. O. (eds.), Cadmium in environment.
10. Piscator, M. (1972). Cadmium, zinc, copper and lead in human renal cortex, *Arch Environ Health*, 24, 426-431.
11. Suzuki, T. and Yamamoto, R. (1982). Organic mercury levels in human hair with and without storage for eleven years, *Bull Environ Contam Toxicol*, 28, 186-188.

## A Note on Relationship between Strengths of Heavy Metals Contamination in Scalp Hair and Organs from Autopsy Subjects

Won Kee Lee <sup>6</sup> · Myung Unn Song <sup>7</sup> · Jae-Kee Song <sup>8</sup> · Sung Kook Lee <sup>9</sup> · Sung Hwa Park <sup>10</sup>

### Abstract

It is well known to use scalp hair as a signal of strengths of heavy metals contamination. In this paper, using the multivariate methods we examine the relationship between strengths of cadmium and mercury in scalp hair and cerebellum, cerebrum, heart, kidney, liver, lung and spleen from 61 korean autopsy subjects. As a result, there is statistically significant relationship between strengths of mercury contamination in scalp hair and secondary contaminated organs.

*Key Words and Phrases:* missing value, factor loading, correlation analysis.

---

<sup>6</sup>Department of Statistics, Kyungpook National University, Taegu, 701-702, Korea

<sup>7</sup>Lecturer, Department of Statistics, Kyungpook National University, Taegu, 701-702, Korea

<sup>8</sup>Professor, Department of Statistics, Kyungpook National University, Taegu, 701-702, Korea

<sup>9</sup>Professor, Department of Preventive Medicine and Public Health, Kyungpook National University, Taegu, 700-422, Korea

<sup>10</sup>Department of Clinical Pathology, Kyungpook National University Hospital, Taegu, 700-412, Korea