

해부실습과정에서 노출된 포름알데히드의 건강영향

영남대학교 부속병원 산업의학과¹⁾, 영남대학교 의과대학 예방의학교실²⁾, 영남대학교 의과대학 해부학교실³⁾

박시영¹⁾ · 김창윤¹⁾²⁾ · 김주영³⁾ · 사공준¹⁾²⁾

— Abstract —

The Health Effects of Formaldehyde during an Anatomy Dissection Course

Si-Young Park¹⁾, Chang-Yoon Kim¹⁾²⁾, Joo-Young Kim³⁾, Joon Sakong¹⁾²⁾

*Department of Occupational and Environmental Medicine, Yeungnam University Hospital¹⁾
Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yeungnam University²⁾
Department of Anatomy, College of Medicine, Yeungnam University³⁾*

Objectives: This study evaluated the acute health effect of formaldehyde during an anatomy dissection course.

Methods: The formaldehyde concentrations in a gross anatomy laboratory were measured and analyzed during an anatomy dissection course attended by eighty medical students. The Pulmonary Function Test and three tests of the Korean Computerized Neurobehavioral Test (digit classification, digit addition and symbol digit) were given to thirty of the eighty medical students at the pre- and post-exposure. A questionnaire survey was administered to the eighty medical students at the pre- and post-exposure.

Results: The differences in the mean FVC and FEV₁ were statistically significant ($p < 0.01$) at the pre- and post-exposure. In the low exposed group (< 2 ppm), only the decreases in FEV₁ on post-exposure were statistically significant ($p < 0.05$) compared with FEV₁ on pre-exposure. In the high exposed group (≥ 2 ppm), decreases in both FVC and FEV₁ on post-exposure were statistically significant ($p < 0.05$).

The overall performance on the digit classification, digit addition and symbol digit of the Korean Computerized Neurobehavioral Test on post-exposure was lower than that on pre-exposure. In the low exposed group, the performances on the digit classification and symbol digit were lower than those on pre-exposure. In the high exposed group, the performances on digit classification, digit addition and symbol digit were lower than those on pre-exposure.

Complaints involving the eyes, nose and throat increased substantially on post-practice compared with pre-practice in both groups. There were statistically significant differences in the complaints involving the eyes, nose and throat between the pre-practice and post-practice in both groups ($p < 0.05$). There were more complaints in the high exposed group than in the low exposed group.

Conclusions: Formaldehyde exposure during a dissection can decrease the pulmonary function and neurobehavioral performance, and can increase the complaints involving the eyes, nose and throat. The effect on the symptoms, pulmonary function and neurobehavioral performance is positively correlated with the formaldehyde level.

Key Words: Formaldehyde, Anatomy Laboratory, Cognition

〈접수일: 2006년 6월 23일, 채택일: 2006년 7월 20일〉

교신저자: 사 공 준 (Tel: 053-620-4614) E-mail: jsakong@med.yu.ac.kr

* 이 연구는 한국과학재단 특정기초연구 R01-2005-000-11081-0 지원으로 수행되었음.

서 론

포름알데히드(HCHO)는 심한 자극성 냄새가 나는 무색의 기체이며, 물, 에테르, 알콜에 잘 녹고, 강한 산화제로서 여러 가지 화학물질과 쉽게 반응하며, 합성수지, 플라스틱, 염료, 고무, 접착제, 목제품, 비료, 농약, 수용성 페인트, 방직업 등 매우 다양한 분야에 사용된다. 특히 의료기관과 의과대학에서는 소독제, 살균제, 조직의 고정액으로 이용되므로, 조직검사실, 해부실습실, 실험실 등의 종사자들이 포름알데히드에 노출되고 있다.

포름알데히드의 노출 기준으로 American Conference of Governmental Industrial Hygienists는 천정치(Ceiling)를 0.3 ppm (ACGIH, 1996)으로 제시하고, National Institute for Occupational Safety and Health는 시간가중평균치 0.016 ppm, 천정치 0.1 ppm으로 더 낮게 제안하고 있다(NIOSH, 1994). 1992년 Occupational Safety and Health Administration (OSHA)는 허용기준을 시간가중평균치 0.75 ppm, 단시간 노출 허용농도 2 ppm으로 낮추었으며, 우리나라에서는 시간가중평균치 1 ppm, 단시간 노출 허용농도 2 ppm, 천정치 2 ppm으로 규제하고 있다.

포름알데히드는 눈, 코, 기관지 등에 염증을 일으키고 (Bender 등, 1983; Kulle 등, 1987), 호흡이 곤란해지고 심하게 눈물이 나며 코와 목에 타는 듯한 자극이 오고 기침을 일으키고(Akbar-Khanzadeh 등, 1994), 또한 직업성 피부질환의 가장 흔한 원인으로서 자극성 접촉성 피부염 및 알러지성 접촉성 피부염을 유발하고, 급성 노출 시에는 얼굴을 직접 자극하여 눈 주변의 부종을 일으킨다(Black, 1971; Rycroft, 1992).

포름알데히드의 급성 영향에 관한 외국의 연구는 해부학 실습 시 포름알데히드의 급성 노출로 인한 폐기능의 감소(Kriebel 등, 1993; Akbar-Khanzadeh 등, 1994), 병리기사들에서 포름알데히드에 의한 중추신경기능의 감소(Kilburn 등, 1987), 또한 포름알데히드의 자각 증상에 관한 것(Andersen과 Molhave, 1983; Bender 등, 1983; Day 등, 1984; Gorski 등, 1992; Krakowiak 등, 1998)이 있었으나, 국내에서는 해부학 실습 학생들을 대상으로 포름알데히드에 의한 임파구 자매염색분체교환에 관한 연구(Lee 등, 1998), 조직검사실에서 포름알데히드 노출에 관한 연구(Park과 Zong, 1998), 포름알데히드에 노출된 근로자의 자각증상에 관한 연구 등(Lee, 1993)만이 보고되었을 뿐, 포름알데히드에 급성 노출로 인한 폐기능 변화와 신경행동기능의 변화에 대한 연구는 아직 국내에서 보고된 바가 없다.

이 연구는 일개 의과대학의 해부학 실습실에서 사용되는 포름알데히드의 기중 농도를 측정하여 노출 실태를 파

악하고, 자각증상의 변화, 폐기능의 변화와 신경행동기능의 변화를 통해서 포름알데히드의 급성건강영향을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

일개 의과대학의 해부학 실습생 80명을 대상으로, 2006년 3월에서 5월까지 연구를 수행하였다. 대상자는 20~24세가 72명(91.9%), 25~31세가 8명(8.1%)이었으며, 9명(11.3%)이 알레르기성 비염을 앓고 있었고, 알레르기 천식 환자는 없었다. 흡연자가 9명이고, 이들의 흡연 경력은 평균 2.6 pack-year였다. OSHA의 포름알데히드 단시간 허용농도(short-term exposure limit)인 2 ppm을 기준으로 지역시료채취 결과에 따라 2 ppm 미만을 저노출군으로, 2 ppm이상을 고노출군으로 분류하였다. 해부학 실습생 80명을 대상으로 검사전에 연구 내용을 충분히 설명하고 연구 참여 동의서를 작성한 후 검사를 수행하였다.

지역시료를 측정할 날짜에 해부학 실습생 80명을 대상으로 실습 시작 전, 실습이 끝난 직후 설문지를 이용하여 자각증상을 조사하였다. 자각증상은 Takigawa 등(2005)의 연구에서 이용된 검사항목을 참조하여, 피부증상(습진, 가려움, 피부홍조, 부종, 피부건조, 따가움), 눈 증상(가려움, 따가움, 안구 건조, 빛에 눈부심, 안구 피로, 안구 충혈, 눈물 남, 일시적 시력저하), 코 증상(콧물-코막힘, 재치기, 가려움, 후각 저하), 인후 증상(목 따가움, 가려움, 건조함, 침-음식 삼킬때 불편함, 목이 쉼, 숨쉴때 쉼소리, 감기 걸린 느낌, 잦은 기침)등으로 구분하였으며, 증상 정도는 '없다', '가끔 그렇다', '자주 그렇다', '항상 그렇다'에 1점부터 4 점까지 부여하여, 점수화하였다.

구역에 따른 영향을 보기 위해서 실습 테이블 위치별 조를 정하였다. 이에 해당되는 10개의 실습조에서 각각 3명씩 지원자를 선발하여 실습이 시작되기 전인 3월에 30명 전원에 대해 폐기능 검사와 신경행동검사를 실시하고, 실습 기간인 4월 10일, 5월 3일, 5월 25일에 각각 10명씩(고노출군 5명, 저노출군 5명)을 실습이 끝난 후 폐기능 검사와 컴퓨터 신경행동검사를 수행하였다. 저노출군(15명)은 평균 나이는 22.2세였으며, 여자 4명, 남자 11명, 흡연자 3명, 2명이 알레르기 비염을 가지고 있었고, 천식 환자는 없었다. 고노출군(15명)은 평균 나이가 21.7세였으며, 여자 3명, 남자 12명, 흡연자 3명, 2명이 알레르기 비염을 가지고 있었고, 천식환자는 없었다(Table 1).

기중 포름알데히드의 측정은 실습 시에 4개 지역(A, B, C, D)으로 나누어서 지역시료를 채취를 하였다(Fig.

1). 지역시료포집은 실험대(70~80 cm)에 고정하여 시료를 채취하였으며, 미국 3M사 확산 모니터를 시료채취용 펌프에 부착하여 180~200분 동안 채취하였다. 분석은 3 ml의 증류수를 이용하여 30분 동안 탈착시킨 후 5 ml의 황산과 혼합한 후, UV spectrophotometer (DU650®, BECKMAN, USA)으로 이용하여 580 nm에서 흡광을 측정하였다.

폐기능 검사(Pneumotrac®, Vitalograph, UK)는 노력성 폐활량(Forced Vital Capacity, FVC), 1초량(Forced Expiratory Volume in 1 second, FEV1)과 FEV1/FVC의 비를 측정하였다. 검사하는 시점마다 보정을 시행하였으며, 한명의 간호사가 검사를 수행하였다. 폐기능 검사의 결과는 자체 프로그램에서 인종, 성별, 나

이, 키와 몸무게를 보정되어 나온 값으로, 이를 분석에 이용하였다.

신경행동검사는 한국형 컴퓨터 신경행동검사(Korean Computerized Neurobehavioral Test®, ZNC soft, Korea) 중 숫자구분(Digit Classification), 숫자더하기(Digit Addition)와 부호숫자 짝짓기(Symbol Digit)를 실시하였다. 숫자구분은 아라비아 숫자가 하나씩 불규칙하게 화면에 나타나며 피검자는 나타난 숫자가 홀수 혹은 짝수인지를 구분하여 홀수이면 좌측 화살표 키를, 짝수이면 우측 화살표 키를 최대한 빨리 누른다. 연습수행을 거친 후 60개의 숫자를 구분하게 된다. 컴퓨터는 맞게 구분한 경우와 잘못 구분한 경우에서 각각의 평균 반응시간과 잘못 구분한 횟수를 측정한다. 숫자더하기는 세 개의 일련의 숫자가 수평적 더하기 형태로(예: 7+4+5) 화면에 1초 동안 나타난다. 피검자는 최대한 빨리 계산을 하여 정답을 숫자 키를 통하여 입력한다. 8회의 연습수행 후 16회의 본 검사를 수행하게 된다. 컴퓨터는 정답의 개수와 오답의 개수를 기록하고 각각의 반응에 대한 반응시간을 측정한다. 부호숫자 짝짓기는 화면의 상단에 임의로 짝지어진 부호와 1에서 9까지의 숫자가 나타나며 하단에는 상단과 다른 순서로 배열된 부호와 9개의 빈 칸이 나타난다. 피검자는 상단에 예시된 부호와 숫자의 짝과 일치되게 숫자 키를 이용하여 하단의 빈칸에 숫자를 입력한다. 처음 9회의 연습수행 후 63회의 본 검사를 수행하였다. 대상자들에게 연구목적을 충분히 설명한 후 검사 전날 정상시와 같은 수면을 취하도록 하고 약물복용 및 음주를 하지 않도록 하였다. 컴퓨터 신경행동검사는 경험이 많은 한 명의 의사에 의해서 동일한 장소에서 실시되었고, 모든 대상자들에게 동일한 내용과 강도로 사전교육을 실시하였다. 검사는 격리된 조용한 공간에서 개인용 컴퓨터(17인치 일반모니터, 데스크탑)를

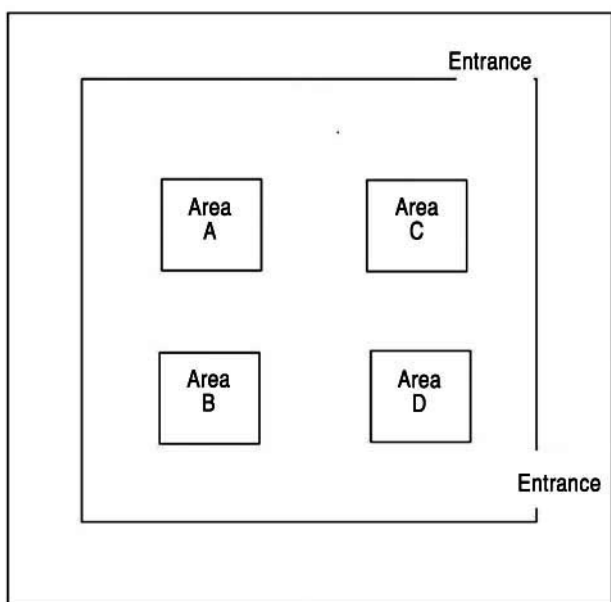


Fig. 1. The layout of the gross anatomy laboratory.

Table 1. General characteristics of study subjects

Characteristics		HCHO (< 2 ppm) (n=40)	HCHO (≥ 2 ppm) (n=40)
Age (years)	20~24	35 (87.5)	37 (92.5)
	25~31	5 (12.5)	3 (7.5)
Sex	Male	25 (62.5)	26 (65)
	Female	15 (37.5)	14 (35)
Smoking	Yes	5 (12.5)	4 (10)
	No	35 (87.5)	36 (90)
Asthma history	Yes	0 (0.0)	0 (0.0)
	No	40 (100.0)	40 (100.0)
Allergic rhinitis	Yes	5 (12.5)	4 (10.0)
	No	35 (87.5)	36 (90.0)
Total		40 (100.0)	40 (100.0)

HCHO: formaldehyde.

이용하여 이루어 졌으며, 검사자는 미리 준비된 설명서를 통하여 모든 대상자에게 동일한 방법으로 각 검사항목에 대한 검사과정과 자극의 형태 및 키보드의 이용방법을 교

육하고 검사방법을 대상자 혼자서 충분히 이해하지 못하는 경우에 한하여 검사자가 추가적인 설명을 하도록 함으로써 검사자와 대상자 사이의 대화를 규격화, 최소화하였다.

Table 2. Formaldehyde concentration of gross anatomy laboratory by area sampling site

Unit: ppm

Date	Area				Mean
	A	B	C	D	
Apr. 3, 2006	0.26	0.84	0.98	1.09	0.79
Apr. 10, 2006	0.65	0.51	2.20	2.14	1.38
Apr. 21, 2006	0.54	0.26	1.87	1.48	1.04
May. 3, 2006	1.74	1.57	1.37	2.48	1.79
May. 25, 2006	1.19	1.26	3.91	3.79	2.54
Mean	0.87	0.89	2.07	2.20	1.51

Unit: ppm

Table 3. Symptom score (mean±SD) and change between pre- and post-exposure by formaldehyde concentration level of gross anatomy laboratory

Symptoms	HCHO (< 2 ppm) Symptom score (n=40)				HCHO (≥ 2 ppm) Symptom score (n=40)				
	Pre-exposure	Post-exposure	Symptom change	p-value	Pre-exposure	Post-exposure	Symptom change	p-value	
	Eye	Itchy eye	1.15±0.25	1.47±0.53	0.33±0.37	<0.01	1.14±0.26	1.89±0.95	0.75±0.88
	Irritated eye	1.26±0.47	2.17±0.72	0.91±0.67	<0.01	1.21±0.36	2.74±0.92	1.54±0.99	<0.01
	Dry eye	1.40±0.53	1.94±0.79	0.54±0.55	<0.01	1.33±0.50	2.44±0.96	1.12±0.86	<0.01
	Abnormal visual sensitivity to light	1.04±0.10	1.14±0.30	0.11±0.24	0.01	1.06±0.13	1.46±0.66	0.40±0.62	<0.01
	Eye fatigue	1.46±0.46	2.28±0.65	0.93±0.86	<0.01	1.32±0.42	2.77±0.85	1.53±1.09	<0.01
	Eye congestion	1.24±0.46	1.59±0.66	0.35±0.41	<0.01	1.21±0.37	2.27±0.93	1.07±0.91	<0.01
	Watery eyes	1.21±0.41	2.16±0.79	0.95±0.75	<0.01	1.11±0.24	2.51±0.90	1.40±0.95	<0.01
	Poor vision	1.16±0.32	1.26±0.42	0.11±0.26	0.02	1.08±0.20	1.76±0.88	0.68±0.85	<0.01
Nose	Runny or stuffy nose	1.23±0.32	1.76±0.64	0.53±0.58	<0.01	1.19±0.28	2.01±0.83	0.82±0.78	<0.01
	Sneeze	1.22±0.31	1.45±0.48	0.24±0.26	<0.01	1.14±0.27	1.68±0.73	0.55±0.64	<0.01
	Itchy nose	1.10±0.23	1.41±0.47	0.31±0.45	<0.01	1.15±0.25	1.80±0.76	0.65±0.64	<0.01
	Changed sense of smell	1.12±0.26	1.46±0.57	0.35±0.46	<0.01	1.17±0.39	1.86±0.85	0.68±0.72	<0.01
Throat	Sore throat	1.15±0.23	1.63±0.72	0.49±0.59	<0.01	1.14±0.21	2.13±1.03	0.99±0.96	<0.01
	Itchy throat	1.09±0.18	1.29±0.37	0.21±0.30	<0.01	1.11±0.23	1.68±0.89	0.58±0.82	<0.01
	Dry throat	1.20±0.29	1.75±0.69	0.55±0.59	<0.01	1.28±0.41	2.26±0.90	0.98±0.81	<0.01
	Difficulty swallowing	1.06±0.14	1.32±0.43	0.27±0.39	<0.01	1.12±0.25	1.63±0.78	0.51±0.71	<0.01
	Hoarseness	1.06±0.14	1.23±0.42	0.17±0.35	<0.01	1.04±0.11	1.38±0.68	0.34±0.63	<0.01
	Whistling throat	1.02±0.08	1.06±0.11	0.04±0.09	<0.01	1.03±0.11	1.26±0.55	0.23±0.49	<0.01
	Having a cold frequently	1.20±0.31	1.41±0.52	0.22±0.34	0.02	1.22±0.41	1.66±0.77	0.44±0.59	0.01
	Frequent cough	1.15±0.27	1.39±0.58	0.24±0.39	<0.01	1.11±0.21	1.54±0.69	0.43±0.60	<0.01
Skin	Eczema	1.03±0.13	1.09±0.22	0.06±0.15	0.02	1.03±0.10	1.20±0.52	0.17±0.48	0.30
	Itchy skin	1.11±0.24	1.49±0.48	0.38±0.41	<0.01	1.11±0.21	1.80±0.86	0.69±0.80	<0.01
	Flushed skin	1.07±0.35	1.15±0.26	0.08±0.39	0.23	1.05±0.11	1.54±0.79	0.50±0.75	<0.01
	Swollen skin	1.00±0.00	1.04±0.14	0.04±0.14	0.07	1.04±0.10	1.21±0.53	0.17±0.47	0.03
	Dry skin	1.39±0.55	2.03±0.87	0.64±0.73	<0.01	1.27±0.39	2.18±0.98	0.91±0.83	<0.01
	Irritated skin	1.08±0.21	1.33±0.44	0.25±0.37	<0.01	1.08±0.16	1.84±0.86	0.76±0.84	<0.01

HCHO: formaldehyde.

포름알데히드 노출수준을 이용하여 A, B를 저 노출지역으로, C, D를 고 노출지역으로 분류하였고 증상 점수, 폐기능, 컴퓨터 신경행동검사의 노출 전, 후의 차이는 paired t-test로 검정하였다.

결 과

해부학 실습실의 지역 농도 측정 결과 지역 C, D가 지역 A, B보다 높았는데 측정시간(평균 180~200분)을 기준으로 환산한 평균측정농도는 지역 A가 0.87 ppm, 지역 B는 0.89 ppm, 지역 C는 2.07 ppm, 지역 D는 2.20 ppm이었다(Table 2). 기류는 4월 21일에 0.13~0.2 m/s(A), 0.3~1.0 m/s(B), 0.25~0.5 m/s(C), 0.12~0.3 m/s(D)이 있고, 그 밖의 측정시점에서는 기류는 감지수준(detection level)이하였다.

피부증상을 제외한, 눈, 코, 목의 자각 증상은 실습 전과 후에 유의한 차이가 있었고, ($p < 0.05$), 고노출군에서 대부분의 증상이 전반적으로 크게 증가하였다(Table 3).

실습 전과 비교 시 전체 대상자의 FVC와 FEV₁는 실습 후에 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 저노출군은 FEV₁감소량 만이 유의한($p < 0.05$) 반면, 고노출군의 FVC와 FEV₁ 감소량이 모두 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$)(Table 4).

실습 전, 후에 30명을 대상으로 시행한 컴퓨터 신경행동검사의 숫자구분, 부호숫자 짝짓기의 반응시간이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 숫자더하기의 반응시간은 증가하였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다. 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기의 오답수도 증가하였지만

그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 4). 대상자를 노출수준에 따라 구분했을 때 저노출군은 숫자구분, 부호숫자 짝짓기에서 반응시간이 유의하게 증가한 반면($p < 0.05$), 숫자더하기의 반응 시간은 실습 후 다소 감소하였다. 고노출군은 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기 모두에서 반응시간이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$)(Table 4).

고 찰

포름알데히드는 비료, 합판, 단열제 생산 공정과 가구 제조, 필름, 가죽, 염료, 화장품, 폭약, 농약, 방부제 등의 제조 시에 직업적, 만성적으로 노출되며, 철 주물공정, 플라스틱 몰딩 과정의 산업장 외에도, 병원, 실험실, 해부학 실습 등에서도 사용되므로 병원종사자, 학생, 교수 등이 노출되고 있다. 포름알데히드는 흡입, 피부 접촉을 통하여 체내에 들어와 formaldehyde dehydrogenase에 의해 포름산(formate)로 신속히 분해되며 포름산은 two-step, tetrahydrofolate-dependent pathway를 거쳐서 CO₂로 전환된다.

Lee 등(1998)은 해부학 실습 학생들을 대상으로 실습 전과 실습이 끝날 무렵에 임파구 자매염색분체교환의 발현 정도를 검사한 결과, 전체 15명 중 11명이 실습전 보다 자매염색분체교환이 증가한 것으로 나타났고, 3명은 처음보다 20%이상의 증가를 보였고, 10% 이상의 증가를 보인 경우도 5명이었고, 노출 전과 노출 후 사이의 발현빈도의 차이를 유의성 검정을 한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). Park과 Zong(1998)은 종합

Table 4. Pulmonary function (mean±SD) and neurobehavioral performance (mean±SD) between pre- and post-exposure by formaldehyde concentration level of gross anatomy laboratory

Tests	HCHO (< 2ppm) (n=15)			HCHO (≥ 2 ppm) (n=15)			Total (n=30)		
	Pre-exposure	Post-exposure	p-value	Pre-exposure	Post-exposure	p-value	Pre-exposure	Post-exposure	p-value
Pulmonary function test									
FVC	86.8±7.18	84.6±6.22	0.09	90.7±8.66	87.7±7.57	<0.01	88.8±8.06	86.1±7.00	<0.01
FEV ₁	96.3±9.69	93.2±8.91	0.01	98.6±8.78	95.0±8.31	0.02	97.4±9.16	94.1±8.52	<0.01
Neurobehavioral tests									
Digit classification (ms)	465±67	494±74	0.02	461±47	497±54	0.03	463±57	495±64	<0.01
No. of Error	3.7±2.3	6.1±8.4	0.21	2.8±2.1	3.3±1.7	0.44	3.3±2.2	4.7±6.1	0.14
Digit addition (ms)	1,796±303	1,780±251	0.71	1,715±287	1,909±277	0.049	1,756±293	1,844±268	0.10
No. of Error	0.8±1.0	0.5±0.6	0.17	0.8±0.68	1.5±1.6	0.14	0.8±0.8	1.0±1.3	0.52
Symbol digit (ms)	1,529±199	1,668±253	<0.01	1,470±149	1,584±177	0.03	1,500±175	1,626±268	<0.01
No. of Error	1.4±1.3	1.7±2.4	0.66	0.9±1.7	1.8±2.2	0.23	1.2±1.5	1.7±2.3	0.22

HCHO: formaldehyde.

병원 9개소의 조직검사실에서 공기 중 포름알데히드의 노출을 조사한 결과 한 곳의 개인시료, 세 곳의 지역 시료가 OSHA기준을 초과하였고, 조직검사실에서의 주요 노출 장소는 작업대, 포르말린 용기 주변, 고정액용기 주변이었으며, 고정액과 포르말린 용기의 개폐여부와 위생상태, 검사실의 체적이 작업시간 동안 기중 포름알데히드 농도에 영향을 미치는 요인이라고 하였다. 그러나, 포름알데히드의 급성 노출로 인한 건강영향 즉 폐기능 변화와 신경행동기능의 변화에 대한 연구는 아직 국내에 없었다.

Kriebel 등(1993)은 해부실습 10주 동안 최대호기속도(Peak Expiratory Flow Rate, PEFR)가 유의하게 감소하였지만, 실습 후에 폐기능이 정상 상태로 되돌아왔다고 보고하였다. Akbar-Khanzadeh 등(1994)은 해부실습 시 노출과 관련해서 FVC와 FEV₃가 감소하고, FEV₁/FVC는 증가하는 것으로 보고하였다. 이 연구에서도 실습 전과 비교 시 실습후의 FVC와 FEV₁이 유의하게 감소하였고(p<0.01), 해부실습시 포름알데히드의 노출로 인한 폐기능 변화량은 실습전의 폐기능 지수를 100%로 했을때 실습 후에 FVC분율 4.2%, FEV₁분율 4.7% 감소하였다. 이 연구에서 폐기능의 피로효과 개입 유무를 평가하기 위해 포름알데히드에 노출되지 않는 날에 폐기능 검사를 반복 측정한 결과 차이가 없어 피로효과는 개입되지 않은 것으로 나타났다.

포름알데히드의 급성 호흡기 영향은 3 ppm미만 농도에 노출 시는 기관지 수축 혹은 기도 과민성을 거의 일으키지 않고 5 ppm초과 농도에 노출 시는 가역성 기관지 수축을 유발하고, 기관지 천식을 유발한다는 보고도 있고(Hendrick과 Lane, 1977; Hendrick 등 1982), 3시간 동안 2 ppm농도에 노출된 10명의 건강인에서 폐기능 검사상에 통계적으로 유의한 차이가 없었다는 보고도 있다(Kulle 등, 1987; Kulle 1993). Nordman 등(1985)도 1~2 ppm의 농도에서 포름알데히드에 의한 폐기능 저하는 거의 없다고 하였다. Gorski 등(1992)은 5명의 건강인과 13명의 포름알데히드에 알레르기성 피부 반응이 있는 자를 2시간 동안 0.4 ppm에 노출시켰을 때 폐기능 검사상에 통계적으로 유의한 차이가 없었다고 보고하였고, 기관지 천식을 가진 신발제조공장 근로자와 섬유공장 근로자 총 10명과 대조군 10명을 2시간 동안 0.4 ppm에 노출시켰을때 폐기능 검사상에 통계적으로 유의한 차이는 없었다는 보고도 있다(Krakowiak 등, 1998). 이 연구들의 결과들은, 저농도의 포름알데히드 노출은 폐기능을 감소시키지 않는 것으로 요약된다. 이 연구에서도 2 ppm미만의 저노출군에서는 FVC와 FEV₁가 감소하였지만, FEV₁만 통계적으로 유의한 반면 고노출군에서는 FVC와 FEV₁ 모두 통계적으로 유의하게 감소하였으며(p<0.05). 고농도의 포름알데히드 노출이 폐

기능을 감소시킨다는 보고들과 일치된 소견을 보였다. 이는 포름알데히드가 강한 친수성과 반응성의 가스로 상기에 영항이 미치는데(Karl과 Curtis, 2001), 고농도의 노출이 이루어질 경우 폐에 미치는 영항이 증가할 것으로 생각된다. 그리고, 실습 후 두 군에서 FEV₁이 20%이상 감소한 자는 없었다.

Kilburn(2001)은 뇌기능에 이상을 초래하여 중추신경계 장애를 유발하는 화학물질 중 하나인 포름알데히드에 관한 여러 연구들을 수행하였다. Kilburn 등(1985)은 76명의 여자 병리사들이 집중력 저하, 기억력 장애, 수면 장애, 침착성 저하, 기분 변화, 흥분 등의 증상이 대조군에 비해 통계학적으로 유의하게 많았다고 보고하였다. Kilburn 등(1987)의 또 다른 연구는 305명의 여자 병리사들을 대상으로 기억력, 침착성, 조정 능력, 기민성, 운동 속도, 인지 능력 등이 노출 시간이 증가함에 따라 의미있게 감소하였으나, 4년간의 추적검사에서 누적 효과는 없었다고 보고하였다(Kilburn과 Warshaw, 1992). 이 연구에서도 포름알데히드 노출 후 컴퓨터 신경행동검사의 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기의 반응시간이 증가하여 집중력, 계산능력과 시각적 탐색능력 등의 인지 기능이 유의하게 감소한 것으로 나타나 Kilburn 등의 연구(1985, 1992, 2001)와 일치하는 소견을 보였다. 특히 고농도의 포름알데히드에 노출된 대상자의 신경행동기능 감소폭이 저농도 노출군에 비해 더 크게 나타나, 노출수준과 신경행동기능 간에 일부 용량-반응관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 노출전의 반응시간을 100%로 했을때 저노출군에서 반응시간의 변화량이 숫자구분에서 6.4%, 숫자 더하기에서 -1.8%인 반면 고노출군에서는 숫자구분에서 7.4%, 숫자 더하기에서 13.4% 증가하였다. 동일한 대상자들을 반복 측정하는 경우 검사에 대한 피로효과와 반복효과가 나타날 수 있다. 컴퓨터 신경행동검사의 학습효과 크기를 측정하기 위해 포름알데히드에 노출되지 않은 상황에서 대상자들을 반복 측정한 결과 학습효과가 일부 나타났다. 따라서 저노출군의 숫자더하기의 반응 시간이 노출 후에 오히려 감소한 것은 반복측정으로 인한 학습효과가 개입되었기 때문으로 생각되며 포름알데히드가 신경행동기능에 미치는 영항은 이 연구에서 측정된 것보다 더 클 가능성이 있다.

Leonardos 등(1969)은 포름알데히드 0.4~3.0 ppm의 단기 흡입 노출이 눈, 코, 목에 자각 증상을 유발하고, 냄새 역치를 1 ppm으로 보고하였다. 급성 자각에 관한 실험연구들(Gorski 등, 1992; Krakowiak 등, 1998)은 0.4 ppm 정도의 낮은 수준에서도 눈, 코, 목의 자각 증상을 유발한다고 보고하였으며, 계속 노출될 경우 자각의 정도가 감소한다는 보고들도 있다(Weber-Tschopp 등, 1977; Bender 등, 1983; Day 등, 1984;

Green 등 1987), Bender 등(1983)은 자각증상과 포름알데히드의 용량-반응관계에 관한 연구에서 건강인의 경우 1 ppm에서 자각증상이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 이 연구에서는 노출수준과 대상자의 분포를 고려하여 실습용 책상주변의 기중 포름알데히드 농도 2 ppm을 기준으로 저노출군과 고노출군을 나누어 비교하였을 때 노출수준에 관계없이 피부자각증상 외 자각증상은 모두 증가하였다. 이는 저노출군과 고노출군의 분류기준인 2 ppm이 자각증상을 구분하는 농도로서 너무 높을 수 있음을 의미한다.

많은 연구에서는 0.4~3.0 ppm 범위 농도의 포름알데히드에 급성 노출은 피부 자각증상을 증가시키지 않는다고 보고하였다(Weber-Tschopp 등, 1977; Gorski 등, 1992; Pazdrak 등, 1993; Krakowiak 등, 1998). 이 연구에서도 대상자 대부분에서 피부증상이 증가하였지만, 대부분 통계적으로 유의하지 않아 이들의 결과와 일치하였다. 실습시간에 학생들이 착용하는 수술용 마스크, 장갑과 가운의 역할도 어느 정도의 피부 자각증상을 줄인 것으로 생각된다.

해부학 실습 내용과 기중 포름알데히드의 변화를 관찰하였을 때, 폐 분리, 종격, 복막 등의 부위를 해부한 4월 10일 이후로 기중 포름알데히드 농도가 증가하였다. 즉 심장, 복부장기 등 해부하기 시작한 5월 3일과, 계속해서 복부장기, 후종격을 해부한 5월 25일은 기중 포름알데히드 농도는 실습을 준비한 4월 3일보다 전반적으로 높았다. 이는 복강과 흉곽을 절개하면서 많은 양의 포름알데히드가 기중으로 배출되었기 때문으로 생각된다. 또한 상대적 기류량이 많았던 4월 21일의 포름알데히드 기중농도가 다른 날에 비해 낮아 알려진 바와 같이 유해물질의 기중농도는 기류의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

대상 실습실의 기중 평균 농도를 8시간으로 환산하면, OSHA 기준인 0.75 ppm 의 시간가중평균치보다 낮았으나 OSHA 기준인 2 ppm 의 단시간 허용농도를 초과하는 곳이 있었다. 이 실습실에서 사용되는 고정액의 성분은 포름알데히드(19%), 글리세린(10%), 페놀(10%), 95%의 에틸알코올(30%), 물(30%)으로 구성되어 있는데, 실습실의 기중 포름알데히드 농도가 일부 지역에서 허용농도를 초과한 것은 고정액 중 포름알데히드가 차지하는 비율이 다소 높고, 환기시설 부족의 결과로 생각된다.

이 연구 결과, 해부학 실습 시 의과대학생들에서의 포름알데히드 급성 노출은 눈, 코, 목의 자각증상 유발 외에도 폐기능과 신경행동기능을 감소시키는 것으로 나타났고 용량-반응관계가 일부 검사에서 나타났다. 이 결과는 일개 의과대학에서 이루어졌으므로 전국의 의과대학 실습실의 상황을 반영할 수는 없으나 향후 의과대학 해부학 실습실의 포름알데히드 급성 노출을 줄이기 위한 조치,

즉 배기장치설치, 포름알데히드를 다른 물질로 교체, 포르말린에서 포름알데히드 농도를 줄이는 방법을 강구하는데 도움이 될 것이며, 보다 타당성이 높은 결과를 도출하기 위해서는 기중 농도가 아닌 개인 노출량의 측정과 동시에 생체모니터링을 통한 노출 수준과 건강영향에 대한 연구가 필요할 것이다.

요 약

목적: 일개 의과대학의 해부학 실습실에서 사용되는 포름알데히드의 기중 농도를 측정하여 노출 실태를 파악하고, 자각증상의 변화, 폐기능의 변화와 신경행동기능의 변화를 통해서 포름알데히드의 건강영향을 평가하고자 하였다.

방법: 일개 의과대학에서 해부실습에 참여하고 있는 80명을 대상으로 하였다. 해부학실습실에서 지역시료 포집을 해서 포름알데히드의 기중 농도를 측정하였다. 포름알데히드의 급성 영향은 실습 전, 후 자각 증상 조사, 폐기능 검사, 컴퓨터 신경행동검사 등을 평가하였다.

결과: 피부증상을 제외한, 눈, 코, 목의 자각 증상은 실습 전과 후에 유의한 차이가 있었고, ($p < 0.05$), 고노출군에서 대부분의 증상이 전반적으로 크게 증가하였다. 실습 전과 비교시 전체 대상자의 FVC와 FEV₁는 실습 후에 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 저노출군은 FEV₁감소량만이 유의한($p < 0.05$) 반면, 고노출군의 FVC와 FEV₁ 감소량이 모두 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$). 실습 전, 후에 30명을 대상으로 시행한 컴퓨터 신경행동검사의 숫자구분, 부호숫자 짝짓기의 반응시간이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 숫자더하기의 반응시간은 증가하였으나, 통계적으로는 유의하지는 않았다. 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기의 오답수도 증가하였지만 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 대상자를 노출수준에 따라 구분했을때 저노출군은 숫자구분, 부호숫자 짝짓기에서 반응시간이 유의하게 증가한 반면($p < 0.05$), 숫자더하기의 반응 시간은 실습 후 다소 감소하였다. 고노출군은 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기 모두에서 반응시간이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

결론: 해부학실습 시 의과대학생들에서의 포름알데히드 급성 노출은 자각증상 유발 외에도 폐기능과 신경행동기능을 감소시키는 것으로 나타났고 용량-반응관계가 일부 검사에서 나타났다. 이 결과는 일개 의과대학에서 이루어졌으므로 전국의 의과대학 실습실의 상황을 반영할 수는 없으나 향후 의과대학 해부학 실습실의 포름알데히드 급성 노출을 줄이기 위한 조치, 즉 배기장치설치, 포름알데히드를 다른 물질로 교체, 포르말린에서 포름알데히드 농도를 줄이는 방법을 강구하는데 도움이 될 것이다.

참고문헌

- Akbar-Khanzadeh E, Vaquerano MU, Akbar-Khanzadeh M, Bisesi MS. Formaldehyde exposure, acute pulmonary response, and exposure control options in a gross anatomy laboratory. *Am J Ind Med* 1994;26:61-75.
- Andersen I, Molhave L. Controlled human studies with formaldehyde. In: Gibson JE (eds) *Formaldehyde toxicity*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC. 1983. pp 154-65.
- Bender JR, Mullin LS, Graepel GJ, Wilson WE. Eye irritation response of humans to formaldehyde. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983;44:463-5.
- Black H. Contact dermatitis from formaldehyde in newsprint. *Contact Dermatitis Newsletter* 1971;10:242.
- Day JH, Lees RE, Clark RH, Pattee PL. Respiratory response to formaldehyde and off-gas of urea formaldehyde foam insulation. *Can Med Assoc J* 1984;131:1061-5.
- Gorski P, Tarkowski M, Krakowiak A, Kiec-Swierczynska M. Neutrophil chemiluminescence following exposure to formaldehyde in healthy subjects and in patients with contact dermatitis. *Allergol Immunopathol (Madr)* 1992;20(1):20-3.
- Green DJ, Sauder LR, Kulle TJ, Bascom R. Acute response to 3.0 ppm formaldehyde in exercising health nonsmokers and asthmatics. *Am Rev Respir Dis* 1987;135:1261-6.
- Hendrick DJ, Lane DJ. Occupational formalin asthma. *Br J Ind Med* 1977;34:11-8.
- Hendrick DJ, Rando RJ, Lane DJ, Morris MJ. Formaldehyde asthma: challenge exposure levels and fate after five years. *J Occup Med* 1982;4:893-7.
- Karl K, Curtis D. Absorption, Distribution, and Excretion of Toxicants. In: Casarett and Doull's toxicology. 6th edition. the McGraw-Hill company. USA. 2001. pp 115.
- Kilburn KH, Seidman BC, Warshaw BA. Neurobehavioral and respiratory symptoms of formaldehyde and xylene exposure in histology technicians. *Arch Environ Health* 1985;40:229-33.
- Kilburn KH, Warshaw R, Thornton JC. Formaldehyde impairs memory, equilibrium, and dexterity in histology technicians: effects which persist for days after exposure. *Arch Environ Health*. 1987;42(2):117-20.
- Kilburn KH, Warshaw RH. Neurobehavioral effects of formaldehyde and solvents on histology technicians: Repeated testing across time. *Environ Res* 1992;58:134-46.
- Kilburn KH. Function testing for chemical brain damage: a review. *Arch Environ Health* 2001 Mar-Apr;56(2):132-7.
- Krakowiak A, Gorski P, Pazdrak K, Ruta U. Airway response to formaldehyde inhalation in asthmatic subjects with suspected respiratory formaldehyde sensitization. *Am J Ind Med* 1998;33:274-81.
- Kriebel D, Sama SR, Cocanour B. Reversible pulmonary responses to formaldehyde. A study of clinical anatomy students. *Am Rev Respir Dis* 1993;148:1509-1515.
- Kulle TJ. Acute odor and irritation response in health nonsmokers with formaldehyde exposure. *Inhal Toxicol* 1993;5:323-32.
- Kulle TJ, Sauder LR, Hebel IR, Green DJ, Chatham MD. Formaldehyde response in healthy nonsmokers. *J Air Pollution Control Assoc* 1987;37:919-24.
- Lee KT. A Symptomatic Study on the Workers Exposed to Formaldehyde. Environmental Science Graduate School of Health Science and Management Yonsei University. 1993.(Korean)
- Lee SJ, Son JI, Sim SH, Kim KY, Song JC, Chu SJ, Shim SH, Cho YH, Paik DJ. Sister-Chromatid Exchanges in Lymphocytes of Medical Students Exposed to Formaldehyde. *Korean J Occup Environ Med* 1998;10(2):282-9.(Korean)
- Leonardos G, Kendall D, Barnard N. Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals. *J Air Pollut Control Assoc* 1969;19:91-5.
- Nordman H, Keskinen H, Tuppurainen M. Formaldehyde asthma - rare or overlooked? *J Allergy Clin Immunol* 1985;75:91-9.
- Park JY, Zong MS. A Study on Worker-Exposure to Formaldehyde in Some Histological Laboratories of Hospitals. *Korean J Occupational and Environmental Hygiene* 1998;8(1):95-104.(Korean)
- Pazdrak K, Gorski P, Krakowiak A, Ruta U. Changes in nasal lavage fluid due to formaldehyde inhalation. *Int Arch Occup Environ Health* 1993;64:515-9.
- Rycroft RJG. Occupational contact dermatitis. In: Rycroft RJG, Menne T, Frosch PJ, Benezra C (eds) *Textbook of contact dermatitis*. Springer-Verlag. Berlin. 1992. pp341-99.
- T. Takigawa, M. Usami, Y. Yamasaki, Wang B, Sakano N, Horike T, Kataoka H, Ohtsuka A, Kira S. Reduction of indoor formaldehyde concentrations and subjective symptoms in a gross anatomy laboratory. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2005;74:1027-33.
- Weber-Tschopp A, Fischer T, Grandjean E. Irritating effects of formaldehyde on men. *Int Arch Occup Environ Health* 1977;39:207-18.