



해부 실습 시 포름알데히드 노출이 학생들의 신경행동기능에 미치는 영향

사공용¹, 조희윤¹, 이인국¹, 이경수², 전만중²

¹영남대학교 의학전문대학원 의학과, ²영남대학교 의과대학 예방의학교실

The effect of formaldehyde on neurobehavioral performance of student during cadaver dissection

Yong Sakong¹, Hee-Yoon Jo¹, In-Gook Lee¹, Kyeong-Soo Lee², Man-Joong Jun²

¹School of Medicine, Yeungnam University, ²Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea

Background: Formaldehyde is used to preserve cadaver in medical schools, and students are exposed to formaldehyde during cadaver dissection classes. When humans are exposed to formaldehyde, it induces mucosal inflammation, skin inflammation, and declining of neurobehavioral function including attention and memory executive functions. The purpose of this study is to identify the effects of formaldehyde exposure on student's neurobehavioral performance during cadaver dissection classes.

Methods: The level of formaldehyde was measured in a cadaver dissection class. A total of 16 students were randomly divided into two groups. One group wore respiratory protection masks, while the other group did not. Among many subtests in Korean Computerized Neurobehavioral test, backward digit span was tested on all subjects before and after the class.

Results: The length of memorized digit span between the two groups was not significant; however there was a greater decrease in neurobehavioral function after formaldehyde exposure in the non-mask group than the mask group.

Conclusion: Formaldehyde exposure during cadaver dissection may likely decrease neurobehavioral performance of students. Therefore, proper ventilation system and respiratory protective equipment are necessary to protect medical school students from adverse effects of formaldehyde exposure.

Keywords: Formaldehyde; Neurobehavioral; Dissection

서 론

포름알데히드는 가장 간단한 구조의 알데히드로 무색의 자극성 기체이며, 37% 전후의 수용액은 포르말린이라고 불

린다. 또한 강한 산화제로서 여러 가지 화학물질과 쉽게 반응하고 매우 다양한 분야에 사용된다.

포름알데히드는 눈, 코, 기관지 등에 염증을 일으키고 [1,2], 호흡곤란, 눈물과 기침, 목과 코에 타는 듯한 자극이

Received: January 27, 2016, Revised: June 19, 2016, Accepted: June 28, 2016

Corresponding Author: Yong Sakong, School of Medicine, Yeungnam University, 170 Hyunchung-ro, Nam-gu, Daegu 42415, Korea

Tel: +82-53-620-3693, Fax: +82-53-627-5535, E-mail: kei97108@gmail.com

Copyright © 2016 Yeungnam University College of Medicine

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

온다[3]. 뿐만 아니라 자극성 접촉성 피부염 및 알레르기성 접촉성 피부염을 유발하고, 급성 노출 시에는 얼굴을 직접 자극하여 눈 주변의 부종을 일으킨다.

포름알데히드의 급성 영향에 대한 해외의 연구로는 급성 노출로 인한 중추신경기능감소[4,5], 자각증상에 관한 것이 있다[6-8]. 국내의 연구로는 해부학실습 학생들을 대상으로 포름알데히드에 의한 림프구 자매염색분체교환에 관한 연구[9]와 조직검사실에서 포름알데히드 노출에 관한 연구[10]가 있다.

최근 국내 의과대학의 경우의 교육기관 인증 평가 등으로 해부학실습실의 환경이 개선되어가는 추세이나 cadaver와 근거리에서 이루어지는 해부실습 특성상 학생들은 호흡기와 피부를 통하여 포름알데히드에 간헐적으로 노출되고 있는 실정이다[11,12]. 이에 의과대학 해부실습 도중 노출되는 포름알데히드가 의과대학 학생들의 신경계에 미치는 영향을 신경행동검사를 통해 평가하고, 호흡기 보호구 착용의 신경계 독성예방 효과를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

영남대학교 의과대학 의학과 1학년 81명 중 연구참여에 동의한 학생들에서 무작위 추출법으로 16명을 선정하였고, 2013년 6월에 수행된 해부학실습 기간 동안 연구를 수행하였다. 대상자는 남자가 11명, 여자는 5명이었으며, 연령은 22-24세가 9명(56.2%), 25-32세가 7명(43.8%)이었다. 해부학실습생 16명을 대상으로 검사 전에 연구내용을 숙지시키고 검사를 수행하였다.

학생들은 4명씩 A, B, C, D 4개의 그룹으로 나누어 A, B 그룹 8명은 방독마스크를 착용한 상태로, C, D 그룹 8명은 방독마스크를 착용하지 않은 상태로 해부학실습을 수행하였다. A 그룹은 남자 2명, 여자 2명, 나머지 B, C, D 그룹에는 남자 3명, 여자 1명으로 구성되었다. 각 그룹 모두 20대 3명, 30대 1명이 포함되어 연령은 그룹간의 유의한 차이가 없었다. 두 그룹 모두 시작시간인 13:30분부터 쉬는 시간인 15:30분까지 2시간 동안 해부실습을 수행하였고, 휴식시간과 동시에 한국형 컴퓨터 신경행동 검사(Korean Computerized Neurobehavioral test, KCN test)를 실시하였다[13]. 또한 학습효과를 최소화하기 위해 A, C 그룹 8명은 해부학실습 전에 KCN test를 실시한 후 실습 후 재검사를 하였고, B, D 그룹 8명은

해부학실습 후 KCN test를 시행하였으며, 그 다음날 실습 전에 재검사를 하였다. KCN test는 학생들의 집중력을 유지할 수 있는 정숙한 환경에서 사전에 검사 방법을 숙지하고 진행되었다.

2. 방법

KCN test는 단순반응시간, 선택반응시간, 색깔자 구분, 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기, 순방향과 역방향 숫자 외우기, 손가락 두드리기, 총 9개의 검사로 구성되어 있다. 이 연구에서는 이중 가장 어렵다고 알려진 역방향 숫자외우기 검사를 이용하여 대상자들의 인지기능을 측정하였다.

역방향 숫자외우기는 1-9까지 아라비아 숫자가 하나씩 임의로 나타났다가 사라진 후 외운 숫자를 역순서로 입력하게 된다. 처음 3자리부터 시작하여 2번 틀릴 경우 검사가 종료된다. 역방향 숫자외우기는 기억등록, 기억회상 등 검사배터리 중에서 가장 어려워 교육수준이 다른 근로자보다 높은 의과대학 학생을 대상으로 적합하다고 판단하였다.

호흡기 보호구로는 3M사에서 제조한 Bio feel K239-1을 사용했으며, 정화통은 C-2007을 사용하였다. C-2007은 방독마스크를 제대로 착용할 시 최대 6시간 동안 포름알데히드를 차단할 수 있다. 방독마스크 1개당 정화통 1개가 사용되어 이 연구에는 총 8개가 사용되었고, 마스크 착용시 마스크 접촉부위의 압박감 외에는 호흡과 다른 활동에 전혀 지장을 주지 않는다고 가정하였다.

학생들에게 연구 목적을 충분히 설명한 후 검사 전날 평상시와 같은 수면을 취하도록 했고, 약물복용 및 음주를 금하였다. KCN test는 경험이 많은 한 명의 검사자에 의해서 동일한

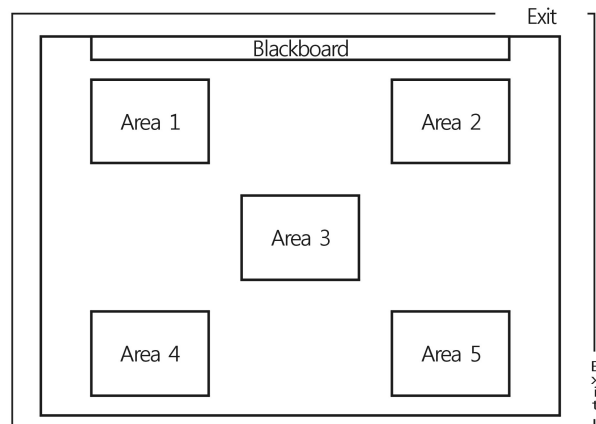


Fig. 1. The layout of gross anatomy laboratory showing five locations for cadaver dissection.

장소에서 실시되었고, 모든 학생들에게 동일한 내용과 강도로 사전교육을 실시하였다. 검사는 격리된 조용한 공간에서 개인용 컴퓨터를 이용하여 수행하였다. 검사자는 미리 준비된 설명서를 통하여 모든 대상자에게 동일한 방법으로 각 검사 항목에 대한 검사과정과 자극의 형태 및 키보드의 이용 방법을 교육하고 검사방법을 대상자 혼자서 충분히 이해하지 못하는 경우에 한하여 검사자가 추가적인 설명을 하도록 함으로써 검사자와 대상자 사이의 대화를 규격화, 최소화하였다. KCN test는 검사에 대해 충분한 교육을 받은 의과대학 학생에 의해 수행되었다.

한편 해부학실습실을 5개의 구역으로 나누어 실내의 포름알데히드 농도를 측정하여 포름알데히드 농도에 따른 신경행동반응의 변화를 조사하였다(Fig. 1). 시료 채취는 해부학 수업 시작 전(cadaver에 비닐이 덮인 상태), 수업 중(1일차, 2일차)일 때 각각 5개 구역으로 나누어 3회씩 총 15개의 시료를 구역 시료채취방법으로 측정하였다. 포름알데히드 농도는 시료 채취용 저유량포집기(ESCORT-PUMP, MSA)와 튜브(Silica Gel Lot 8363, SKC)에 유량을 0.12-0.2 L/min로 보정한 시료채취용 펌프를 연결하여 실습실을 등분할(5개 구역)한 후 실험대 위에(70-80 cm) 고정하여 약 30분 동안 채취하였고, 액체 크로마토그래피로 분석하였다. 마스크 착용군과 미착용군을 4개의 구역에 각각 1명씩 고루 배치함으로써 마스크의 효과에 대한 구역별 포름알데히드 농도의 교란효과를 제거하였다.

3. 연구자료 분석

마스크 착용군과 미착용군 각각의 포름알데히드 노출 전과 후의 검사성적의 변화는 대응표본 t검정을 통해 비교하였고, 각 그룹의 노출 전/후 검사성적의 변화량 비교는 독립표본 t검정으로 비교하였다. 해부실내 2, 3, 4, 5구역별 실험대

상자의 역방향 숫자외우기 성적 변화량 비교는 실습 중 포름알데히드 농도가 높은 2, 3구역을 고노출군(high exposed group, n=9, 남자 6명, 여자 3명), 농도가 낮은 4, 5구역을 저노출군(low exposed group, n=7, 남자 5명, 여자 2명)으로 분류한 후 Mann-whitney검정을 이용하여 두 군의 성적을 비교하였다.

결 과

방독마스크 착용, 미착용 각각의 실험군이 실습 전과 후에 역방향 숫자외우기 성적을 비교했을 때, 두 실험군 모두 실습 후에 표준점수평균, 백분위평균이 실습 전보다는 감소했지만 통계적으로 유의하지 않았다. 두 실험군에서 표준점수평균, 백분위평균의 감소량을 비교하였을 때 마스크 착용군에서 더 많이 감소하였다(Table 1).

실습실 구역별로 포름알데히드 농도를 측정한 결과 실습 전에는 모든 구역이 검출한계 미만으로 낮게 측정되었다. 실습기간 동안의 실습 중 평균 포름알데히드 농도는 2, 3, 1, 5, 4구역 순으로 포름알데히드 농도가 높았고, 1, 2, 3구역은 하루 8시간 노출 시 고용부의 고출기준인 0.5 ppm을 초과하였다(Table 2). 또한 각 구역에서 학생들의 KCN test 검사 결과의 전후를 비교하였다. 구역 1에는 실험참가자가 존재하지 않기 때문에 분석에서 제외하였다. 2, 3, 1, 5, 4구역 순으로 포름알데히드 농도가 높았으나 농도가 높을수록 신경행동반응 검사 결과에 더 큰 차이가 있는지 알아보기 위해 고노출군과 저노출군으로 나누어 두 군간의 성적 변화량을 비교한 결과 유의한 차이가 없었다(Table 3).

고 찰

포름알데히드는 무색의 자극성 기체이며, 매우 다양한 분

Table 1. Comparison of KCN test scores between the two groups before and after cadaver dissection

Mean value	Masked group (n=8)				Non-masked group (n=8)				p-value ^{c)}
	Pre-exposure	Post-exposure	Difference of score	p-value ^{a)}	Pre-exposure	Post-exposure	Difference of score	p-value ^{b)}	
Raw score	7.6±1.3	7.1±2.0	-0.5±1.9	0.470	7.63±1.7	7.1±1.7	-0.5±1.9	0.487	1.000
Standardized score	110.0±11.0	105.4±18.3	-4.6±17.8	0.486	109.8±14.2	105.3±15.8	-4.5±16.3	0.462	0.989
Percentile score	72.6±24.0	60.8±36.4	-11.8±34.1	0.361	67.9±26.0	62.1±31.2	-5.7±33.5	0.642	0.728

Values are presented as mean±standard deviation.

KCN, Korean Computerized Neurobehavioral.

^{a)} p-value comparing results between pre-/post-exposure of formaldehyde in masked group by paired t-test.

^{b)} p-value comparing results between pre-/post-exposure of formaldehyde in non-masked group by paired t-test.

^{c)} p-value comparing difference of score between masked and non-masked group by t-test.

야에 사용된다. 농약, 방부제 비료생산 등 많은 산업에서 이용되고 있다. 흡입, 피부 접촉을 통해 체내로 유입되면 호흡곤란과 기침, 눈의 자극, 접촉성 피부염 및 알레르기성 접촉성 피부염 등을 일으킬 수 있다. 포름알데히드는 소독제, 조직 고정제로 사용되며, 의과대학에서 cadaver의 고정액으로 흔히 사용된다. Gregory 등[14]은 0.4-3.0 ppm의 포름알데히드에 단기적으로 노출되면 눈, 코, 목에 자각증상을 유발한다고 보고하였고 Górski 등[7]은 0.4 ppm의 정도의 낮은 농도에서도 눈, 코, 목의 자각증상이 나타나고 지각능력도 감소한다고 보고하였다. Kilburn [15]은 포름알데히드가 중추신경계장애를 유발한다고 보고하였다. Kilburn 등[16]은 76명의 실험대상자들이 포름알데히드에 노출된 후 집중력저하, 기억력저하, 수면장애, 기분 변화 등의 증상이 대조군보다 통계적으로 유의하게 많았다고 보고하였다. 따라서 의과대학 학생이 cadaver를 해부할 때 포름알데히드에 많이 노출되는 점에 착안하여, 이 연구는 해부실습 과정에서 노출되는 포름알데히드가 의과대학 학생들의 신경계에 미치는 영향을 신경행동검사를 통하여 평가하고자 하였다.

우리나라 산업안전보건법은 근로자가 하루 8시간 동안 노출될 수 있는 농도인 시간가중평균노출기준(time weighted average, TWA)는 0.5 ppm, 근로자가 15분 동안 작업능률저하 등을 초래하지 않는 농도인 단시간노출기준(short term exposure limit, STEL)은 1 ppm이다. 일본산업위생학회에서도 TWA 0.5 ppm으로 규정하고, 포름알데히드를 인체발암의심물질로 규정하고 있다.

포름알데히드가 인체에 노출되는 과정은 기체 상태로 호흡기를 통한 흡수와 위장관, 피부를 통해 흡수될 수 있다. 호흡기를 통한 흡수는 빠르게 일어나고, 흡수 후 포름산 형태로 빠르게 전환되기 때문에 인체나 동물의 혈액 중에 검출되는 포름알데히드의 양은 거의 없다. 따라서 인체 내 포름알데히드의 농도를 측정하기 보다는 포름알데히드 노출 후 건강 영향을 자각증상이나 신경행동검사를 이용하여 신경계에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

방독마스크 착용, 미착용 각각의 실험군들이 실습 전과 후에 역방향 숫자의우기 성적을 비교했을 때, 두 실험군 모두 실습 후에 표준점수평균, 백분위평균이 실습 전보다는 감소했지만 통계적으로 유의하지 않았다. 두 실험군에서 표준점수평균, 백분위평균의 감소량을 비교하였을 때 마스크 착용군에서 더 많이 감소하여 마스크가 포름알데히드의 호흡기 노출을 방지해 신경행동기능을 보호할 것이라는 가설을 수용하기는 어려울 것으로 판단된다.

의과대학 학생들을 대상으로 해부실습 중 포름알데히드 노출 후 신경행동기능의 변화를 보고한 Park 등[17]의 연구에서 숫자구분, 부호숫자 짝짓기, 숫자더하기 등의 검사에서 신경행동기능이 감소하는 것으로 나타나 본 연구의 양쪽 실험군 모두 실습 후 표준점수평균, 백분위평균이 감소한 결과와 비교했을 때 유사한 방향성을 나타내었다.

이 연구에서 실습 전후의 신경행동검사의 차이가 유의하지 않은 이유로는 표본의 수가 작았기 때문으로 추정된다. 또한 실습실 내의 포름알데히드 농도가 최대가 되는 복부장

Table 2. Level of formaldehyde measured at 5 points in the anatomy laboratory

Point	Pre-exposure	Mid-exposure (day 1)	Post-exposure (day 2)	Mean of day 1 and 2
1	ND	0.51	0.51	0.51
2	ND	0.70	0.86	0.78
3	ND	0.70	0.52	0.61
4	ND	0.38	0.35	0.36
5	ND	0.53	0.35	0.44

ND, not detected.

Data units are ppm.

Formaldehyde time weighted average=0.5 ppm (Korea decree of the industrial safety and health act).

Table 3. Comparing the score difference in accordance with the four measuring points in the anatomy laboratory

Parameters	Exposure level		p-value ^{c)}
	High exposed (n=9) ^{a)}	Low exposed (n=7) ^{b)}	
Raw score	-0.33±1.80	-0.71±1.98	0.758
Standardized score	-2.67±15.86	-7.00±18.28	0.758
Percentile score	-2.11±27.43	-17.29±39.11	0.606

^{a)}Measuring area 2&3, ^{b)}measuring area 4&5, and ^{c)}tested by Mann-Whitney test.

기 해부과정 후인 목과 머리 부위를 해부하는 중에 연구가 진행되어 실습실의 포름알데히드 농도가 비교적 낮아 신경계에 미치는 영향이 감소한 것으로 판단된다.

마스크를 착용한 학생들이 마스크 내부에 습기가 차는 불편함이 검사 결과에 영향을 미쳤을 가능성도 있고, 마스크 착용군이 미착용군보다 cadaver를 해부하면서 육체적 피로가 더 많이 쌓여 포름알데히드 노출과 상관없이 실습 후 검사 결과가 낮을 수 있을 것으로 추정된다.

향후 추가 연구를 위해서는 대상자 수를 충분히 크게 하여 포름알데히드 노출이 높은 시기에 신경계에 미치는 영향을 평가하여야 할 것이다. 숫자외우기 검사 외에 지각반응속도, 수행능력평가, 계산능력평가 추리능력 등 다양한 신경계 능력에 대한 검사를 추가할 필요가 있다. 또한 마스크 착용의 심리적 요인 배제와 두 실험군의 육체적 피로를 컨트롤하기 위해 마스크 미착용군은 정화통만 분리한 마스크를 착용하고, 실험 참여자들이 해부실습을 직접 시행하기 보다는 cadaver와 가까운 거리에 일정 시간 동안 앉아 있는 것으로 대체하는 것이 더 좋은 결과를 도출할 것으로 생각된다. 이 연구를 통해 해부실습 중 노출된 포름알데히드가 중추신경계에 영향을 미칠 수 있다는 것을 일부 확인하였다. 이 연구 결과를 볼 때, 해부학 실습 도중 의과대학 학생들의 포름알데히드 노출을 예방하기 위해 실습실 전체에 환기시설을 보완할 뿐만 아니라, 각 실습 테이블에도 국소배기장치를 설치할 필요가 있다. 또한 학생들의 경우 방독마스크 외에 피부접촉을 예방하기 위해 고글도 착용하도록 해야 할 것이다[18].

REFERENCES

- Bender JR, Mullin LS, Graepel GJ, Wilson WE. Eye irritation response of humans to formaldehyde. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983;44:463-5.
- Hisamitsu M, Okamoto Y, Chazono H, Yonekura S, Sakurai D, Horiguchi S, et al. The influence of environmental exposure to formaldehyde in nasal mucosa of medical students during cadaver dissection. *Allergol Int* 2011;60:373-9.
- Akbar-Khanzadeh F, 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.
- 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;42:117-20.
- Pitten FA, Kramer A, Herrmann K, Bremer J, Koch S. Formaldehyde neurotoxicity in animal experiments. *Pathol Res Pract* 2000;196:193-8.
- 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.
- Górski P, Tarkowski M, Krakowiak A, Kieć-Swierczyńska M. Neutrophil chemiluminescence following exposure to formaldehyde in healthy subjects and in patients with contact dermatitis. *Allergol Immunopathol (Madr)* 1992;20:20-3.
- Krakowiak A, Górski 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.
- Lee SJ, Son JI, Sim SH, Kim KY, Song J, Chu SJ, et al. Sister-chromatid exchanges in lymphocytes of medical students exposed to formaldehyde. *Korean J Occup Environ Med* 1998;10:282-9. Korean.
- Park J, Zong M. A study on worker-exposure to formaldehyde in some histological laboratories of hospitals. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1998;8:95-104. Korean.
- Pabst R. Exposure to formaldehyde in anatomy: an occupational health hazard? *Anat Rec* 1987;219:109-12.
- Onyije FM, Avwioro OG. Excruciating effect of formaldehyde exposure to students in gross anatomy dissection laboratory. *Int J Occup Environ Med* 2012;3:92-5.
- Chung JH, Kim CY, Sakong J, Jeon MJ, Hong PC. Development of Korean neurobehavioral test battery - assessment of the validity of traditional and computerized neurobehavioral tests. *Korean J Prev Med* 1998;31:692-707. Korean.
- Gregory L, David K, Nancy B. Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals. *J Air Pollut Control Assoc* 1969;19:91-5.
- Kilburn KH. Function testing for chemical brain damage: a review. *Arch Environ Health* 2001;56:132-7.
- Kilburn KH, Seidman BC, Warshaw R. Neurobehavioral and respiratory symptoms of formaldehyde and xylene exposure in histology technicians. *Arch Environ Health* 1985;40:229-33.
- Park SY, Kim CY, Kim JY, Sakong J. The health effects of formaldehyde during an anatomy dissection course. *Korean J Occup Environ Med* 2006;18:171-8. Korean.
- O'Sullivan E, Mitchell BS. An improved composition for embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching in the United Kingdom. *J Anat* 1993;182:295-7.